

PROYECTO FINAL DE CARRERA

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE
EDIFICIOS RESIDENCIALES: RECOMENDACIONES Y
PROPUESTAS DE MEJORAS

DOCENTES: Ing. Hugo Ram
Ing. Juan P. Acuña
Ing. Oscar Maggi

ALUMNO:
Dacunda, Mateo

DIRECTORA:
Ing. Demarchi, Maria Cecilia
CO-DIRECTOR:
Dr. Albanesi, E. Alejandro

INGENIERÍA CIVIL - AÑO 2024



ÍNDICE

1.	Introducción.....	3
2.	Motivación.....	6
2.1.	Descripción de la problemática.....	6
2.2.	Objetivos.....	9
3.	Marco Legal.....	10
3.1.	Normativa Vigente Nacional.....	10
3.2.	Normativa Vigente Provincial.....	14
3.3.	Normativa Internacional.....	15
4.	Marco Teórico.....	16
4.1.	Balance térmico en el aire de la zona térmica.....	16
4.2.	Balance térmico en las superficies de la zona térmica.....	19
4.2.1.	Balance térmico en la superficie Exterior.....	20
4.2.2.	Balance térmico en la superficie Interior.....	22
5.	Metodología de trabajo.....	23
5.1.	Enfoque del estudio.....	23
5.2.	Casos de estudio.....	25
5.3.	Modelado.....	27
5.4.	Análisis de sensibilidad.....	33
5.5.	Optimización.....	36
5.6.	Materiales.....	38
5.6.1.	Mampostería.....	38
5.6.2.	Techos.....	46
5.6.3.	Pisos.....	50
5.6.4.	Acristalamientos.....	51
6.	Resultados.....	52
6.1.	Análisis de Sensibilidad.....	52
6.1.1.	Elección de variables para optimizar.....	66
6.2.	Optimización.....	67
6.3.	Análisis de consumo de energía en viviendas procrear.....	83
6.3.1.	Modelo 1: sin ocupación.....	83
6.3.2.	Modelo 2: considerando la ocupación.....	101
7.	Comparativa de métodos computacionales con metodología de reglamento IRAM.....	121

8.	Análisis Financiero.....	129
8.1.	Computo de las viviendas.....	131
8.2.	Análisis del costo energía.	151
9.	Recomendaciones y propuestas de mejoras.	155
10.	Conclusión.....	156
11.	Bibliografía.	159

1. INTRODUCCIÓN.

La energía es un recurso esencial para el funcionamiento de la sociedad moderna. Desde la Revolución Industrial hasta la actualidad, el acceso y uso eficiente de la energía han sido claves para el desarrollo económico y social, permitiendo la expansión de las industrias, el crecimiento de las ciudades y la mejora de la calidad de vida de las personas. Sin embargo, el incremento en la demanda energética debido al crecimiento poblacional y al avance tecnológico ha generado importantes desafíos a nivel global, tanto en términos económicos como ambientales. Esto ha generado una presión sin precedentes sobre los recursos energéticos disponibles y el medio ambiente. Esta situación es especialmente grave debido a la dependencia mundial de los combustibles fósiles como el gas, el petróleo y el carbón, principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero que aceleran el cambio climático.

La IEA, por sus siglas en inglés (International Energy Agency), proyecta que para 2030 la demanda de energía primaria global aumentará un 45 %. Este incremento plantea interrogantes sobre la capacidad del planeta para satisfacer estas necesidades sin comprometer los objetivos climáticos establecidos en acuerdos internacionales como el Acuerdo de París, cuyo propósito es limitar el aumento de la temperatura global a menos de 2 °C. Para alcanzar estos objetivos, es imprescindible repensar el modo en que se utiliza la energía, particularmente en el sector residencial, que representa una parte significativa del consumo energético mundial.

Según el Ministerio de Energía y Minería de nuestro país, este sector es uno de los mayores consumidores de energía en Argentina, debido principalmente a la alta demanda de calefacción, refrigeración e iluminación.

Según el informe de Balance Energético presentado por el Ministerio de Energía y Minería, la matriz energética de nuestro país, la cual tiene en cuenta el total de energía primaria en Argentina, muestra que el sector residencial es el segundo con mayor consumo con un valor del 27 %. Las otras cifras son: 7 % para el sector agropecuario, 9 % para el sector comercial y público, 24 % para las industrias y 33 % para el transporte.

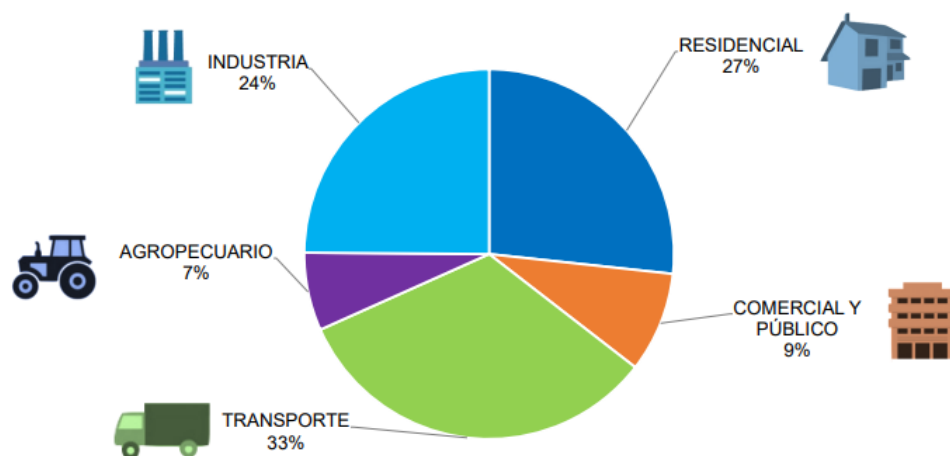


Ilustración 1: Matriz de Consumo Final. Balance Energético Nacional de la República Argentina. Fuente: Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación. *Balance Energético Nacional de la República Argentina.*

Este consumo energético está estrechamente vinculado a garantizar el confort térmico en los hogares, donde se utiliza principalmente energía eléctrica para la refrigeración, mientras que para la calefacción se emplea el gas natural, abastecido a millones de usuarios a través de redes de distribución. En aquellas regiones donde no llegan las redes de gas, los hogares dependen del Gas Licuado de Petróleo (GLP), que se distribuye en garrafas.

Esto se sustenta en el mismo informe del Ministerio de Energía y Minería ya mencionado, el cual descompone el consumo de energía de las viviendas según la fuente de origen de estas. El informe revela una alta dependencia del gas natural, que representa el 62 % del consumo energético residencial. Le sigue la electricidad con un 27 % y el gas licuado con un 9 %. Luego se pueden encontrar otros tipos de fuentes, aunque estas tienen una incidencia mucho menor en la matriz.

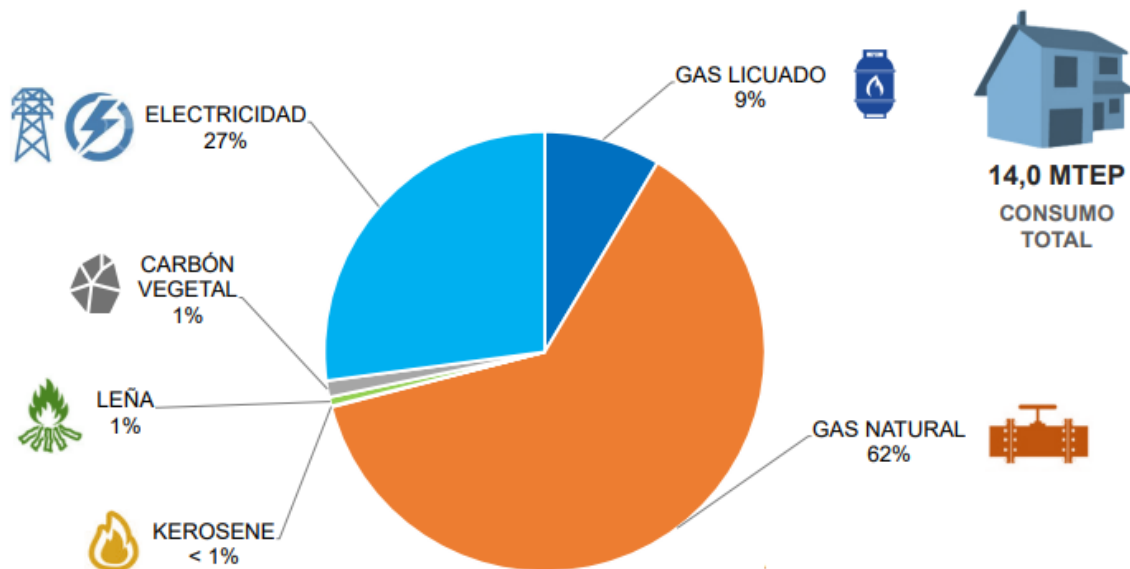


Ilustración 2: Consumo del Sector Residencial. Balance Energético Nacional de la República Argentina. Fuente: Ministerio de Energía y Minería, Presidencia de la Nación (2018). *Balance Energético Nacional de la República Argentina*.

Optimizar la eficiencia energética en las viviendas es clave para reducir el consumo de energía y mitigar los efectos del cambio climático. Esto implica abordar la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano, factores que elevan la demanda energética para mantener el confort térmico. Las edificaciones sin un buen aislamiento térmico, ventanas adecuadas o estrategias de climatización pasiva requieren grandes cantidades de energía para compensar estas fluctuaciones, incrementando el consumo y ejerciendo presión sobre las redes energéticas en épocas de temperaturas extremas.

Una solución eficiente para esta problemática es el estudio y optimización del diseño de la envolvente del edificio. Para esto, es necesario considerar tanto las propiedades físicas de los materiales y su influencia en el consumo energético, como la geometría del edificio, con el objetivo de minimizar el consumo final.

Para ello, realizaremos un estudio en una construcción simple, analizando cómo las distintas propiedades de la envolvente afectan individualmente el consumo energético y la temperatura

interna. Este análisis nos permitirá identificar patrones y tendencias, con el objetivo de extrapolar los resultados a casos más realistas, donde las variables interactúan de manera conjunta.

Dado que la aplicación de mejoras o variaciones en la envolvente está estrechamente relacionada con la temperatura exterior y las condiciones climáticas locales, es fundamental tener en cuenta que los resultados pueden variar significativamente dependiendo de la zona climática en la que se implemente. Por esta razón, analizaremos las distintas zonas climáticas del país, abarcando una amplia gama de condiciones ambientales. Esto nos permitirá comprender mejor cómo actúa la envolvente en diferentes contextos y qué precauciones o ajustes específicos son necesarios para maximizar la eficiencia energética en cada región.

2. MOTIVACIÓN.

2.1. Descripción de la problemática.

Como ya se mencionó, uno de los mayores desafíos que enfrenta la sociedad actual es el incremento desmedido del consumo energético, especialmente en el sector residencial. En nuestro país, la tendencia es un aumento constante en la demanda de recursos, que se destina principalmente a mantener el confort térmico de las viviendas. Esta problemática se ha agravado en los últimos años debido, en parte, a la falta de políticas efectivas y a la escasa concienciación por parte de los ciudadanos sobre el impacto que este consumo excesivo tiene en el ecosistema. Sin medidas adecuadas para optimizar el uso de energía, la situación continuará empeorando.

Para entender mejor la importancia de la energía y cómo se utiliza, es necesario clasificarla según su origen y uso. La energía se puede dividir en varios tipos, que describen el estado en que se encuentra en la naturaleza o el proceso de transformación que atraviesa antes de ser utilizada por los diferentes sectores de consumo.

La energía primaria es aquella que se obtiene directamente de los recursos naturales. Estas fuentes de energía pueden ser renovables, como la solar, la eólica, la hidráulica y la geotérmica, o no renovables, como los combustibles fósiles (petróleo, gas natural y carbón) y la energía nuclear. La energía primaria es la base del sistema energético, ya que es el recurso que se extrae directamente de la naturaleza para ser transformado en formas de energía utilizables.

La energía secundaria es la que se produce a partir de la transformación de la energía primaria en un centro de procesamiento o una planta industrial. Ejemplos de energía secundaria incluyen la electricidad generada a partir de la quema de carbón o gas natural, o el gas licuado producido a partir de la refinación del petróleo. Este tipo de energía no se encuentra en la naturaleza en su forma final, sino que requiere un proceso de transformación para ser adaptada a las necesidades de los usuarios. La electricidad, por ejemplo, es una de las formas más comunes de energía secundaria, y su generación puede involucrar diversas fuentes de energía primaria, desde combustibles fósiles hasta energías renovables.

El proceso de conversión de energía primaria a energía secundaria implica una pérdida de eficiencia, ya que no toda la energía disponible en la fuente primaria se convierte en energía útil. Esta pérdida es uno de los principales retos a la hora de optimizar el uso energético, ya que se requiere un sistema de transformación eficiente para minimizar el desperdicio.

Finalmente, la energía útil es la energía que llega al consumidor para ser utilizada en actividades cotidianas. Es la forma de energía que empleamos en nuestras viviendas, en el transporte, en las industrias y en todos los sectores de consumo. Por ejemplo, cuando usamos electricidad para encender una luz o para mover un electrodoméstico, estamos utilizando energía útil.

La energía útil es el resultado de un largo proceso de extracción, transformación y distribución de energía. Desde la energía primaria que se extrae de la naturaleza, pasando por su conversión en energía secundaria, hasta llegar al momento en que se utiliza para generar luz, calor o movimiento, la energía útil es el producto final de todo el sistema energético. La eficiencia con la que se transforma y utiliza esta energía es fundamental para reducir su impacto ambiental y los costos asociados a su consumo.

Según el informe publicado por la Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos, se estima un crecimiento promedio del consumo del 4,5 % anual de energía eléctrica en el sector residencial, mientras que en gas natural se refiere a un aumento interanual del 2,3 %. Siendo ambos los mayores aumentos en los rubros analizados por este organismo. Esto se refleja en los siguientes gráficos, los cuales muestran la tendencia del aumento del consumo de energía eléctrica y gas natural desde 2005 y pronostican cuál será el aumento a futuro. En estos hay varios sectores; el que nos interesa a nosotros es el residencial

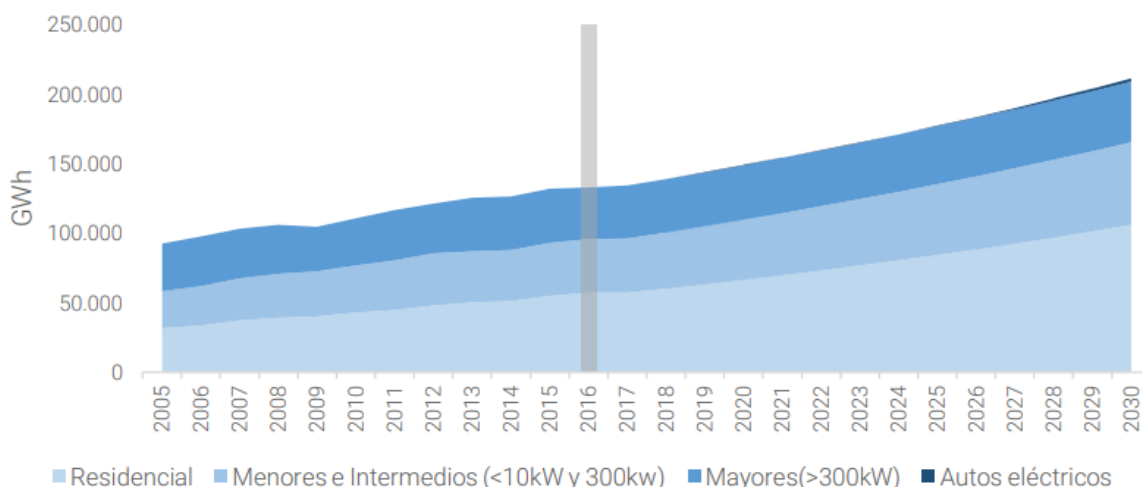


Ilustración 3: Demanda de energía eléctrica por segmento, 2005-2030. Fuente: Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico Escenarios Energéticos 2030. Buenos Aires.

Electricidad (TWh)	% a.a.	Demanda	
	2016-2030	2016	2030
Residencial	4,5%	57,0	106,1
Menores (<10kW) e Intermedios (10 y 300kW)	3,1%	38,5	59,1
Mayores (>300kW)	1,1%	37,5	43,7
Autos eléctricos	///	0,0	2,3
Total	3,4%	133,0	211,2

Elaboración propia SSEyEP-MINEM

Tabla 1: Demanda de energía eléctrica por segmento. Fuente: Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico Escenarios Energéticos 2030. Buenos Aires.

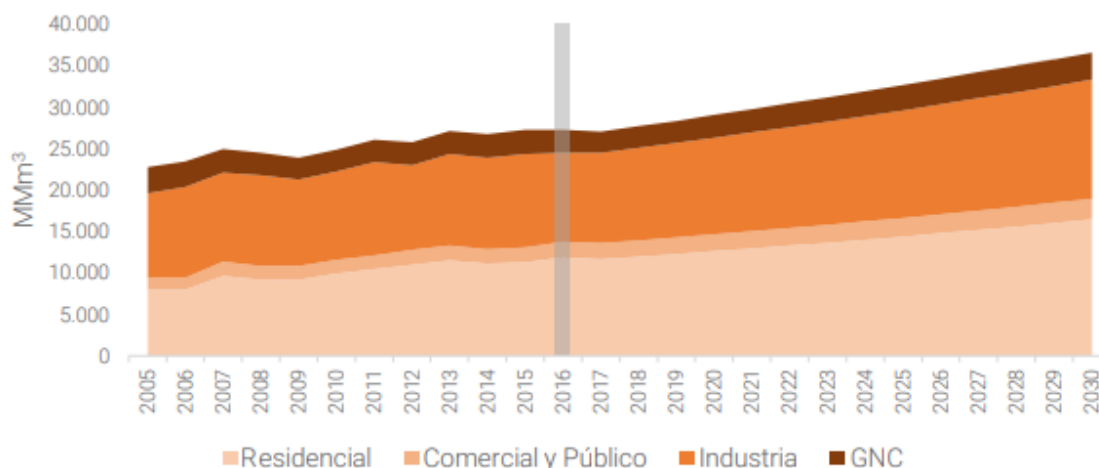


Ilustración 4: Demanda de gas natural por segmento, 2005-2030. Fuente: Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico (2017) Escenarios Energéticos 2030. Buenos Aires.

Gas Natural (miles de MMm ³)	% a.a.	Demanda	
	2016-2030	2016	2030
Residencial + Subdistribuidoras	2,3%	11,9	16,4
Comercial y público	2,0%	1,9	2,5
Industria ¹⁷	2,0%	10,7	14,1
GNC	1,1%	2,8	3,3
Total	2,1%	27,3	36,3

Tabla 2: Demanda de gas natural por segmento. Fuente: Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico Escenarios Energéticos 2030. Buenos Aires.

El aumento desmedido de la demanda energética en las viviendas plantea serios problemas tanto para el medio ambiente como para la economía de los usuarios.

Podemos comenzar diciendo que las edificaciones mal diseñadas y gestionadas consumen cantidades excesivas de energía, lo que incrementa la necesidad de generar electricidad y calor a partir de combustibles fósiles, aumentando considerablemente las emisiones de gases de efecto invernadero. Esta dependencia energética acelera el cambio climático y dificulta el cumplimiento de los compromisos internacionales, como los establecidos en el Acuerdo de París.

Otro aspecto negativo que podemos mencionar es que la ineficiencia energética perjudica el confort y la salud de los habitantes. Las viviendas con un mal aislamiento térmico y sin una ventilación adecuada dependen en gran medida de sistemas de climatización artificial, lo que no solo incrementa el consumo de energía, sino que también eleva el riesgo de enfermedades respiratorias y alergias provocadas por ambientes mal ventilados y temperaturas inestables.

Desde un punto de vista económico y social, el incremento sin moderación en el uso de energía acentúa las desigualdades sociales. El aumento del consumo trae aparejados incrementos de las tarifas de los servicios de electricidad y calefacción, haciendo que estos se tornen inaccesibles para sectores de bajos recursos, limitando su capacidad de acceder a condiciones de confort básicas. Esto

genera una brecha social entre quienes pueden asumir estos costos y quienes no, creando una sociedad menos equitativa.

La ineficiencia también ejerce presión sobre la infraestructura energética, ya que la creciente demanda de energía exige más recursos naturales, como gas y petróleo, y requiere el desarrollo de costosas infraestructuras de transporte y distribución. Este aumento en la infraestructura genera más costos a largo plazo, no solo para el estado, sino también para los usuarios.

2.2. Objetivos.

El objetivo de este proyecto es identificar las características de la envolvente que influyen en la temperatura interna en las viviendas y determinar criterios de construcción económicamente accesibles y técnicamente factibles, con el fin de minimizar el consumo de energía para acondicionamiento interior en distintas regiones de Argentina.

Para lograr este objetivo, se estudiarán los siguientes factores clave:

- Propiedades físicas de la envolvente de las viviendas, como la conductividad térmica, el calor específico, la absorción solar y otras propiedades relacionadas con la capacidad de los materiales para mantener o disipar el calor.
- Características geométricas del edificio, incluyendo la orientación de la vivienda, el tamaño y disposición de las ventanas, la sombra proyectada sobre estas y la relación entre el perímetro y el área cubierta.
- Otros factores importantes, como la ventilación natural y la infiltración de aire, que tienen un impacto significativo en el comportamiento energético de las viviendas.

El análisis tiene como objetivo identificar las variables que más influyen en el acondicionamiento térmico y el consumo energético, con el fin de establecer criterios de construcción para cada una de las diferentes zonas del país. Estos criterios deben ser económicamente viables, lo que implica que las mejoras propuestas no deben requerir una inversión inicial desmesurada, sino que deben basarse en técnicas constructivas que ya se utilizan actualmente.

Este proyecto se replicará en varias regiones de Argentina, con el fin de estudiar las prácticas de construcción adaptadas a los diferentes microclimas y condiciones climáticas exteriores de cada región. De esta manera, se podrán identificar las mejores estrategias constructivas según la ubicación geográfica, optimizando la eficiencia energética de las envolventes en función de las características climáticas locales.

Para realizar los análisis, se utilizará el software EnergyPlus, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), reconocido a nivel mundial por su capacidad para simular el comportamiento energético de edificaciones. Este software permitirá realizar un análisis integral del consumo energético necesario para mantener condiciones óptimas de confort en las viviendas, evaluando la cantidad de energía que se requiere para calefacción, refrigeración, iluminación y otros servicios.

3. MARCO LEGAL

La normativa vigente en Argentina en materia de eficiencia energética en edificaciones se ha ido desarrollando en respuesta a la creciente necesidad de reducir el consumo energético y mitigar el impacto ambiental del sector de la construcción. A continuación, se describen las principales regulaciones, estándares y certificaciones que influyen en el diseño y construcción de edificios sostenibles en el país.

3.1. Normativa Vigente Nacional

El Programa Nacional de Uso Racional y Eficiente de la Energía (PRONUREE), establecido por el **Decreto N° 140/2007**, es uno de los pilares fundamentales de la política energética en Argentina. Este programa declara de interés y prioridad nacional el uso eficiente y racional de la energía, con el objetivo de contribuir a la mejora de la eficiencia energética en todos los sectores consumidores, incluido el sector de la vivienda. A través de este programa, se busca reducir el consumo energético, optimizar el uso de recursos y promover prácticas de construcción sostenibles que reduzcan el impacto ambiental.

El acuerdo firmado en el PRONUREE destaca las acciones específicas que deben desarrollarse a mediano y largo plazo para lograr estos objetivos, con un enfoque en **viviendas nuevas** y **viviendas en uso**:

El programa establece varias directrices para mejorar la eficiencia energética en las **nuevas construcciones**, tales como:

- **Sistema de certificación energética:** Se promueve la implementación de un sistema de **etiquetado energético** que permita evaluar el desempeño energético de las viviendas, brindando a los propietarios y consumidores información clara para la toma de decisiones informadas en la compra, alquiler o renovación de inmuebles. Este sistema está alineado con la tendencia global de valorar la **eficiencia energética** en el mercado inmobiliario, lo que otorga un beneficio adicional en términos de valor del activo.
- **Reglamentación del acondicionamiento térmico:** Se insta a la **reglamentación del acondicionamiento térmico** adaptado a las distintas **zonas climáticas** del país, teniendo en cuenta las características constructivas regionales y el aprovechamiento de las **ganancias solares**. Esto asegura que las edificaciones estén optimizadas para las condiciones locales, reduciendo así la demanda energética y mejorando el confort térmico.
- **Criterios de eficiencia energética en la construcción:** Se impulsa la adopción de criterios de eficiencia energética en el diseño y ejecución de proyectos de construcción, incentivando el uso de **materiales y tecnologías** que minimicen el consumo de energía sin comprometer la habitabilidad y el confort. Además, se fomenta la colaboración entre los diferentes actores del sector para la implementación de **prácticas constructivas sostenibles**.

El PRONUREE también propone una serie de medidas para mejorar la eficiencia energética de las **viviendas existentes**, con acciones enfocadas en la **rehabilitación energética**:

- **Sistema de incentivos:** Se sugiere el desarrollo de un sistema de incentivos que promueva la reducción del consumo energético en las viviendas en uso. Esto podría incluir **financiamiento preferencial** para la implementación de medidas como mejoras en el

aislamiento térmico, reemplazo de ventanas o modernización de sistemas de climatización. Estas iniciativas buscan incentivar a los propietarios para que adopten medidas que, a largo plazo, disminuyan sus costos energéticos.

- **Sistemas solares para agua caliente:** Se recomienda la instalación de **sistemas de calentamiento de agua** basados en energía solar, lo cual reduciría la dependencia de combustibles fósiles y disminuiría significativamente el consumo energético en el hogar. Esta medida está alineada con las **tendencias globales** hacia la **energía renovable** y es una de las estrategias más efectivas para reducir el impacto ambiental en las viviendas existentes.
- **Programa nacional de aislamiento:** El PRONUREE también propone un programa nacional de **mejora en el aislamiento térmico** para viviendas existentes, con especial énfasis en la intervención en techos, envolventes (muros) y aberturas (ventanas y puertas). Este tipo de medidas, al reducir las **pérdidas de calor en invierno** y la **ganancia de calor en verano**, permite una disminución significativa en el consumo energético para climatización, mejorando al mismo tiempo el confort interior.

Además, Argentina ha desarrollado un marco normativo que incluye leyes enfocadas en la gestión sostenible y la promoción de fuentes de energía renovable. Si bien, estas no están relacionadas con la envolvente del edificio como tal, sirven para tener un panorama general de la importancia y el trabajo a nivel nacional en minimizar el consumo de energía. Las leyes más destacadas son las siguientes:

- **Ley N° 25.675:** Esta ley establece los **presupuestos mínimos** para lograr una gestión sustentable del ambiente, basándose en principios de **prevención, equidad intergeneracional y sustentabilidad**. Abarca aspectos generales sobre la conservación de los recursos naturales y el uso racional de la energía.
- **Ley N° 27.191:** Fomenta el uso de **fuentes de energía renovables** para la producción de electricidad, estableciendo un régimen de promoción para proyectos que utilicen estas fuentes, con beneficios fiscales e incentivos.
- **Ley N° 27.424:** Regula la **Generación Distribuida de Energía Renovable** integrada a la red eléctrica pública, permitiendo a los usuarios generar su propia energía renovable y comercializar los excedentes.

Estas normativas forman parte de los esfuerzos nacionales para impulsar un cambio hacia la sostenibilidad, y promueven el uso eficiente de la energía como herramienta clave para mitigar el impacto ambiental del sector de la construcción.

Las **Normas IRAM** (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) son un conjunto de regulaciones que establecen criterios para la evaluación del rendimiento energético de edificios en nuestro país.

La **resistencia térmica** de una envolvente se calcula de acuerdo con la normativa **IRAM 11601**. Esta resistencia puede definirse de la siguiente manera:

$$R = R_{si} + R_e + R_c + R_{se}$$

R_{si} y R_{se} son la Resistencia superficial interne y externa respectivamente obtenidas de tabla según la dirección del flujo de calor.

R_e es la resistencia térmica del elemento de la envolvente considerado, la cual equivale a:

$$\sum_{i=1}^n \frac{e_i}{\lambda_i} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Es decir, es la sumatoria del espesor (e) de cada elemento dividido su conductividad térmica (λ).

R_c lleva en cuenta el valor de la resistencia de la cámara de aire si es que la hubiera, según el espesor de esta y la dirección del flujo de calor. Los valores se encuentran tabulados.

Seguido a esto tenemos la norma **IRAM 11603** la cual se encarga de definir las zonas bioclimáticas del país. Esta clasificación se ha desarrollado teniendo en cuenta los índices de confort de la temperatura efectiva corregida (TEC), correlacionada con el voto medio predecible (VMP) y el índice de Beldin y Hatch (IBH), desarrollados para las zonas cálidas. La evaluación de las zonas frías no se ha realizado con los índices de confort, sino con los grados días para las necesidades de calefacción.

La clasificación la podemos apreciar en el siguiente mapa:

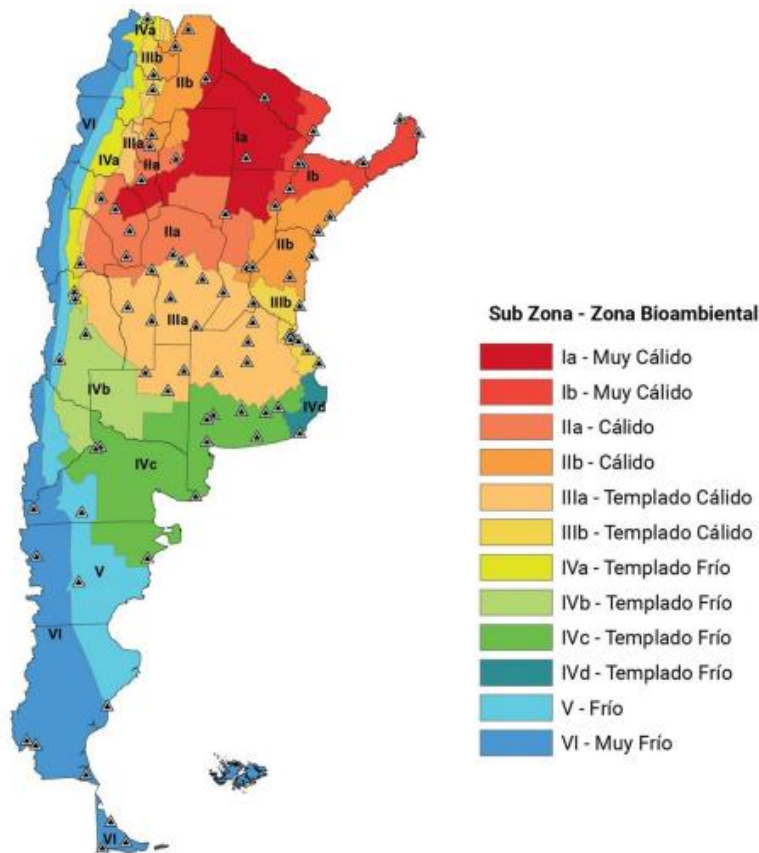


Ilustración 5: Clasificación bioambiental. Fuente: Norma IRAM N° 11603 (2012) *Aislamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*

Encontramos 6 tipos diferentes de regiones bioclimáticas:

La **zona 1**, denominada como **Muy Cálida** se encuentra ubicada en el Centro-Este del Norte de Argentina, presenta una temperatura media superior a 26,3 °C y máximas que suelen superar los 34

°C. Los veranos son largos y húmedos, con amplitudes térmicas diarias bajas. Se subdivide en Subzonas Ia y Ib, según la variación diaria de temperatura, siendo la de mayor amplitud y características más continentales.

Tenemos a continuación la **zona 2** llamada **Cálida**, situada en dos franjas en Argentina, con temperaturas medias entre 24,6 °C y 26,3 °C, los veranos en esta zona son calurosos y húmedos, con máximas superiores a 30 °C. El invierno es seco y moderado, con amplitudes térmicas menores a 16 °C. Incluye Subzonas IIa y IIb, según la variabilidad térmica diaria.

Encontramos extendida de Este a Oeste cerca del paralelo 35° y en áreas al Nordeste de la cordillera a la **zona 3, Templada cálida**. Presenta veranos cálidos e inviernos suaves, con humedad moderada. Subzonas IIIa y IIIb se diferencian por la amplitud térmica diaria, siendo IIIa de mayor variabilidad.

La **zona 4 o Templada Fría** abarca áreas con acumulación significativa de frío, incluyendo zonas altas y llanas en el Centro y Sur del país. Los inviernos son fríos, con temperaturas que pueden caer por debajo de 0 °C, mientras que los veranos son suaves. Se divide en Subzonas IVa a IVd, que varían en altitud, exposición solar y proximidad al mar.

En gran parte de la Patagonia y la Cordillera de los Andes se encuentra la **zona 5**, o también conocida como zona **Fría**. Los inviernos son fríos y largos, con temperaturas bajas y veranos frescos. La zona tiene baja humedad y altas amplitudes térmicas anuales.

Por último encontramos a la **zona 6 o Muy Fría**, la cual incluye áreas extremas como Tierra del Fuego y la Antártida, con temperaturas que rara vez superan los 4 °C en invierno y permanecen bajas temperaturas en verano. La zona es seca y expuesta a intensas radiaciones solares.

Siguiente a este, encontramos la norma que se encarga de definir el acondicionamiento térmico de edificios. Esta es la norma **IRAM 11604**, la cual establece el método de cálculo del coeficiente volumétrico de pérdidas de calor para calcular el ahorro de energía en calefacción en los edificios. Es decir, establece el procedimiento de cálculo del balance térmico en invierno como así también el de verano. Para determinar su valor lleva en cuenta los siguientes factores:

- Ganancia de calor por cargas externas: lleva en cuenta el calor que se gana través de las superficies, tanto opacas como vidriadas.
- Ganancia de calor interna: es la producida por el uso, tanto de las personas como el calor que genera los equipos electrodomésticos y la iluminación.

Hay que mencionar también a la norma **IRAM 11605** establece el límite de transmitancia K que puede tener una envolvente según su nivel de confort higrotérmico.

Por último, podemos destacar la **IRAM 11900**, que regula la eficiencia energética en edificaciones, proporciona directrices sobre el diseño y construcción de envolventes térmicas, aislamiento, y sistemas de climatización. Esta norma tiene como objetivo reducir el consumo energético, mejorar el confort térmico y promover el uso de materiales de construcción eficientes.

La IRAM 11900 se basa en el concepto de Índice de Prestación Energética (IPE), que evalúa el desempeño energético de un edificio en función de su consumo de energía y sus características constructivas. Esta norma se aplica a edificaciones nuevas y a las existentes que se rehabilitan, convirtiéndose en una herramienta fundamental para promover la eficiencia energética en el sector

residencia. El **Índice de Prestación Energética (IPE)** cuantifica la energía primaria necesaria por metro cuadrado y por año para satisfacer las necesidades de calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria e iluminación de un inmueble, considerando niveles de confort establecidos en normativas internacionales. Este índice se mide en $\text{KWh}/(\text{m}^2\text{-año})$ y clasifica la eficiencia energética del edificio, evaluando tanto las características de la envolvente, como los sistemas activos de climatización e iluminación artificial. Para su cálculo, se integra el requerimiento energético de cada uso (calefacción, refrigeración, agua caliente e iluminación) en el requerimiento global de energía primaria. Adicionalmente, si el inmueble usa energías renovables, la energía producida para autoconsumo reduce el IPE.

3.2. Normativa Vigente Provincial

La provincia de Santa Fe ha sido pionera en el desarrollo de normativas que promueven la sustentabilidad y la eficiencia energética en el sector de la construcción. Estas normativas complementan el marco legal nacional, adaptándose a las particularidades de la provincia y contribuyendo al cumplimiento de los objetivos establecidos en leyes nacionales y tratados internacionales relacionados con el **uso racional de la energía** y la **protección del medio ambiente**.

En este contexto, las normativas provinciales se enfocan en garantizar el cumplimiento de **criterios de sostenibilidad**, el **etiquetado energético de inmuebles** y el **fomento del uso de energías renovables**, entre otros aspectos. A continuación, se describen algunas de las principales leyes que inciden en el desarrollo de proyectos constructivos y que guían la implementación de medidas de eficiencia energética en Santa Fe:

La **Ley 13.903 de la Provincia de Santa Fe** establece un sistema de **etiquetado de eficiencia energética para inmuebles destinados a viviendas**. Esta ley tiene como objetivo clasificar las viviendas en función de su consumo energético, promoviendo un uso más eficiente de la energía y contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El etiquetado clasifica los inmuebles en categorías que van de la **Clase A** (mayor eficiencia energética) a la **Clase G** (menor eficiencia). Se basa en un índice que mide la cantidad de energía primaria que consume una vivienda por metro cuadrado al año para satisfacer necesidades como calefacción, refrigeración, agua caliente e iluminación, todo bajo estándares de confort definidos.

La ley incluye tanto viviendas nuevas como existentes y se regula mediante un decreto reglamentario. Además, el Ministerio de Ambiente y Cambio Climático de la provincia es la autoridad encargada de su implementación, promoviendo la capacitación y el seguimiento para apoyar a los municipios y comunas en la adhesión a la normativa

Hablando de normas que no están estrechamente relacionadas con la envolvente como tal, pero que hacen a la eficiencia energética podemos mencionar las siguientes:

Complementando esta legislación, las leyes provinciales relacionadas con energías renovables como la **Ley N° 12.503/05** y la **Ley N° 12.692/06** promueven el uso de fuentes renovables para la generación de energía, con un enfoque especial en edificios públicos, proyectos de construcción y viviendas. A través de estos marcos normativos, se han implementado programas de financiamiento para apoyar proyectos relacionados con la investigación y el desarrollo de tecnologías que favorezcan el uso de energías limpias.

El Programa "Santa Fe Avanza en la Sustentabilidad de los Edificios Públicos", establecido mediante el **Decreto N° 1351/13**, es un ejemplo de los esfuerzos provinciales por mejorar la eficiencia energética en las edificaciones. Este programa busca implementar mejoras en los edificios públicos para reducir el consumo de energía, incorporando tecnologías de bajo consumo y materiales constructivos que optimicen el rendimiento energético de las infraestructuras.

3.3. Normativa Internacional.

En cuanto al marco de normativas internacionales, ASHRAE propone una serie de estándares que son ampliamente utilizados para mejorar la eficiencia energética en edificios y reducir su impacto ambiental, especialmente en lo referente al diseño de la envolvente. Una de las normas más utilizadas es la **ASHRAE 90.1**, que establece requisitos mínimos de eficiencia energética para edificios comerciales, industriales y residenciales de mediana y gran altura. Esta norma ofrece lineamientos específicos para la envolvente térmica, definiendo criterios de aislamiento, protección solar y eficiencia de ventanas, elementos esenciales para controlar las pérdidas y ganancias de calor en los edificios.

Por su parte, la **ASHRAE 189.1** proporciona un marco de referencia para el diseño de edificios de alto rendimiento energético y sostenibles. Este estándar complementa los requisitos de eficiencia definidos en la ASHRAE 90.1, con un enfoque particular en la sostenibilidad y la reducción del consumo energético en edificios de alto desempeño. En el caso de la envolvente, esta norma establece medidas que ayudan a disminuir las cargas de calefacción y refrigeración.

Otra norma relevante es la **ASHRAE 62.1**, que, aunque su enfoque principal es la ventilación y la calidad del aire interior, también trata la envolvente desde el punto de vista de la infiltración de aire. Al promover prácticas que minimizan la entrada de aire no deseado, ayuda a reducir las pérdidas energéticas asociadas a las infiltraciones, contribuyendo así indirectamente a la eficiencia del edificio.

Además, la **ASHRAE 140** establece un método de prueba para validar herramientas de simulación energética, como BESTEST, que son fundamentales para modelar y predecir el rendimiento de la envolvente y analizar su impacto en el consumo energético del edificio en diferentes condiciones climáticas. Esta norma asegura que las simulaciones de eficiencia energética sean confiables y precisas, permitiendo a los diseñadores hacer mejoras informadas y optimizar el comportamiento térmico de sus proyectos.

4. MARCO TEÓRICO

En este capítulo, se presentan las ecuaciones que describen la transferencia de calor en las viviendas, centrándonos en dos aspectos fundamentales: el balance de calor en el aire de la zona térmica y el balance de calor en sus superficies. Para este análisis, se emplearán las ecuaciones descritas en el Manual de Ingeniería de EnergyPlus, las cuales serán aplicadas posteriormente en simulaciones prácticas.

A continuación, se presenta una ilustración que muestra la interacción entre los distintos fenómenos de transferencia de calor en la vivienda.

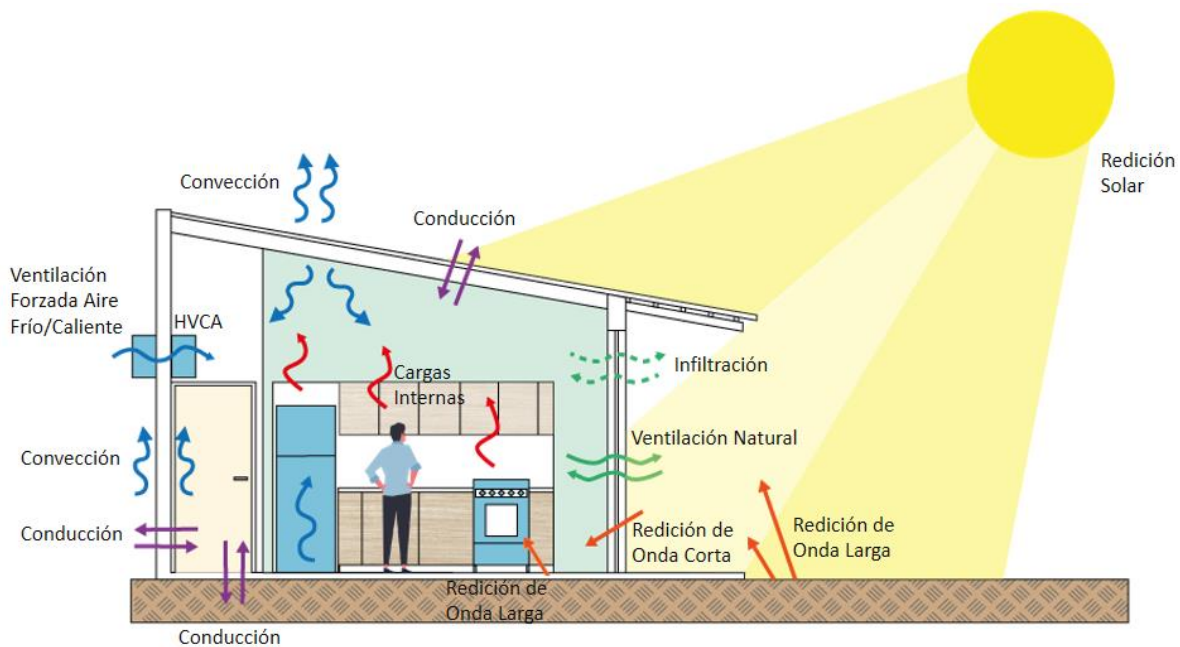


Ilustración 6: Interacción de Fenómenos de Transferencia de Calor en la Vivienda.

Para desglosar cómo interactúan estos fenómenos, es necesario distinguir entre el balance térmico del aire interior y el balance térmico de las superficies, tanto interiores como exteriores. A continuación, se explica cada uno de estos aspectos en detalle.

4.1. Balance térmico en el aire de la zona térmica

El balance térmico en una zona o ambiente se rige por la siguiente ecuación:

$$C_z \frac{dT_z}{dt} = \sum_{i=1}^{Nsl} Q_i + \sum_{i=1}^{Ncaras} h_i A_i (T_{si} - T_z) + \sum_{i=1}^{Nzonas} m_i C_p (T_{si} - T_z) + m_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z) + Q_{sys}$$

Para visualizar mejor el mecanismo de cada uno de los términos se expone la siguiente ilustración, en la cual se puede apreciar cómo interactúan entre sí cada uno de los valores de la ecuación.

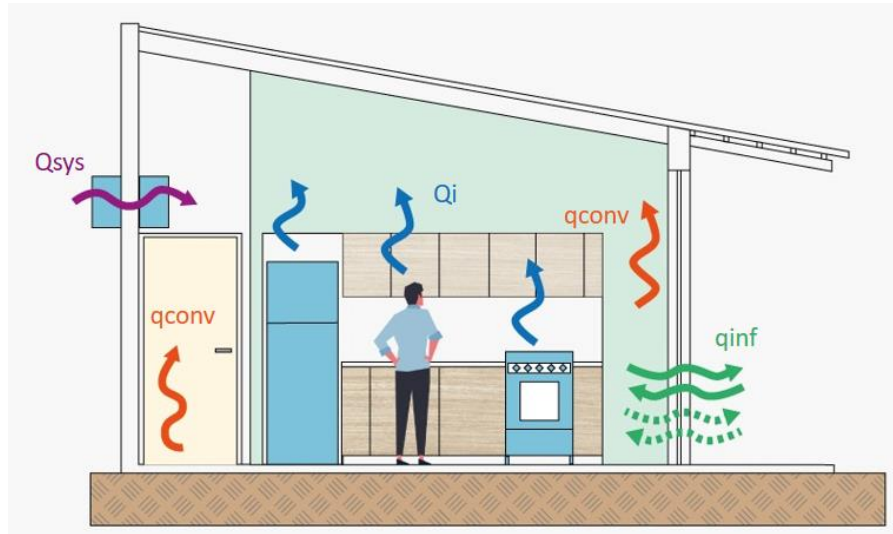


Ilustración 7: Balance térmico en el aire de la zona térmica

Se explica a continuación cada uno de los términos para poder comprender de mejor manera la misma:

La expresión $\sum_{i=1}^{N_{sl}} Q_i$ representa el **calor generado por diversas fuentes internas** dentro de las zonas de un edificio. Estas provienen de varios elementos, incluyendo la ocupación de personas, que liberan calor corporal; los electrodomésticos y equipos electrónicos, que generan calor durante su funcionamiento; y la iluminación, que también contribuye significativamente al aumento de la carga térmica.

El término $\sum_{i=1}^{N_{caras}} h_i A_i (T_{si} - T_z) +$ se refiere a la **transferencia de calor convectiva** desde las superficies de la zona. La convección es un mecanismo de transferencia de calor que ocurre entre una superficie sólida y un fluido en movimiento, como el aire o el agua, y es especialmente relevante en el ámbito de la construcción. Este fenómeno combina la conducción del calor en el fluido en contacto con la superficie y el transporte de energía por el movimiento del fluido.

El término h_i es el coeficiente de transferencia de calor por convección el cual expresa la cantidad de calor transferido por unidad de área y por grado de diferencia de temperatura entre la superficie sólida y el fluido circundante. Cuanto mayor sea el valor de h , mayor será la eficiencia de la transferencia de calor. Se mide en $W/m^2 \cdot K$. Su valor depende de varios factores, entre los cuales se destacan la velocidad del fluido, ya que a mayor velocidad del fluido, mayor es la capacidad de transporte de energía y, por tanto, mayor será la transferencia de calor; las propiedades del fluido, como la viscosidad, la conductividad térmica y la capacidad calorífica, la diferencia de temperatura entre el fluido y la superficie, que influye directamente en la cantidad de calor transferido y la geometría de la superficie, cuya forma y tamaño que interactúan con el fluido también afectan la eficiencia del intercambio de calor. Por otra parte, A_i es el área de la superficie, T_{si} es la temperatura de la superficie interna en contacto con el aire y T_z es la temperatura del aire de la zona.

El término $\sum_{i=1}^{N_{zonas}} m_i C_p (T_{si} - T_z)$ es la **pérdida o ganancia de calor por entrada de aire por infiltración** entre las **zonas internas**. El primer término, m_i , la cantidad de aire que se mueve entre dos zonas diferentes por unidad de tiempo. Por otra parte, C_p es la capacidad calorífica del aire.

Esto la cantidad de energía necesaria para aumentar la temperatura de 1 kg de aire en 1 °C y se mide en J/(kg.K). Mientras que T_{si} es la temperatura del aire entrante y T_z es la temperatura de la zona.

Similar al termino anterior, $m_{inf} Cp (T_{\infty} - T_z)$ es la **pérdida o ganancia de calor por entrada de aire por medio de infiltración no controlada**. La principal diferencia la expresión anterior es la aparición de m_{inf} , que es justamente el caudal de aire que ingresa desde el exterior de la envolvente; y T_{∞} que representa la temperatura del aire exterior que ingresa.

La **infiltración de aire** en los edificios se refiere al ingreso no controlado de aire exterior a través de aberturas, grietas, juntas mal selladas o cualquier otro defecto en la envolvente del edificio. Esta no ocurre de manera aleatoria, sino que está impulsada por varias fuerzas externas e internas que influyen en el movimiento del aire a través de la envolvente. Los principales mecanismos que impulsan la infiltración son la **presión del viento** y el **efecto chimenea**, además de las filtraciones que ocurren a través de aberturas no selladas.

El viento genera zonas de alta y baja presión en la envolvente de la edificación, donde la cara frontal, o fachada de barlovento, es la que recibe la presión directa, lo que impulsa la entrada de aire en esa dirección. En cambio, la cara opuesta, llamada fachada de sotavento, experimenta una succión, generando una zona de baja presión que facilita la salida del aire del interior hacia el exterior.

Por otro lado, el efecto chimenea ocurre cuando la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior provoca que el aire caliente ascienda, creando zonas de baja presión en las partes inferiores y alta presión en las superiores, lo que permite la entrada de aire frío en zonas bajas y la salida de aire caliente en las altas.

Además, factores como el diseño, la calidad de los materiales de la envolvente y las condiciones climáticas locales, como la velocidad del viento y las variaciones de temperatura, influyen en el grado de infiltración.

Existen múltiples métodos para calcular el flujo de aire infiltrado en el edificio (m_{inf}), siendo el más destacado el método de Coeficiente de Flujo de Infiltración. Este se basa en la ley de Bernoulli y permite estimar el flujo de aire que entra a través de grietas y aberturas en la envolvente del edificio. La ecuación es la siguiente:

$$m_{inf} = C (\Delta P)^n \rho_{air}$$

Donde:

- ΔP es la diferencia de presión entre el interior y el exterior del edificio (Pa).
- C es el coeficiente de flujo ($m^3/(s \cdot Pa^n)$), que depende del tamaño y las características de las aberturas.
- n es el exponente de flujo de aire (adimensional), que describe el tipo de flujo de aire, variando entre 0.5 y 1. Un valor de $n = 0.5$ está asociado a flujos turbulentos, mientras que un valor de $n = 1$ se refiere a flujos laminares.
- ρ_{air} es la densidad del aire (kg/m^3).

Por último, Q_{sys} es el **aporte de energía por los sistemas HVAC**. Esta se puede describir como:

$$Q_{sys} = m_{sys} Cp (T_{sup} - T_z)$$

Donde m_{sys} es la masa de aire suministrada por el equipo HVAC, C_p como ya mencionamos anteriormente es el calor específico. Similar a lo ya visto, T_{sup} es la temperatura del aire suministrado y T_z es la temperatura de la zona.

Del otro lado de la ecuación tenemos el término $C_z \frac{dT_z}{dt}$. Esto no es otra cosa que el cambio de energía térmica almacenada en la zona, lo que representa el resultado neto de todas estas interacciones en términos del cambio de temperatura de la zona.

C_z es la capacidad térmica volumétrica de la zona (se expresa en J/m³. K). Representa la cantidad de energía térmica necesaria para cambiar la temperatura de un volumen unitario de aire en la zona. Es equivalente a:

$$C_z = \rho_{air} C_p CT$$

Como ya se mencionó antes, ρ_{air} y C_p es la densidad y calor específico del aire respectivamente.

CT es multiplicador de capacidad térmica sensible, este es un factor adicional utilizado en EnergyPlus para ajustar la capacidad térmica de la zona. Este factor puede ser utilizado para calibrar la simulación y asegurar que refleje adecuadamente el comportamiento térmico real del edificio. Su valor es adimensional.

Por otro lado, $\frac{dT_z}{dt}$ es la tasa de cambio de la temperatura de la zona con respecto al tiempo. Así, la ecuación describe cómo el almacenamiento de energía en el aire de la zona está influenciado por la variación de la temperatura en el tiempo.

4.2. Balance térmico en las superficies de la zona térmica

El análisis del balance térmico en las superficies se distingue según la ubicación de cada superficie, ya sea interna o externa, debido a las distintas condiciones y factores que afectan el intercambio de calor en cada caso. Las superficies internas están influenciadas principalmente por las condiciones del aire de la zona y las propiedades del edificio, mientras que las superficies externas están expuestas a factores ambientales externos, como la radiación solar y la temperatura exterior.

A continuación, se presenta una imagen ilustrativa del mecanismo completo de transferencia, la cual será desglosada en sus componentes principales para explicar detalladamente cada una de sus partes:

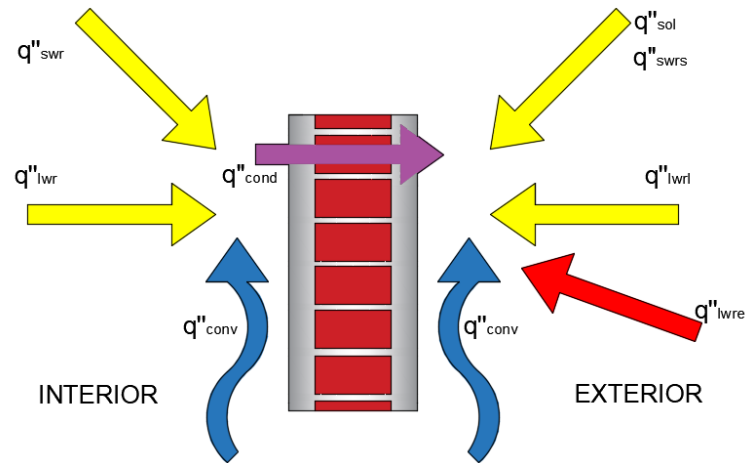


Ilustración 8: Balance térmico en las superficies de la zona térmica

4.2.1. Balance térmico en la superficie Exterior.

La ecuación que rige el comportamiento térmico de las superficies externas y es utilizada por software para determinar el balance de esta se expresa como:

$$q''_{\text{asol}} + q''_{\text{swrs}} + q''_{\text{lwrl}} + q''_{\text{lwre}} + q''_{\text{conv}} - q''_{\text{cond}} = 0$$

Esta ecuación representa el equilibrio entre las distintas formas de transferencia de calor que afectan a la superficie exterior. A continuación, se desglosa cada uno de sus términos:

Comenzamos desarrollando q''_{asol} , el cual se refiere a la **Radiación Solar de Onda Corta Directa y Difusa Absorbida**. Para entender mejor este mecanismo, es importante recordar que la radiación solar incluye diversos tipos de rayos, de los cuales tres son los principales en el balance térmico: **ultravioleta (UV)**, **visible** e **infrarroja (IR)**. La radiación solar de onda corta incluye la radiación UV y gran parte de la luz visible.

Es importante también clasificar la radiación solar que llega a la Tierra según su interacción con la atmósfera. La **radiación directa** es la energía que proviene del sol sin ser dispersada ni absorbida. Por otro lado, la **radiación difusa** resulta de la dispersión de los rayos solares al interactuar con partículas en la atmósfera, como polvo y nubes, y llega a las superficies desde diversas direcciones, lo que permite la recepción de luz solar incluso en días nublados o parcialmente sombreados. Finalmente, la **radiación reflejada** es aquella que ha sido desviada por el suelo, edificios cercanos u otras superficies.

Teniendo en cuenta lo analizado previamente, procedemos a determinar su valor. Este depende principalmente de la tasa de flujo de radiación solar incidente sobre la superficie (G_{sol}), que incluye tanto la radiación directa como la difusa. Como así también del coeficiente de absorción solar de la superficie (α), que indica la fracción de la radiación solar que es absorbida por el material. Este valor varía según el material y el color de la superficie. La fórmula para determinarlo es la siguiente:

$$q''_{\text{asol}} = G_{\text{sol}} \alpha$$

El siguiente parámetro de la ecuación que veremos es **Radiación de Onda Corta Reflejada** el cual se representa en la ecuación general como q''_{swrs} . Este término considera la radiación solar que es desviada por superficies circundantes, como el suelo, edificios adyacentes u otras estructuras, antes

de llegar a la superficie analizada. La fórmula para su cálculo es la misma que se utilizó para el término anterior; la única diferencia radica en el tipo de radiación que incide. La cantidad de radiación reflejada está condicionada principalmente por el entorno y la capacidad de las superficies para reflejar la radiación solar directa y difusa.

El siguiente término de la ecuación es q''_{lwrl} que representa la **Radiación de Onda Larga recibida de otras superficies**. A diferencia de la radiación solar de onda corta, que proviene del sol, la radiación de onda larga está asociada principalmente con el calor que emiten las superficies a temperaturas más bajas.

Cada superficie dentro de una emite radiación térmica hacia todas las demás superficies. Al mismo tiempo, estas superficies absorben radiación térmica emitida por otras superficies. El balance entre la energía emitida y absorbida determina si una superficie gana o pierde calor por radiación térmica. Este fenómeno se puede calcular a partir de la ley de Stefan-Boltzmann, la cual expresa lo siguiente:

$$q''_{lwrl} = \epsilon \sigma (T_c^4 - T_s^4)$$

En la que:

- ϵ es la emisividad de la superficie. Esta varía entre 0 y 1 y depende principalmente del color, textura y naturaleza de la superficie.
- σ es la constante de Stefan-Boltzmann.
- T_s es la temperatura de la superficie como tal.
- T_c es la temperatura efectiva de las superficies circundantes.

Continuamos con la **Radiación de onda larga recibida de otras fuentes**, el cual se representa en la ecuación como q''_{lwre} . Este término se refiere a la radiación térmica de onda larga que una superficie recibe de fuentes que están fuera del entorno inmediato, tales como el cielo, el espacio exterior, o el ambiente circundante. Su fórmula es la siguiente:

$$q''_{lwre} = \epsilon \sigma T_{ext}^4$$

En donde:

- ϵ es la emisividad de la superficie.
- σ es la constante de Stefan-Boltzmann.
- T_{ext} la temperatura efectiva de la fuente externa, que podría ser la temperatura del cielo o del ambiente circundante, depende de que se analice.

Pasamos ahora al término q''_{conv} , el cual representa la **transferencia de calor por convección**. Este término es el mismo que ya se desarrolló en el balance térmico del aire, pero en este caso la interacción ocurre con el aire exterior, lo que nos permite analizar la ganancia o pérdida de calor en la superficie.

El último término de la ecuación es q''_{cond} , el cual representa la transferencia de calor por conducción a través de las superficies. La conducción térmica es el proceso mediante el cual el calor se transfiere a través de un material sólido a través de la vibración y movimiento de sus partículas. A nivel microscópico, las partículas más calientes transmiten su energía cinética a las partículas vecinas menos energéticas, sin que haya transferencia de masa, a diferencia de otros mecanismos como la convección.

Este proceso está descrito por la Ley de Fourier, que establece que la tasa de transferencia de calor es proporcional al gradiente de temperatura y al área a través de la cual se transfiere el calor, expresándose como:

$$q''_{conv} = -k A \frac{dT}{dx}$$

Donde:

- k es la conductividad térmica del material (en W/m·K), la cual es una propiedad intrínseca de cada material, determinando su capacidad para conducir calor.
- A es el área a través de la cual se transfiere el calor (en m²).
- $\frac{dT}{dx}$ es el gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor (en K/m).

4.2.2. Balance térmico en la superficie Interior.

Para el comportamiento del balance térmico de las superficies interiores tenemos la siguiente fórmula:

$$q''_{swr} + q''_{lwr} + q''_{conv} - q''_{cond} = 0$$

Sabemos que el término q''_{cond} representa lo mismo que para el balance exterior, pero de signo opuesto. Es decir que, si la superficie externa está perdiendo calor, el flujo de calor tiene dirección hacia el interior, aumentando la temperatura de la superficie interior. Ocurre lo contrario cuando la superficie externa es la que gana calor.

La convección vuelve a ser representada como q''_{conv} , pero ahora se trata de la interacción con el aire de la zona en cuestión. Podemos relacionarlo con el término visto en el balance del aire interior, asignándole signo contrario al ya desarrollado. Esto implica que, si el aire de la zona gana calor, significa que se lo está otorgando la superficie, lo que genera una pérdida de calor en esta última, y viceversa.

En este caso q''_{swr} representa la Radiación de onda corta, luz solar directa, reflejada y difusa que logra entrar a la vivienda e incide en la superficie interna. Mientras que q''_{lwr} radiación de onda larga recibida del ambiente, la cual proviene principalmente de las otras superficies circundantes.

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

5.1. Enfoque del estudio

El presente proyecto busca analizar el comportamiento térmico de las viviendas a partir de la modificación de propiedades de la envolvente. Para poder llevarlo a cabo, se utilizarán herramientas de simulación las cuales nos permiten evaluar cómo las propiedades térmicas de los materiales, la geometría de las viviendas, y otros factores como la orientación y la ventilación, influyen en el consumo energético y el confort térmico.

El análisis se llevará a cabo utilizando el software **EnergyPlus**, que permite realizar simulaciones detalladas del comportamiento energético de edificios. Este software, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE), es ampliamente utilizado para modelar el uso energético en edificaciones y permite evaluar una amplia gama de parámetros. Las simulaciones se llevarán a cabo para diferentes escenarios y se utilizarán para evaluar el desempeño energético de las viviendas en función de los siguientes parámetros:

- **Propiedades térmicas de los materiales** (conductividad térmica, capacidad calorífica, resistencia térmica).
- **Diseño geométrico** de las viviendas (orientación, relación entre área y perímetro, tamaño de ventanas y sombras).
- **Condiciones climáticas** en distintas regiones de Argentina.
- **Ventilación e infiltración de aire.**

Este estudio se realizará en diferentes zonas climáticas del país, con el fin de analizar cómo la envolvente de estos factores interactúa con el clima exterior. Utilizar distintas regiones geográficas, permitirá variar las condiciones climáticas y obtener una visión más amplia de la respuesta térmica de las construcciones. Con esto buscamos entender de mejor forma como la envolvente responde a diferentes escenarios para así identificar patrones constructivos que se adecuen a las diferentes necesidades climáticas.

Se ha elegido la provincia de Chaco, una región que destaca por sus veranos extremadamente calurosos, con altas temperaturas y una humedad significativa, lo que la convierte en un excelente representante de las condiciones extremas de la zona muy cálida. Para este estudio, se utilizarán los datos de la estación climatológica de **Sáenz Peña** (zona 1-A). Adicionalmente, se ha sumado la provincia de Misiones, específicamente la localidad de **Iguazú**, que corresponde a la zona 1-B, permitiendo cubrir un espectro más amplio dentro de las zonas cálidas extremas de Argentina.

En cuanto a la zona II, se ha seleccionado la provincia de Santa Fe debido a su clima cálido durante gran parte del año. Esta región presenta veranos largos y cálidos, con inviernos moderados, lo que la convierte en un ejemplo representativo del clima cálido y húmedo. Se utilizarán los datos de la estación de **Sauce Viejo** (zona 2-B). Además, para la zona 2-A, se ha escogido **Tartagal**, la provincia de Salta, que permite estudiar un clima cálido similar, con características propias del norte del país.

Para la zona templada cálida (zona III), se ha optado por la provincia de Buenos Aires. Esta región presenta veranos cálidos y húmedos, con inviernos templados. Se ha seleccionado la estación de **Aeroparque (CABA)** debido a la abundante información disponible y su condición representativa de un entorno costero. Asimismo, se ha incluido **Córdoba**, utilizando los datos de la estación de la

Escuela Militar de Aviación, lo que aporta un contraste entre una región costera (CABA) y otra más elevada y seca, en el interior del país, permitiendo analizar las variaciones climáticas dentro de esta zona.

Para la zona IV (templada fría), se han seleccionado varias localidades que reflejan diferentes características geográficas. Mendoza, ubicada al pie de la Cordillera de los Andes, se destaca por su gran amplitud térmica, con inviernos fríos y veranos moderados; utilizaremos los datos de la estación de **San Carlos** (zona 4-B) como representante de una región montañosa. Además, se han incluido **Tinogasta** (Catamarca, zona 4-A), al norte, con un entorno más árido; **Tandil** (Buenos Aires, zona 4-C), que se caracteriza por sus planicies y descampados; y **Mar del Plata** (Buenos Aires, zona 4-D), que permitirá analizar el impacto de las condiciones costeras. Estas localidades ofrecen un análisis representativo de la zona templada fría, cubriendo montañas, planicies y regiones costeras.

Para la zona V (fría), se ha seleccionado la provincia de Santa Cruz, conocida por sus inviernos rigurosos y veranos frescos, lo que la convierte en una excelente representante de esta zona climática. La estación de **Puerto San Julián**, ubicada en un entorno portuario, permitirá observar el comportamiento térmico cerca del mar. También se ha incluido la estación de **Pico**, Vinchina (La Rioja), ubicada en una región montañosa al norte del país, permitiendo contrastar las condiciones térmicas entre una zona portuaria y otra montañosa dentro de la misma zona climática.

Finalmente, en la zona VI (muy fría), se ha seleccionado la provincia de Tierra del Fuego. Con inviernos largos y extremadamente fríos y veranos cortos y frescos, esta región representa las condiciones más extremas en términos de frío en el país. Para su análisis, se utilizarán los datos del Aeropuerto Internacional de **Ushuaia**. Además, se ha sumado la ciudad de **Bariloche** (Río Negro) como un punto de comparación, ya que, al estar ubicada en una región montañosa, ofrece un contraste interesante respecto a Ushuaia, que está más expuesta a vientos marítimos intensos.

Para cada localidad se utilizará el **TMY (Typical Meteorological Year)**, el cual es un conjunto de datos climáticos que representa las condiciones meteorológicas de un año típico en una región específica. Este conjunto de datos se elabora a partir de registros históricos de temperatura, humedad, radiación solar y otras variables climáticas, seleccionando las horas más representativas para cada mes. Para todos los casos, los años históricos utilizados abarcan desde 2009 hasta 2023.

El procedimiento que se llevará a cabo consiste en realizar un **análisis de sensibilidad** de las variables de la envolvente. Se utilizará el enfoque "**one-at-a-time**" (OAT), que implica partir de un caso base y modificar las variables seleccionadas una por una. Este método permite evaluar el impacto individual de cada variable en el comportamiento del modelo, facilitando la identificación de cómo cada modificación afecta a los resultados. A través de esta metodología, se busca discernir cuáles variables tienen un impacto significativo en el comportamiento del sistema y cuáles tienen una influencia menor. Esta información será utilizada para optimizar el diseño y mejorar la eficiencia energética, ya que permite priorizar aquellos aspectos de la envolvente que requieren atención especial en el proceso de diseño. Además, el enfoque OAT ayuda a minimizar la complejidad del análisis al aislar los efectos de cada variable, proporcionando una visión clara de su contribución al rendimiento global del modelo. Esto es especialmente útil en contextos donde se deben tomar decisiones informadas sobre el diseño y las características de los materiales utilizados en la envolvente del edificio.

Con los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad, pasaremos a un optimizador en el que combinaremos las variables más significativas. Basándonos en los resultados obtenidos, identificaremos cuales son las variables que tienen mayor influencia en la temperatura interna y el confort térmico, para luego comenzar a trabajar con ellos en conjunto. La idea es observar cómo interactúan entre sí las diferentes variables, para comprender cuál es el comportamiento en conjunto de estas. El objetivo de este proceso de optimización no es solo mejorar el rendimiento energético del modelo, sino también desarrollar directrices claras para implementar soluciones prácticas en las viviendas reales, ajustadas a las condiciones climáticas de cada región. Esta fase permitirá integrar las mejores prácticas identificadas en el análisis de sensibilidad y, a su vez, proporcionará un enfoque más holístico para el diseño de edificios energéticamente eficientes, alineado con las necesidades específicas de cada localización.

5.2. Casos de estudio.

En este trabajo se utilizará el Bestest 900 y 3 tipologías de casas del PROCREAR.

El **modelo BESTEST 900** (Building Energy Simulation Test) se basa en la normativa ASHRAE y se utiliza para evaluar la precisión y el rendimiento de los programas de simulación de energía en edificios. Este modelo proporciona un marco de referencia para comparar diferentes herramientas de simulación en términos de su capacidad para predecir el consumo de energía y el comportamiento térmico de las edificaciones. Este modelo sencillo servirá como base tanto para el análisis de sensibilidad como para la ejecución del optimizador posterior. A continuación, se presentan los planos del mismo:

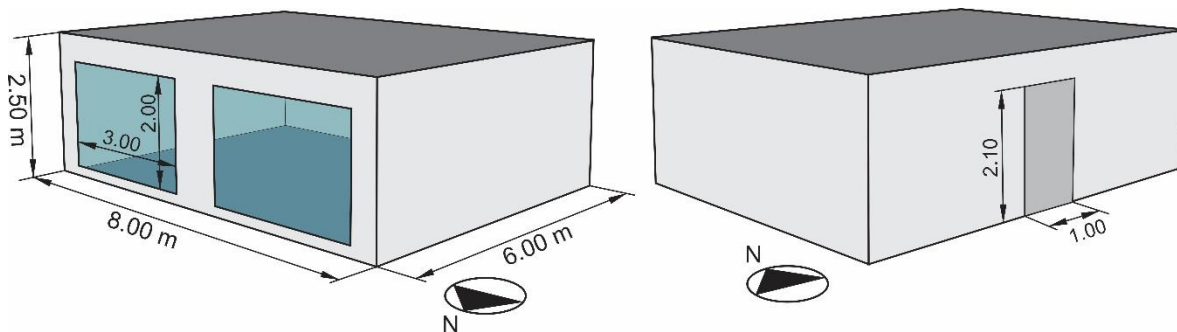


Ilustración 9: Planta ilustrativo del modelo Bestest 900.

Los modelos de vivienda Procrear serán los denominados **Aimé**, **Alfonsina** y **Milagros**. Estos diseños representan diversas configuraciones y enfoques constructivos, lo que nos permitirá evaluar su comportamiento térmico y energético en un contexto práctico. El análisis de estas viviendas nos ayudará a comprender mejor cómo las decisiones de diseño impactan en el rendimiento energético, y a extrapolar los resultados obtenidos de las pruebas realizadas en el modelo BESTEST a situaciones más reales.

A continuación, se describe cada una de las viviendas elegidas y, en la sección Anexos, se adjuntan los planos correspondientes a cada una.

- Aimé:** La vivienda cuenta con una cubierta liviana, empleando techos inclinados. Dispone de una superficie cubierta de 34.22 metros cuadrados y un perímetro expuesto de 27.10 metros. La superficie total de las ventanas es de 29.45 metros cuadrados, mientras que la de los muros asciende a 84.60 metros cuadrados. La fachada trasera es la que tiene la mayor superficie vidriada, con un total de 22.05 metros cuadrados, y está equipada con elementos de sombra para mitigar el impacto térmico. La otra fachada también presenta una exposición significativa de vidrio, alcanzando los 7.40 metros cuadrados.



Ilustración 10: Plano vivienda Aimé.

- Alfonsina:** Cuenta con una superficie cubierta de 59.67 metros cuadrados y un perímetro expuesto de 26.84 metros. La superficie vidriada total es de 15.50 metros cuadrados, mientras que la de los muros alcanza los 71.45 metros cuadrados. El vidrio está distribuido en varias paredes, siendo la del estar-comedor la que presenta la mayor proporción de área vidriada en relación al muro. Para este tipo de vivienda, se emplea una cubierta pesada o plana.



Ilustración 11: Plano vivienda Alfonsina.

- **Milagros:** La vivienda cuenta con **cubiertas planas** y un total de **11.05 metros cuadrados de superficie vidriada**, distribuidos en la mayoría de las paredes. Los **muros exteriores** abarcan un área de **69.42 metros cuadrados**. La **cara posterior** es la que presenta la mayor superficie de ventana, dado que incluye las aberturas del dormitorio y las ventanas hacia el patio. Este último tiene un sector sin cierre, aunque cuenta con un toldo que proporciona sombra. El área cerrada de la vivienda es de **59.38 metros cuadrados**, con un **perímetro expuesto de 26.2 metros**.



Ilustración 12: Plano vivienda Milagros.

5.3. Modelado.

Comenzaremos por modelar el **Bestest 900** en el software EnergyPlus.

Para la **geometría**, se definen los espacios y zonas térmicas de la edificación mediante coordenadas y vértices que especifican la posición y forma de cada superficie (muros, techos, suelos). Cada superficie se asigna a una zona térmica, lo que permite simular las condiciones internas de cada área del edificio. Esta geometría se creó mediante la herramienta de apoyo SketchUp con el complemento OpenStudio, que facilita la visualización y edición de los elementos geométricos.

Para este caso, su geometría era bastante sencilla, ya que solo se considerará una única zona térmica. Las dimensiones serán las mencionadas previamente. A continuación, se muestra en una imagen el diseño final del recinto en el software:

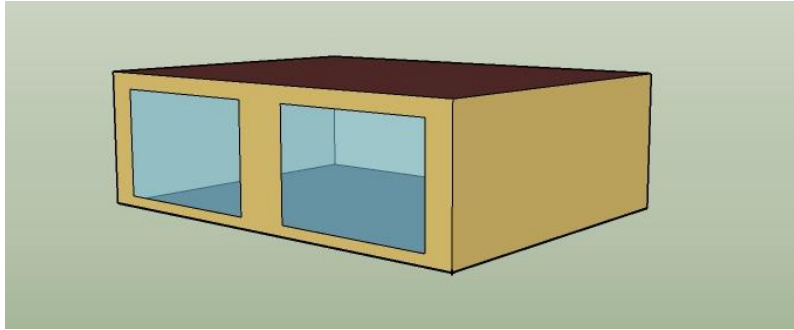


Ilustración 13: Modelado en EnergyPlus en SketchUp del Bestest 900.

En cuanto a los **materiales**, se configuran detallando propiedades térmicas específicas para cada capa en las superficies de la envolvente. Estas propiedades incluyen la conductividad térmica, densidad, calor específico, espesor, y otros factores que afectan la transferencia de calor, como la absorción térmica y la absorción solar. Los materiales se agrupan en **construcciones**, que representan el conjunto de capas que componen una superficie (por ejemplo, una pared con varias capas de materiales). Cada construcción se asigna a las superficies correspondientes para que EnergyPlus calcule el comportamiento térmico de cada elemento en relación con el entorno y las condiciones internas del edificio.

En este modelo, tanto las paredes como el techo se representan con una construcción simplificada de una sola capa de material, cuyos valores han sido asignados de manera controlada y no corresponden a un material real específico. Esto nos permite llevar a cabo un análisis más preciso de la transferencia térmica en condiciones determinadas. Para ambos elementos, se ha definido un espesor de 10 cm, con una conductividad térmica de $0.01 \text{ W/m}\cdot\text{K}$, un calor específico de $1000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ y una densidad de 1000 kg/m^3 . Además, estos elementos presentan una absorción térmica de 0.9, que, conforme a la ley de Kirchhoff, corresponde también a la emisividad de la superficie. La absorción solar se establece en 0.7, lo que significa que estas superficies absorberán el 70% de la radiación solar directa y reflejarán el 30% restante, siendo que la transmitancia es nula debido a la opacidad del material en los muros y techos.

Para calcular la transferencia de calor a través de la envolvente, se utilizaron varios algoritmos específicos en EnergyPlus, cada uno enfocado en diferentes mecanismos de transferencia térmica.

En cuanto a la **convección** tanto interna como externa, se emplea el *Algoritmo de Convección Adaptativo*, el cual ajusta automáticamente los coeficientes de convección en función de las condiciones específicas de cada superficie.

El funcionamiento del algoritmo comienza evaluando las condiciones superficiales, considerando tanto la temperatura de la superficie como la temperatura del aire circundante. Esto permite que el algoritmo establezca un perfil de temperatura más realista, ya que tiene en cuenta las variaciones de temperatura que ocurren en el aire en contacto con la superficie. Además, el algoritmo incorpora la velocidad del aire que fluye sobre las superficies. El tipo de material y la textura de la superficie también influyen en el comportamiento de la convección. Superficies rugosas, por ejemplo, pueden presentar características de transferencia de calor diferentes en comparación con superficies lisas. El algoritmo tiene en cuenta estas variaciones para proporcionar estimaciones más precisas.

Para el cálculo del **balance térmico**, se utiliza el *Algoritmo de Transferencia de Calor* (Heat Balance Algorithm), que evalúa el flujo de calor entre los elementos de la envolvente. Este algoritmo considera los tres mecanismos de transferencia de calor ya tratados, conducción, convección y radiación para obtener una estimación integral de cómo el calor se mueve a través de cada capa de material y entre los espacios internos y externos.

Para la **transmisión térmica hacia el suelo**, se aplica el *Factor F*, un método simplificado que calcula las pérdidas de calor en función de factores como el área expuesta y el perímetro del edificio. Esta aproximación es útil para modelar la transferencia de calor en elementos en contacto con el suelo, ya que simplifica el análisis sin perder precisión en las simulaciones. Para su uso se cargó en cada zona temperatura superficial del suelo obtenida del archivo climático, esto es especialmente útil en nuestro caso que no se tiene datos de qué tipo de suelo se encuentra por debajo. Se le dará un valor inicial de $0.5 \text{ W/kg}\cdot\text{K}$.

Para el modelado de las ventanas, se utilizó el *Sistema de Acristalamiento Simple* (*Windows Simple Glazing System*), el cual simplifica la simulación de rendimiento térmico al requerir únicamente dos parámetros clave: el *U-factor* y el *coeficiente de ganancia de calor solar* (SHGC). Por lo que, a las ventas, orientadas hacia el norte, les asignaremos un U-factor de $1.2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$. También tendrán un coeficiente de ganancia solar (SHGC) de 0.4.

El primero mide la capacidad de aislamiento de las ventanas, indicando la cantidad de calor que atraviesa el vidrio en condiciones de invierno. Un valor bajo de U-factor significa que la ventana ofrece una mayor resistencia al paso del calor, contribuyendo a reducir las pérdidas energéticas en épocas frías. Por otro lado, el SHGC expresa la fracción de la radiación solar que pasa a través del vidrio, que se convierte en calor dentro del espacio interior. Un SHGC alto permite un mayor aprovechamiento de la ganancia solar, lo que puede ser ventajoso en climas fríos al reducir las necesidades de calefacción, mientras que un SHGC bajo ayuda a minimizar el calentamiento en climas cálidos. Con este sistema, se logra un equilibrio adecuado entre aislamiento y ganancia solar, adaptando el rendimiento de la envolvente a las condiciones de confort térmico sin necesidad de incluir múltiples capas o configuraciones de acristalamiento más complejas.

Para modelar la **infiltración de aire** en la zona, se utilizó el método *Design Flow Rate* en EnergyPlus. Este enfoque permite especificar una tasa de flujo de aire constante, expresada en metros cúbicos por segundo (m^3/s), que simula la entrada de aire no controlado a través de aberturas no intencionadas como juntas de ventanas y puertas, o pequeñas fisuras en la estructura de la envolvente. En este caso, se estableció una tasa de infiltración de $0.018 \text{ m}^3/\text{s}$ para la zona. Este valor representa un flujo constante de aire exterior que ingresa al espacio, el cual influye en la carga térmica total al modificar la temperatura y la calidad del aire en el interior.

El primer modelo de la vivienda no contará con ningún sistema de climatización, permitiendo que la temperatura interior varíe libremente en respuesta a las condiciones exteriores. Este enfoque nos permitirá analizar el comportamiento térmico natural del recinto y observar cómo las propiedades de la envolvente afectan las temperaturas internas. El objetivo es comprender mejor la relación entre las variables modificadas y su impacto sobre la temperatura interior, lo que será útil para compararlas y evaluar la eficiencia de las estrategias pasivas en distintas épocas del año.

Para el segundo modelo Bestest, se configuró un **sistema HVAC** mediante el *Ideal Load Air System*, adaptado para mantener el confort térmico en la única zona definida en el proyecto. Este sistema

es ideal para simular condiciones de carga sin requerir la definición de equipos específicos de calefacción o refrigeración, ya que representa de manera simplificada el consumo de energía necesario para mantener la zona en un rango de temperatura confortable. En este caso, el sistema HVAC de calefacción y refrigeración está configurado para que la temperatura interior de la vivienda se mantenga dentro de un rango de confort específico: evitando que supere los 27 °C ni descienda por debajo de los 21 °C.

Este modelo permitirá evaluar la cantidad de energía necesaria a lo largo del año para mantener condiciones interiores confortables y ayudará a cuantificar el rendimiento térmico pasivo de la envolvente de la vivienda.

Una vez finalizado el Bestest, proseguimos a trabajar en el modelado de las **viviendas Procrear**. Por la tipología de construcción, es necesario subdividir las viviendas en zonas térmicas. En EnergyPlus, el proceso de definición y subdivisión de zonas térmicas sigue un enfoque técnico para agrupar áreas con características térmicas y de climatización similares. A continuación, se describe los pasos según el Manual de Ingeniería del software para definir las zonas térmicas:

- **Definición de Espacios:** La vivienda se divide en "espacios" según las áreas físicas y el propósito funcional del inmueble, sin necesidad de crear cada planta de manera independiente. Cada espacio puede incluir varios elementos geométricos que definen su tamaño, forma y ubicación.
- **Asignación de Propiedades de Materiales y Construcción:** A cada superficie (paredes, techos, pisos, etc.) que conforma los espacios se le asignan propiedades de construcción. Esto incluye detalles como el tipo de material, espesor, conductividad térmica y otros factores de desempeño térmico que afectan la transferencia de calor.
- **Agrupación en Zonas Térmicas:** Los espacios son agrupados en zonas térmicas de acuerdo con la uniformidad de sus cargas térmicas y condiciones de climatización. Esto implica agrupar los espacios que comparten un sistema de climatización específico o que se comportan de manera similar en cuanto a ganancia y pérdida de calor. Este agrupamiento es clave para modelar el comportamiento térmico de los edificios.
- **Definición de la Envolvente Térmica:** La envolvente térmica de cada zona se define mediante los elementos exteriores que separan la zona de su entorno, como paredes exteriores, techos y suelos en contacto con el exterior. Estos elementos son los que determinan el intercambio de calor entre el interior y el exterior del edificio.
- **Establecimiento de Condiciones de Frontera y Conexiones:** Para cada superficie de la envolvente, se determinan las condiciones de frontera, que pueden ser de intercambio con el exterior, con zonas no climatizadas, o entre zonas climatizadas adyacentes. Esto permite modelar cómo el calor se transfiere entre las zonas térmicas y hacia el exterior.
- **Configuración de los Sistemas de Climatización y Ventilación:** Se especifican los sistemas de climatización y ventilación que afectan cada zona térmica. Los sistemas pueden incluir equipos de calefacción, refrigeración y ventilación, y se configuran de acuerdo con los requerimientos específicos de cada zona.

A partir de este procedimiento, las subdivisiones por zona y el modelado geométrico de las viviendas quedan de la siguiente manera:

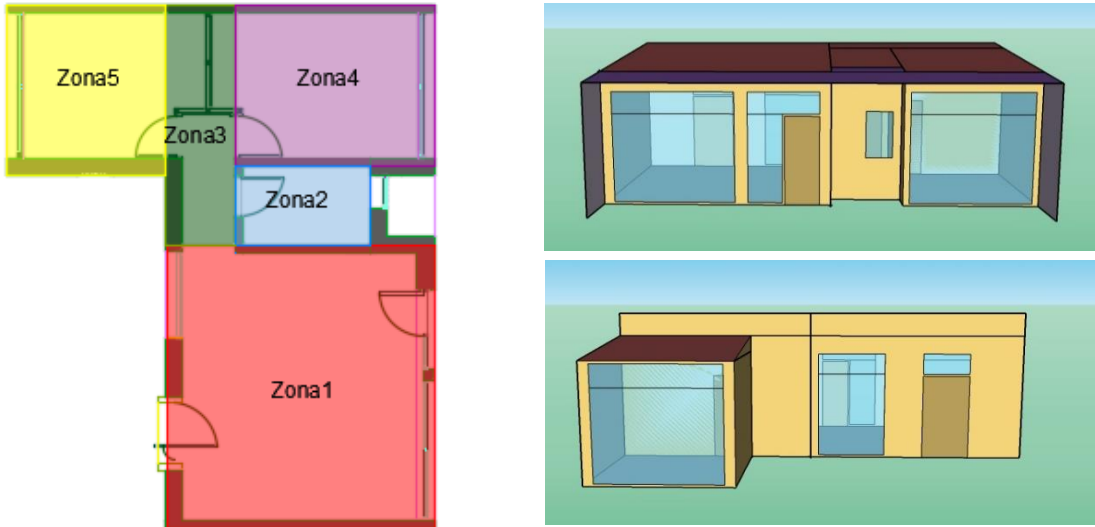


Ilustración 14: Distribución de zonas térmicas y esquema "Aimé".

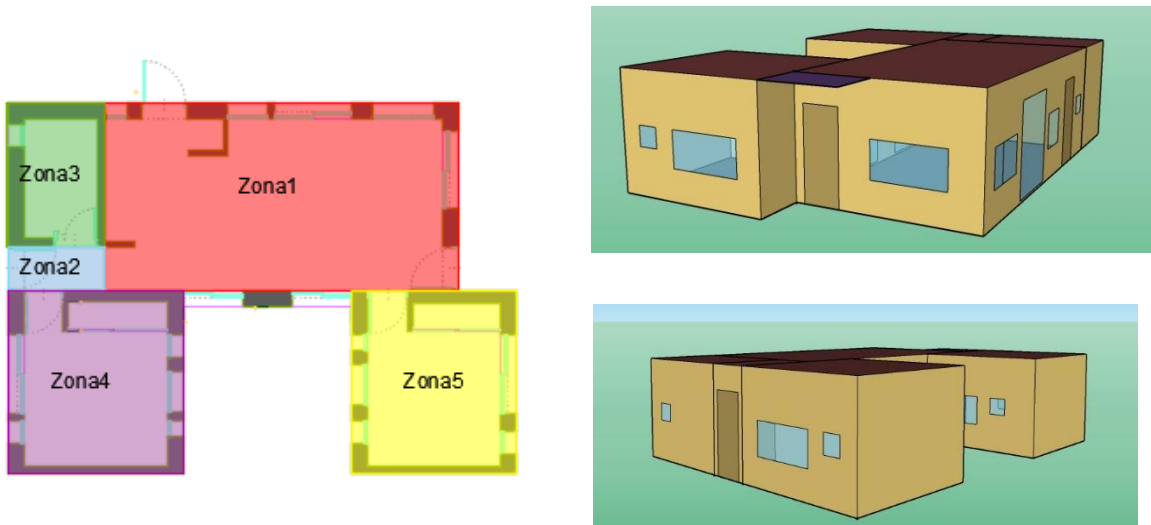


Ilustración 15: Distribución de zonas térmicas y esquema modelado "Alfonsina".

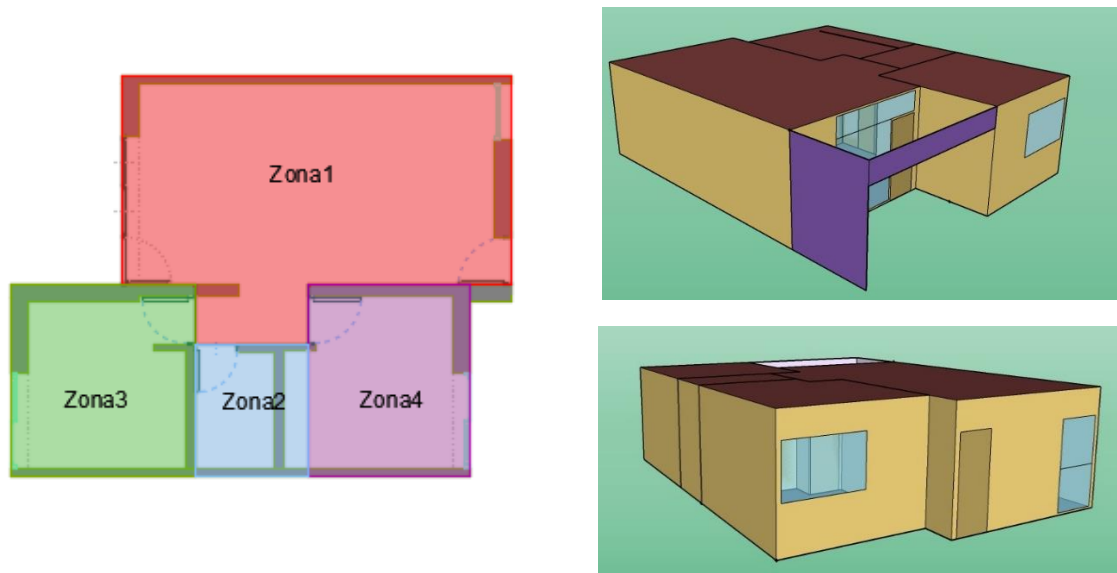


Ilustración 16: Distribución de zonas térmicas y esquema en modelado "Milagros"

Para ambos modelos, las configuraciones algorítmicas para el cálculo del balance térmico se alinearán con las establecidas en el modelo Bestest. Cada uno de los tres modelos de vivienda se someterá a dos simulaciones.

En el primer modelado, los sistemas HVAC estarán configurados de manera idéntica a la segunda simulación del modelo Bestest, manteniendo los límites de confort establecidos. En este caso, los sistemas de climatización estarán activos únicamente en las zonas de estar/comedor y en las dos habitaciones, mientras que el resto de las áreas no contará con ningún sistema.

El segundo modelo seguirá la misma configuración que el primero, pero introducirá un uso más realista al considerar el tiempo de ocupación de las habitaciones. En esta simulación, la activación de los sistemas de climatización ocurrirá únicamente cuando la temperatura esté fuera del rango de confort, que va de 21 a 27 grados Celsius, y dentro del horario de ocupación de las zonas correspondientes.

Para los dormitorios, se asignará una ocupación de dos personas en una franja horaria de 9 horas, la cual va desde las 22:00 hasta las 7:00 del día siguiente. En el estar-comedor, el tiempo de uso se dividirá en franjas horarias: de 7:00 a 9:00 para el desayuno; de 12:00 a 14:00 para el almuerzo; y de 20:00 a 22:00 para la cena. Esta área estará ocupada por cuatro personas, además de considerar la presencia de electrodomésticos que también generan calor.

Para ambos espacios, se estableció una carga de 50 W por persona, conforme al valor recomendado por la normativa para personas en reposo. Además, se asignó una carga de 5 W por metro cuadrado correspondientes a la iluminación, en función de las sugerencias normativas. Por último, en la zona del estar/comedor se contempló una carga adicional de 200 W debido a la presencia de los electrodomésticos que se encuentran en esta.

Este enfoque busca que el consumo de energía se adapte más a la realidad. Evaluando la eficiencia energética considerando la vinculación entre el uso de la energía y el comportamiento de los ocupantes, evitando trabajar con la vivienda como un ente aislado. Así, podremos obtener

resultados que reflejen con mayor precisión el desempeño energético de la vivienda en situaciones cotidianas.

5.4. Análisis de sensibilidad

El análisis de sensibilidad se realizará con la metodología *one at a time*, como ya se mencionó anteriormente. Consiste en modificar una variable a la vez para observar su impacto en el modelo Bestest. Este enfoque simplificado permite identificar con precisión qué variables tienen mayor o menor influencia en el comportamiento térmico del edificio. Los resultados servirán de base para aplicar estos hallazgos en modelos más complejos como son las viviendas Procrear en distintas zonas climáticas del país, evaluando cómo el entorno afecta la eficiencia energética.

Evaluaremos las modificaciones en todas las zonas climáticas para analizar cómo el entorno influye en las variables estudiadas. Esto permitirá diseñar viviendas que se adapten de manera óptima a las condiciones exteriores específicas de cada ubicación.

Para comenzar, se explora cómo la **orientación cardinal** de la vivienda influye en la ganancia solar y, en consecuencia, en el consumo energético. Lo que haremos es partir con las ventanas orientadas hacia la dirección norte, lo cual será 0 grados, y luego ir rotando en intervalos de 15 grados desde la posición inicial. Lo que buscamos es evaluar cómo la exposición solar cambia el comportamiento térmico.

Se analiza también la **resistencia térmica** de la envolvente, que depende de la capacidad de los materiales para oponerse al flujo de calor. Para esto lo que haremos es ir alterando la conductividad térmica, la cual es inversamente proporcional a la resistencia, con el fin de evaluar cómo el aislamiento reduce la pérdida de energía y la dependencia de sistemas de calefacción o refrigeración.

Otro factor a llevar en cuenta será el **calor específico** de la envolvente. Este está relacionado a la inercia térmica, es decir, la capacidad de almacenar y liberar calor lentamente. Para esto iremos probando varios valores en los muros y en el techo, para observar como factor contribuye a estabilizar la temperatura interna.

Relacionado a la inercia térmica, se analizará la **densidad**. Ya que un aumento en la densidad incrementa la masa y, con ello, la capacidad de almacenamiento térmico. Este fenómeno ayuda a moderar las variaciones de temperatura, permitiendo que el calor absorbido durante el día se libere gradualmente durante la noche, favoreciendo la estabilidad térmica y la eficiencia energética.

La **absorción solar** se estudiará modificando el nivel de captación de radiación solar en paredes y techo. Materiales con alta absorción elevan la temperatura interna, mientras que los de baja absorción ayudan a mantener el interior más fresco al reflejar la radiación. Con ajustes en el nivel de absorción, se analiza cómo este factor afecta la demanda energética.

La **absorción térmica** de la envolvente, será otra de las propiedades a estudiar. Esta la evaluaremos para comprender la capacidad de almacenar calor proveniente de las distintas fuentes térmicas, como ya se observó en la ecuación del balance térmico.

Otro factor de interés es el **U-factor** de las ventanas, el cual es una medida de la conductividad térmica, indicando cuánto calor se pierde por unidad de área y diferencia de temperatura. Un valor

bajo de U-factor implica mejor aislamiento, ayudando a mantener temperaturas confortables dentro de la vivienda. En el análisis, se evaluará cómo distintas variaciones en el U-factor afectan la temperatura interna, considerando su impacto en el confort y consumo energético.

Asimismo, se examinará el **Coefficiente de ganancia de calor solar** (SHGC por sus siglas en inglés), que mide la cantidad de radiación solar convertida en calor en el interior del edificio. Un SHGC alto permite que una mayor proporción de radiación solar entre, lo que puede aumentar la temperatura interior en días soleados. Este parámetro es clave para determinar cómo la elección de las ventanas influye en el comportamiento térmico del edificio.

Para el piso en contacto con el suelo, se analizará el **F-factor**, que representa la transferencia de calor a través del perímetro expuesto. Este factor resulta esencial al modelar pisos en contacto directo con el terreno, ya que el suelo tiene un rol relevante en la pérdida de calor.

Se incorporarán **aleros sobre las ventanas**, cuya longitud será evaluada en función de su efectividad para reducir la radiación solar directa que ingresa a través de estas. Los aleros ayudan a mitigar la ganancia de calor durante las horas de mayor radiación, contribuyendo a una menor carga térmica en el interior y, por ende, a una reducción en el consumo de energía.

Además, se analizará la **relación entre el área de las ventanas y la superficie del muro**. Ventanas más grandes permiten una mayor entrada de luz y calor solar, pero también representan puntos de mayor vulnerabilidad para la pérdida de energía, ya que suelen tener una resistencia térmica menor en comparación con el resto de la envolvente. Este análisis ayudará a entender cómo el tamaño de las ventanas influye en la demanda energética de calefacción y refrigeración.

Se estudiará también la **relación entre el perímetro y el área de la base de la vivienda**. Manteniendo constante el área, se observará cómo cambios en las dimensiones del perímetro afectan la transferencia de calor a través de las paredes, dado que un mayor perímetro implica una mayor superficie expuesta al exterior, lo cual puede intensificar las pérdidas o ganancias de calor.

En este análisis se investigará el impacto de la **convección** en la envolvente del edificio y su influencia en el comportamiento térmico. Como mencionamos anteriormente, la convección depende del coeficiente convectivo (h), el cual a su vez es función de múltiples factores. Existen diversos métodos para determinarlo; incluso, EnergyPlus ofrece varios algoritmos para su cálculo. Realizaremos pruebas empleando cada uno de estos algoritmos, tanto para el coeficiente convectivo interno como para el externo, con el fin de analizar cómo afecta la variación de este factor en el cálculo y evaluar la influencia de cada método en el confort térmico global.

La **infiltración** será otro factor que analizaremos. Este parámetro determina el volumen de aire exterior que ingresa a la vivienda por segundo, y, para nuestro análisis, iremos variando esta cantidad. El objetivo es observar cómo el ingreso de aire exterior modifica la temperatura interna y su estabilidad. Además, este parámetro será útil para definir el nivel óptimo de renovación de aire del aire exterior que garantiza no solo el confort térmico.

También se estudiará el impacto de la **ventilación natural** sobre la temperatura interna al remover el sistema HVAC, utilizando únicamente la apertura de ventanas para regular el confort. En este caso, se simulará un rango de apertura de las ventanas, de 0 a 80% del área total, y se programarán para abrirse cuando la temperatura interior esté entre 21°C y 27°C. Además, se realizarán ensayos orientando las ventanas hacia las direcciones norte, sur, este y oeste, para determinar cómo la

dirección del viento afecta la eficacia de la ventilación. Este análisis permitirá observar cómo el flujo de aire natural influye en el confort interior y la eficiencia energética del edificio, identificando la orientación más favorable para maximizar el aprovechamiento del viento y mejorar el diseño de futuras edificaciones.

Cada simulación se hará para ambos modelos que se planteó anteriormente.

Del primero, que no tiene sistema HVCA, lo utilizaremos para el análisis de temperatura ambiente, con la cual calcularemos el RMSE (Root Mean Square Error). Este criterio nos permitirá medir cómo varía la temperatura interna de manera natural y se aplicará a la comparación entre el caso base y los casos modificados, cuantificando la desviación promedio en la temperatura entre ambos. El RMSE se calcula de la siguiente forma:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Temp_{base,i} - Temp_{modificado,i})^2}$$

Donde:

- n representa el número de horas en el año (8760 horas en nuestro caso).
- $Temp_{base,i}$ es la temperatura en la hora i para el caso base.
- $Temp_{modificado,i}$ es la temperatura en la misma hora i para el caso modificado.

Para el caso de temperatura controlada por HVCA, analizaremos la energía necesaria para cada uno de los casos analizados, desglosando la energía requerida para refrigeración, calefacción y el total necesario para mantener la temperatura del recinto dentro de los límites establecidos. Con base en la cantidad de energía que necesita la vivienda para mantenerse en condiciones confortables, será posible categorizar y determinar qué valor de cada variable es el más adecuado para cada zona climática.

Para llevar a cabo este análisis, lo que haremos será generar un código, el cual será corrido a través de Octave. A continuación, se adjunta un esquema de cómo trabaja el mismo.

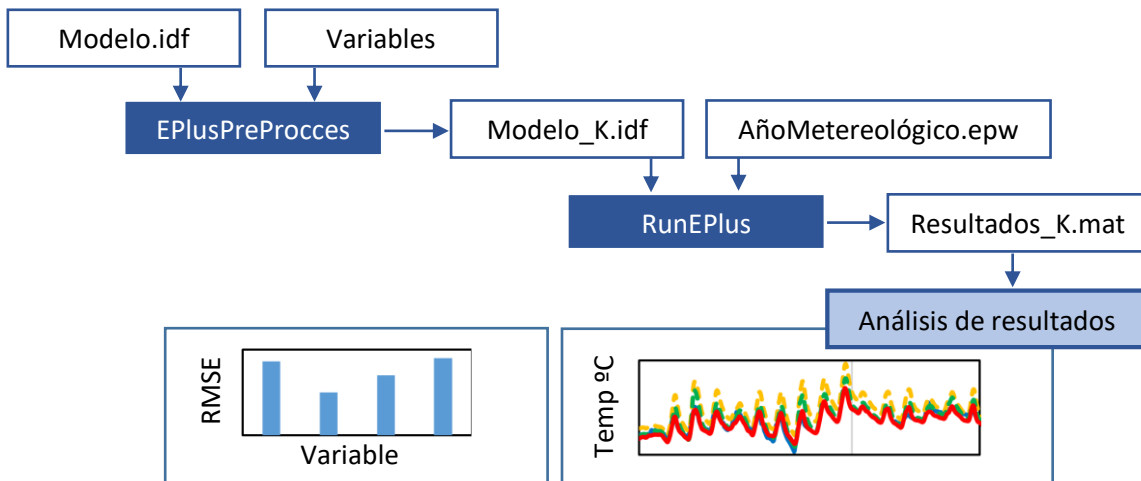


Ilustración 17: Esquema de código para generar el análisis de sensibilidad para la primera metodología de modelado.

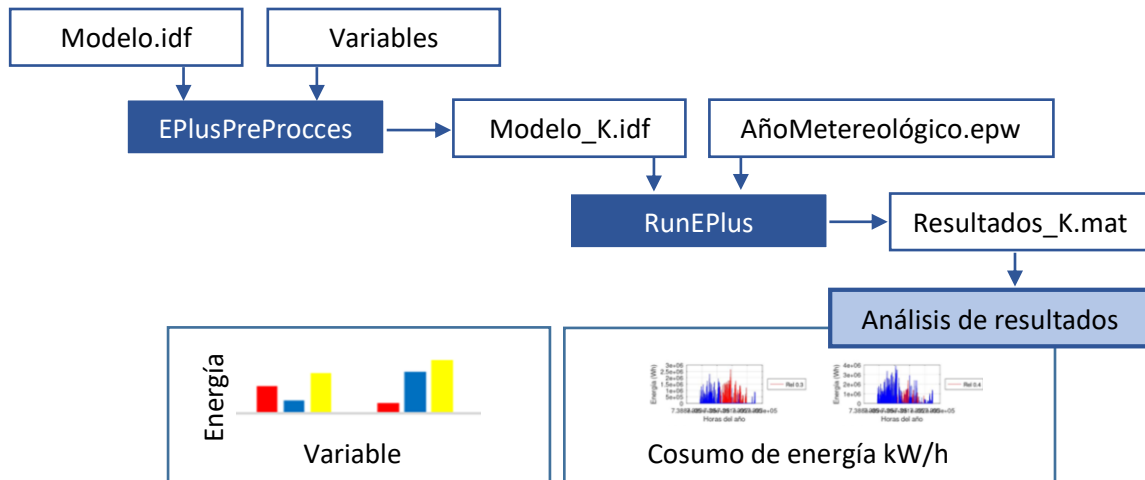


Ilustración 18: Esquema de código para generar el análisis de sensibilidad para la segunda metodología de modelado.

Ingresamos al código que denominamos “EPlusPREProces” los datos del IDF. Esta, cual se encarga de generar nuevos archivos IDF, en cada uno modificando la variable que vamos a trabajar. Con los nuevos archivos ya generado y junto a el archivo .EPW, el cual contiene la información climática de la localidad a trabajar, se entra a la función “RunEPlus”. La función que cumple es la de correr cada uno de los archivos que se generó anteriormente. Para lo mismo utiliza EnergyPlus. La información generada se guarda en archivos del tipo .mat, la cual es utilizada para realizar las gráficas y así poder realizar las comparaciones.

El código se procesa ejecuta dos veces, en la primera utiliza el modelado sin sistema HCVA, por lo que en ese caso la función “Análisis de resultados” se encarga de generar dos tipos de gráficos, El primer gráfico en esta modalidad muestra cómo varía la temperatura interior de la vivienda para cada valor de la variable, específicamente en los meses de enero y julio, los más críticos en cuanto a demanda térmica. El último gráfico es un gráfico de barras que presenta el RMSE (Root Mean Square Error) de cada valor probado en comparación con el valor original (considerado como 0). Este análisis permite identificar la precisión de cada variable en relación al caso base.

La segunda vez que se ejecuta, lo hace con el archivo IDF que, si contempla el sistema de HVCA, por lo que en este caso la función “Análisis de resultados” se encarga de generar otros dos tipos de gráficos. El primero es un gráfico de barras que muestra, para cada opción evaluada, la cantidad de energía en kW requerida para calefacción y refrigeración, junto con la suma de ambas. Este gráfico permite comparar de forma clara el consumo total de energía necesario para alcanzar el confort en cada caso. El segundo gráfico muestra el consumo de energía a lo largo del año en cada caso, desglosado en energía de calefacción (en rojo) y de refrigeración (en azul). Esto permite observar cómo evoluciona el consumo y en qué momentos es más necesaria cada forma de energía.

5.5. Optimización

Para complementar el análisis de sensibilidad, es necesario evaluar cómo ciertas variables interactúan entre sí y cómo afectan al comportamiento térmico de la vivienda. Para ello, se llevará a cabo un proceso de optimización que permita explorar estas interacciones de manera simultánea. El objetivo de este enfoque es seleccionar un conjunto específico de variables y modificarlas

simultáneamente, probando múltiples combinaciones para identificar aquellas configuraciones más favorables para el modelo.

Para la selección de las variables que utilizaremos en esta optimización, consideraremos dos aspectos. En primer lugar, que las variables elegidas tengan una influencia significativa en la temperatura interna de la construcción Bestest. Para ello, analizaremos los resultados obtenidos del análisis de sensibilidad, más precisamente los valores de RMSE (Root Mean Square Error) de cada variable. Los que nos indicara la magnitud de la influencia de cada variable en el rendimiento térmico del modelo.

El segundo factor a considerar es la viabilidad práctica de intervenir sobre estas variables. Es crucial que las modificaciones aplicadas en el modelo reflejen condiciones reales, evitando que se limiten a un ámbito puramente teórico. Esto significa que las variables seleccionadas deben ser factibles en cuanto a su intervención y aplicabilidad, de modo que las soluciones planteadas puedan implementarse de manera efectiva en las viviendas proyectadas.

La optimización se llevará a cabo en el modelo Bestest, centrándonos exclusivamente en el segundo modelo, que incluye el sistema HVAC. Este modelo nos permitirá evaluar la cantidad de energía requerida para cada combinación de variables y nos ayudará a identificar patrones en las diferentes interacciones. De esta manera, podremos comprender mejor cómo cada conjunto de variables contribuye al consumo energético del sistema.

Una vez seleccionadas las variables, definiremos un rango de valores que probaremos para cada una de ellas. Posteriormente, examinaremos todas las combinaciones posibles y generaremos un gráfico de Pareto, donde representaremos en el eje X la energía necesaria para refrigeración y en el eje Y la energía necesaria para calefacción. Este gráfico nos permitirá visualizar las tendencias de las combinaciones y extraer las mejores configuraciones para maximizar la eficiencia energética del modelo. Para la generación de este grafico se utilizará un código genético armado en Octave. A continuación, se adjunta un esquema de cómo trabaja el mismo.

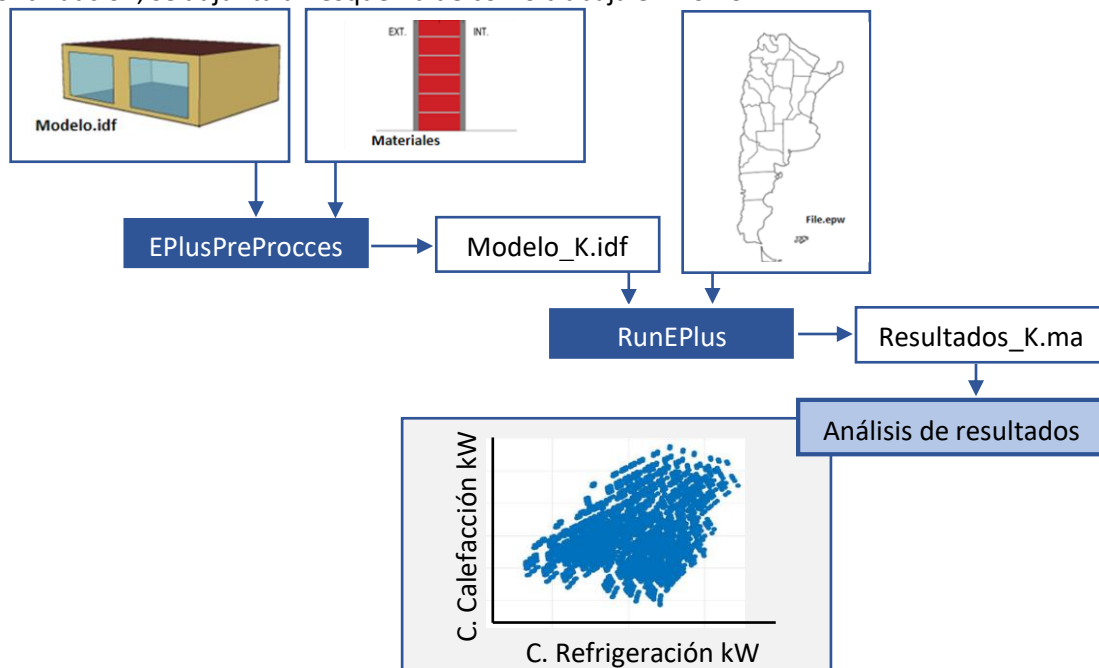


Ilustración 19: Esquema de código para generar el gráfico de Pareto.

Primero, es necesario cargar en el código todas las variables que utilizaremos. En este caso, estas variables incluirán los diferentes paquetes para el suelo y el techo, así como las configuraciones de los vidrios, que afectan tanto al U-Factor como al SGHC. Además, debemos agregar el archivo EPW de cada localidad junto con el archivo IDF correspondiente, el cual utiliza el modelo Bestest con sistema HVAC. Este proceso activará la función “EplusPreProcess”, encargada de reescribir el archivo IDF y generar todas las combinaciones posibles, para luego ejecutarlas con la función “RunEPlus”. Esta última, similar al código empleado en el análisis de sensibilidad, genera archivos tipo MAT luego de correr cada IDF con EnrgyPlus, los cuales serán leídos por la función “Graficas”, que se encarga de crear los gráficos requeridos.

De los resultados obtenidos, seleccionaremos los mejores casos para implementarlos en las casas denominadas 'Alfonsina' y 'Milagros'. Cabe destacar que la casa 'Aimé' cuenta con techos inclinados, por lo que para esta vivienda se elegirán las combinaciones constructivas con mejores resultados que incluyan este tipo de techo. Para la elección de paquetes se definirá el valor de U-Factor según las posibilidades que teníamos en un principio, mismo que se hace con el SHGC. Para indicar que paquete de muro o techo se utiliza, se lo denomina con el número con el que se lo presento en la sección de materiales.

Después de analizar los resultados de la optimización, procederemos a seleccionar las combinaciones que demostraron los mejores rendimientos para cada una de las localidades consideradas. El objetivo es aplicar estas configuraciones optimizadas en las viviendas Procrear previamente definidas. Esto con el fin de poder ver como se relaciona los resultados obtenidos en un tipo de construcción simple y de prueba a casos reales. Para eso implementaremos las variables seleccionadas en las viviendas de ambas configuraciones: el primer modelo, que cuenta con el sistema HVAC activo de manera continua, y el segundo modelo, que activará el sistema HVAC únicamente cuando haya ocupantes en el recinto y cuenta con cargas internas adicionales.

5.6. Materiales.

Los materiales elegidos para el análisis son construcciones de uso tradicional en viviendas argentinas. Estos paquetes están diseñados para ser de fácil implementación, con un rango de costos accesible y una tecnología de aplicación sencilla.

Los paquetes constructivos se presentan a continuación, especificando para cada uno el espesor y propiedades térmicas de cada capa de material. Se determinan la conductividad térmica, la densidad, el calor específico y la resistencia térmica, calculada como la relación entre el espesor y la conductividad. Estas variables serán utilizadas para el análisis posterior. Cada paquete se identifica con un número que facilitará su referencia en los resultados. A continuación, se presenta la lista de paquetes constructivos, junto a imágenes que representan las construcciones del mismo para facilitar su interpretación.

5.6.1. Mampostería

- **Mampostería 1:** Está compuesta por ladrillos comunes (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla nº 3).

	Material		e	λ	R	γ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo común	120	0.910	0.132	1800	840
3	Revoque interior	15	0.93	0.016	1900	1000	

Tabla 3: Paquete de muros N° 1.

- **Mampostería 2:** Está compuesta por ladrillos comunes (24 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla n° 4).

	Material		e	λ	R	γ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo común	240	0.910	0.264	1800	840
3	Revoque interior	15	0.93	0.016	1900	1000	

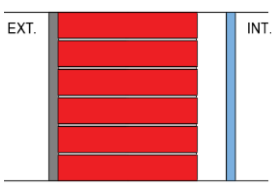
Tabla 4: Paquete de muros N° 2.

- **Mampostería 3:** Está compuesta por ladrillos comunes (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla n° 5).

	Material		e	λ	R	γ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque fino	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo común	120	0.910	0.132	1800	840
3	Cámara de aire	50		0.17			
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090	

Tabla 5: Paquete de muros N° 3.

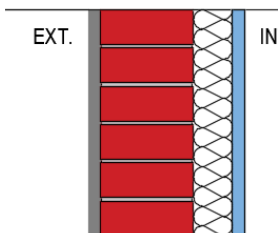
- **Mampostería 4:** Está compuesta por ladrillos comunes (24 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla n° 6).



Material		e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo común	240	0.910	0.264	1800	840
3	Cámara de aire	50		0.17		
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 6: Paquete de muros N° 4.

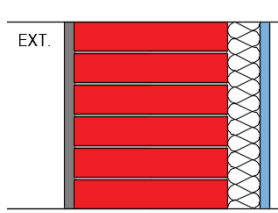
- **Mampostería 5:** Está compuesta por ladrillos comunes (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 7).



Material		e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo común	120	0.910	0.132	1800	840
3	Placa EPS	50	0.033	1.515	20	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 7: Paquete de muros N° 5.

- **Mampostería 6:** Está compuesta por ladrillos comunes (24 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 8).



Material		e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo común	240	0.910	0.264	1800	840
3	Placa EPS	50	0.033	1.515	25	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 8: Paquete de muros N° 6.

- **Mampostería 7:** Está compuesta por ladrillos tabique (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla nº 9).

	Material		e	λ	R	Υ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo tabique	120	0.333	0.360	860	800
3	Revoque interior	15	0.93	0.016	1900	1000	

Tabla 9: Paquete de muros N° 7.

- Mampostería 8:** Está compuesta por ladrillos tabique (18 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla nº 10).

	Material		e	λ	R	Υ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo tabique	180	0.439	0.410	860	800
3	Revoque interior	15	0.93	0.016	1900	1000	

Tabla 10: Paquete de muros N° 8.

- Mampostería 9:** Está compuesta por ladrillos tabique (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla nº 11).

	Material		e	λ	R	Υ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo tabique	120	0.333	0.360	1300	800
3	Cámara de aire	50		0.17			
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090	

Tabla 11: Paquete de muros N° 9.

- Mampostería 10:** Está compuesta por ladrillos tabique (18 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla nº 12).

	Material		e	λ	R	Υ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo tabique	180	0.439	0.410	860	800
3	Cámara de aire	50		0.17			
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090	

Tabla 12: Paquete de muros N° 10.

- **Mampostería 11:** Está compuesta por ladrillos tabique (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 13).

	Material	e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo tabique	120	0.333	0.360	860	800
3	Placa EPS	50	0.033	1.515	20	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 13: Paquete de muros N° 11.

- **Mampostería 12:** Está compuesta por ladrillos tabique (18 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 14).

	Material	e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo tabique	180	0.439	0.410	860	800
3	Placa EPS	50	0.033	1.515	20	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 14: Paquete de muros N° 12.

- **Mampostería 13:** Está compuesta por ladrillos portante (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla nº 15).

	Material	e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo portante	120	0.279	0.430	867	900
3	Revoque interior	15	0.93	0.016	1900	1000

Tabla 15: Paquete de muros N° 7.

- **Mampostería 14:** Está compuesta por ladrillos portante (18 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla nº 16).

EXT.	INT.	Material	e	λ	R	γ	C	
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)	
		1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
		2	Ladrillo portante	180	0.391	0.460	788	900
		3	Revoque interior	15	0.93	0.016	1900	1000

Tabla 16: Paquete de muros N° 8.

- **Mampostería 15:** Está compuesta por ladrillos portante (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla nº 17).

EXT.	INT.	Material	e	λ	R	γ	C	
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)	
		1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
		2	Ladrillo portante	120	0.279	0.430	867	900
		3	Cámara de aire	50		0.17		
		4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 17: Paquete de muros N° 15.

- **Mampostería 16:** Está compuesta por ladrillos portante (18 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla nº 18).

EXT.	INT.	Material	e	λ	R	γ	C	
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)	
		1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
		2	Ladrillo portante	180	0.391	0.460	788	900
		3	Cámara de aire	50		0.17		
		4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 18: Paquete de muros N° 16.

- **Mampostería 17:** Está compuesta por ladrillos portante (12 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 19).

Material		e	λ	R	Υ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo portante	120	0.279	0.430	867	900
3	Placa EPS	50	0.033	1.515	20	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 19: Paquete de muros N° 17.

- **Mampostería 18:** Está compuesta por ladrillos portante (18 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 20).

Material		e	λ	R	Υ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo portante	180	0.391	0.460	788	900
3	Placa EPS	50	0.033	1.515	20	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 20: Paquete de muros N° 18.

- **Mampostería 19:** Está compuesta por ladrillos de hormigón portante (10 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla nº 21).

Material		e	λ	R	Υ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo hormigón	100	0.588	0.170	2223	900
3	Revoque interior	15	0.55	0.027	1125	1000

Tabla 21: Paquete de muros N° 19.

- **Mampostería 20:** Está compuesta por ladrillos de hormigón portante (20 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior y revoque grueso fratasado en el interior (ver tabla nº 22).

Material		e	λ	R	Υ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque exterior	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo hormigón	200	1.000	0.200	1900	900
3	Revoque interior	15	0.93	0.016	1900	1000

Tabla 22: Paquete de muros N° 20.

- **Mampostería 21:** Está compuesta por ladrillos de hormigón portante (10 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla nº 23).

	Material		e	λ	R	γ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo hormigón	100	0.588	0.170	2223	900
	3	Cámara de aire	50		0.17		
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090	

Tabla 23: Paquete de muros N° 21.

- **Mampostería 22:** Está compuesta por ladrillos de hormigón portante (20 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, una cámara de aire y una placa de yeso (ver tabla nº 24).

	Material		e	λ	R	γ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo hormigón	200	1.000	0.200	1900	900
	3	Cámara de aire	50		0.17		
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090	

Tabla 24: Paquete de muros N° 22.

- **Mampostería 23:** Está compuesta por ladrillos de hormigón portante (10 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 25).

	Material		e	λ	R	γ	C
			mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
	1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
	2	Ladrillo hormigón	100	0.588	0.170	2223	900
	3	Placa EPS	50	0.033	1.515	20	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090	

Tabla 25: Paquete de muros N° 23.

- **Mampostería 24:** Está compuesta por ladrillos de hormigón portante (20 cm de espesor), revoque impermeable y grueso fratasado en el exterior, placa poliestireno expandido y una placa de yeso (ver tabla nº 26).



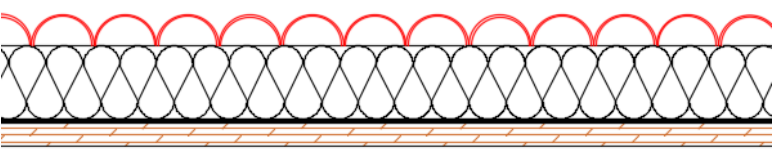
	Material	e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque	15	0.93	0.016	1900	1000
2	Ladrillo hormigón	200	1.000	0.200	1900	900
3	Placa EPS	50	0.033	1.515	20	1500
4	Placa se Yeso	12.5	0.37	0.034	800	1090

Tabla 26: Paquete de muros N° 24.

Habiendo presentado los paquetes podemos observar que tenemos un total de 24 tipos de paquetes constructivos.

5.6.2. Techos

- **Techo 1:** Está compuesto por una capa de machimbre de pino, una membrana asfáltica, una placa de poliestireno expandido (EPS) y una capa de tejas (ver tabla n.º 27).



	Material	e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Machimbre de pino	22	0.190	0.116	600	2000
2	Membrana asfáltica	7	0.700	0.010	2000	1000
3	Placa de poliestireno expandido EPS	70	0.033	2.121	25	1500
4	Tejas	30	0.700	0.043	1700	800

Tabla 27: Paquete de techo N° 1.

- **Techo 2:** Está compuesto por una capa de machimbre de pino, un film de polietileno (PE), una placa de poliestireno expandido (EPS) y una capa de chapa de acero galvanizado (ver tabla n.º 28).

Material		e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Machimbre de pino	22	0.190	0.116	600	2000
2	Film de PE	0.2				
3	Placa de poliestireno expandido EPS	50	0.033	1.515	25	1500
4	Chapa de acero galvanizado	0.5	58.000	0.000	7800	470

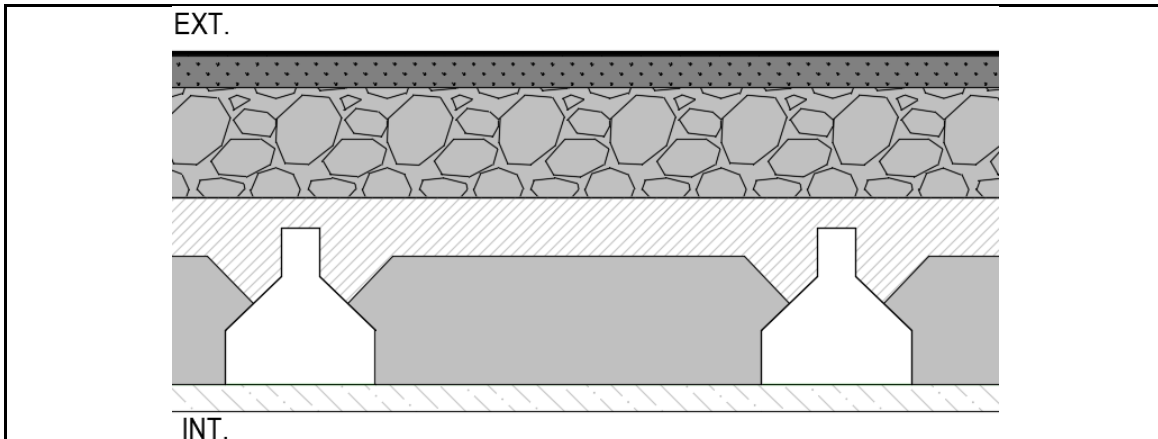
Tabla 28: Paquete de techo N° 2.

- **Techo 3:** Está compuesto por una capa de chapa de acero galvanizado interior, seguida de una placa de poliestireno expandido (EPS) y otra capa de chapa de acero galvanizado exterior (ver tabla n.º 29).

Material		e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Chapa de acero galvanizado	0.5	58.000	0.000	7800	470
2	Placa de poliestireno expandido EPS	80	0.033	2.424	25	1500
3	Chapa de acero galvanizado	0.5	58.000	0.000	7800	470

Tabla 29: Paquete de techo N° 3.

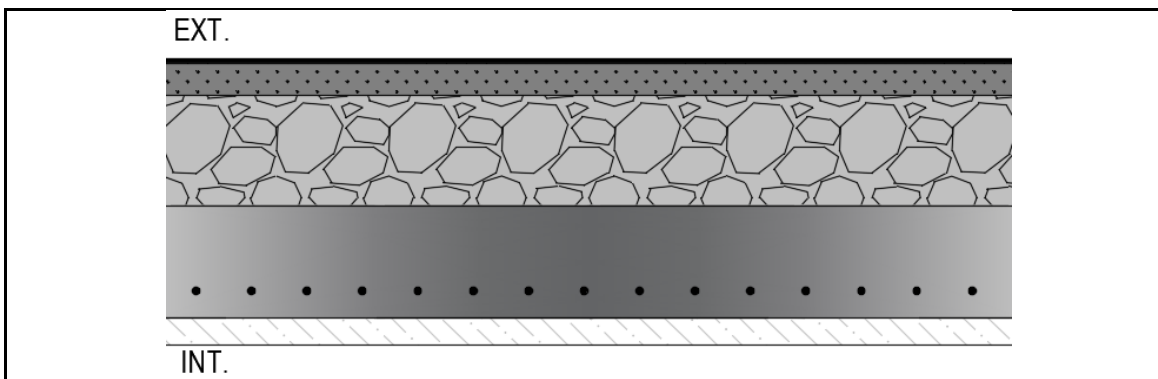
- **Techo 4:** Está compuesto por un revoque interior a la cal aplicado, una losa de viguetas con bloques de poliestireno expandido (EPS) y 5 cm de hormigón armado (HA), una pendiente de hormigón de cascotes, una carpeta de nivelación de concreto y una capa de aislación hidráulica (ver tabla n.º 30).



Material		e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque interior a la cal aplicado	25	0.700	0.036	1600	1100
2	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	170	0.350	0.486	2000	1500
3	Pendiente de Hormigón de cascotes	100	0.930	0.108	1900	1000
4	Carpeta de nivelación (concreto)	30	1.300	0.023	200	1200
5	Aislación hidráulica	4	0.700	0.006	1000	1500

Tabla 30: Paquete de techo N° 4.

- **Techo 5:** Está compuesto por un revoque interior a la cal aplicado, una losa de hormigón armado, una pendiente de hormigón de cascotes, una carpeta de nivelación de concreto y una capa de aislación hidráulica (ver tabla n.º 30).

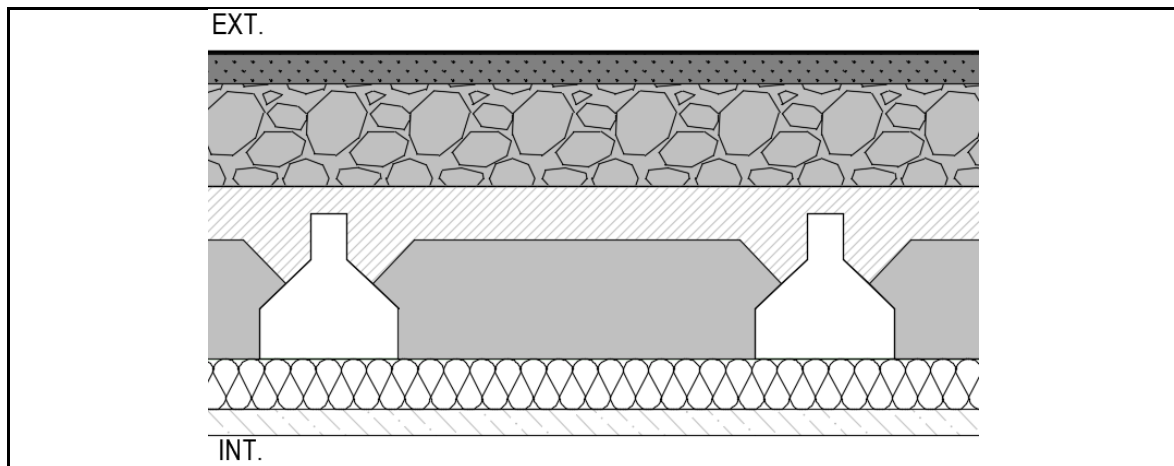


Material		e	λ	R	γ	C
		mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1	Revoque interior a la cal aplicado	25	0.700	0.036	1600	1100

2	Losa de hormigón armado	100	1.740	0.057	2500	1200
3	Pendiente de Hormigón de cascotes	100	0.930	0.108	1900	1000
4	Carpeta de nivelación (concreto)	30	1.300	0.023	200	1200
5	Aislación hidráulica	4	0.700	0.006	1000	1500

Tabla 31: Paquete de techo N° 5.

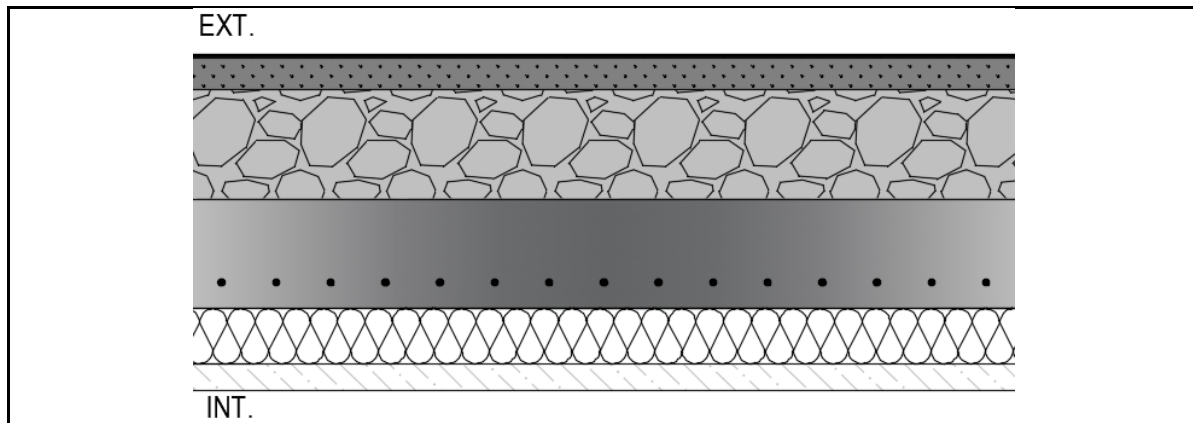
Techo 6: Está compuesto por una placa de yeso, una placa de poliestireno expandido (EPS), una losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de hormigón armado, una pendiente de hormigón de cascotes, una carpeta de nivelación de concreto y una capa de aislación hidráulica (ver tabla n.º 32).



Material	e	λ	R	γ	C	
	mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)	
1	Placa de yeso	25	0.37	0.068	800	1090
2	Placa de poliestireno expandido EPS	80	0.033	2.424	25	1500
3	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	170	0.350	0.486	2000	1500
4	Pendiente de Hormigón de cascotes	100	0.930	0.108	1900	1000
5	Carpeta de nivelación (concreto)	30	1.300	0.023	200	1200
6	Aislación hidráulica	4	0.700	0.006	1000	1500

Tabla 32: Paquete de techo N° 6. .

Techo 7: Está compuesto por una placa de yeso, una placa de poliestireno expandido (EPS), una losa de hormigón armado, una pendiente de hormigón de cascotes, una carpeta de nivelación de concreto y una capa de aislación hidráulica (ver tabla n.º 33).



Material	e	λ	R	γ	C
	mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1 Placa de yeso	25	0.37	0.068	800	1090
2 Placa de poliestireno expandido EPS	80	0.033	2.424	25	1500
3 Losa de hormigón armado	100	1.740	0.057	2500	1200
4 Pendiente de Hormigón de cascotes	100	0.930	0.108	1900	1000
5 Carpeta de nivelación (concreto)	30	1.300	0.023	200	1200
6 Aislación hidráulica	4	0.700	0.006	1000	1500

Tabla 33: Paquete de techo N° 7.

Se observa entonces un total de 7 paquetes de techo.

5.6.3. Pisos

Contaremos con un solo piso. El mismo está compuesto por cerámicos con mezcla adhesiva, una carpeta de cemento y arena, y un contrapiso de hormigón pobre (ver tabla n.º 34).

Material	e	λ	R	γ	C
	mm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1 Cerámico con mezcla adhesiva	38	0.700	0.054	1900	900

2	Carpeta de Cemento y Arena	42	1.130	0.037	2000	1000
3	Contra piso H pobre	120	0.760	0.158	1600	840

Tabla 34: Paquete de piso

5.6.4. Acristalamientos

En el caso de a las ventanas se utiliza los acristalamientos propuestos por la norma IRAM.

Tipo de Vidrio	U-Factor
Vidrio incoloro común	5.82
Policarbonato transparente incoloro de 3 mm de espesor	5.46
Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 6 mm	3.23
Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 12 mm	3.08
Triple vidriado hermético, compuesto por 3 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y 2 cámaras de aire de 6 mm cada una	2.23
Doble vidriado hermético, compuesto por un vidrio reflectante obtenido por proceso pirolítico de 4 mm de espesor sobre base gris, cara reflectante hacia el exterior y vidrio incoloro común de 3 mm hacia el interior, cámara de aire de 6 mm	3.45
Doble vidriado hermético, compuesto por un vidrio reflectante obtenido por proceso pirolítico de 4 mm de espesor sobre base gris, cara reflectante hacia el interior de la cámara de aire de 6 mm de espesor, y vidrio incoloro común de 3 mm hacia el interior	2.8

Tabla 35: Transmitancia térmica de ventanas. Fuente: Norma IRAM N° 11601 (versión año 2002) – Aislamiento térmico de edificios/Métodos de cálculo.

Para el Coeficiente de Ganancia de Calor Solar (SHGC), se implementa una serie de intervenciones en el vidrio, con el objetivo de modificar este parámetro. Aunque estas modificaciones pueden influir en el valor del U-Factor, su impacto es mínimo, por lo que se descartan los efectos secundarios que puedan ocasionar. A continuación, se presenta la tabla con los valores correspondientes.

Modificación	SHGC
Simple claro	0.9
Templado	0.8
Tinte claro	0.7
Tinte Oscuro	0.5
Recubrimiento Low-E	0.4
Vidrio Reflectante (Capa metálica)	0.3

Tabla 36: Modificaciones para variar el SHGC.

6. RESULTADOS

En este capítulo se presentan y analizan en detalle los resultados obtenidos a partir de las simulaciones realizadas tanto para el análisis de sensibilidad como para la optimización de variables. Aquí se abordarán los efectos y comportamientos observados en respuesta a los cambios de cada variable en el modelo, así como las interacciones entre ellas en el proceso de optimización. Además, se incluirán las conclusiones preliminares que emergen de estos resultados, destacando los patrones y tendencias que contribuyen a una comprensión más profunda de la eficiencia energética a partir de la envolvente.

6.1. Análisis de Sensibilidad.

Como ya se menciona, se ajustarán individualmente las propiedades de la envolvente en el modelo Bestest 900 con el fin de evaluar su impacto específico en el comportamiento térmico de la vivienda. Este enfoque permite controlar y modificar cada parámetro de forma aislada, logrando un análisis más detallado y preciso sobre la influencia de cada propiedad en las condiciones térmicas. La configuración inicial, junto a como se modificarán cada una de las variables se presenta a continuación en una tabla resumen.

Variables	Rango en el que se estudia	Caso Base
Orientación Cardinal	0 respecto al norte a 345 aumentando en 15 grados	0
Resistencia térmica Muros ($m^2 \cdot K/W$)	0.1 a 10	10
Calor específico Muros $J/(kg \cdot K)$	700 a 1400	1000
Densidad Muros (kg/m^3)	500 a 3000	1000
Absorción Solar Muros	0.01 a 0.99	0.7
Absorción Térmica Muros	0.01 a 0.99	0.9
Resistencia térmica Techo ($m^2 \cdot K/W$)	0.1 a 10	10
Calor específico Techo $J/(kg \cdot K)$	700 a 1400	1000
Densidad Techo (kg/m^3)	500 a 3000	1000
Absorción Solar Techo	0.01 a 0.9	0.7
Absorción Térmica Techo	0.01 a 0.9	0.9
U-factor ventanas ($W/m^2 \cdot K$)	0.7 a 1.4	1.2
Solar Heat Gain Coefficient (SHGC)	0.01 a 0.99	0.4
Relación Superficie Ventana/Pared	0 a 0.9	0.6
F-Factor Piso ($W/m^2 \cdot K$)	0.01 a 2.5	0.5
Profundidad de sombra sobre ventana (m)	0 a 3.5	0
Relación Perímetro/Área de la superficie horizontal	0.58 a 0.67	0.58
Convección Interna	Dif. Métodos de cálculo	Adap. Convection Alg.
Convección Externa	Dif. Métodos de cálculo	Adap. Convection Alg.
Caudal de Aire de Infiltración (m^3/s)	0.01 a 0.098	0.018
Porcentaje de Abertura de la Ventana en Dirección Norte	0 a 0.8	0

Porcentaje de Abertura de la Ventana en Dirección Sur	0 a 0.8	0
Porcentaje de Abertura de la Ventana en Dirección Este	0 a 0.8	0
Porcentaje de Abertura de la Ventana en Dirección Oeste	0 a 0.8	0

Tabla 37: Resumen variables del Análisis de Sensibilidad.

Se presenta un resumen de los valores de RMSE obtenidos para cada localidad evaluada, junto con los resultados y conclusiones derivados del análisis. Esto permitirá destacar cómo cada variable influye en el comportamiento térmico en función de las características climáticas de cada región.

La primera localidad a evaluar será Sáenz Peña, correspondiente a la zona 1-A. Podemos observar que la influencia de las variables fue la siguiente:

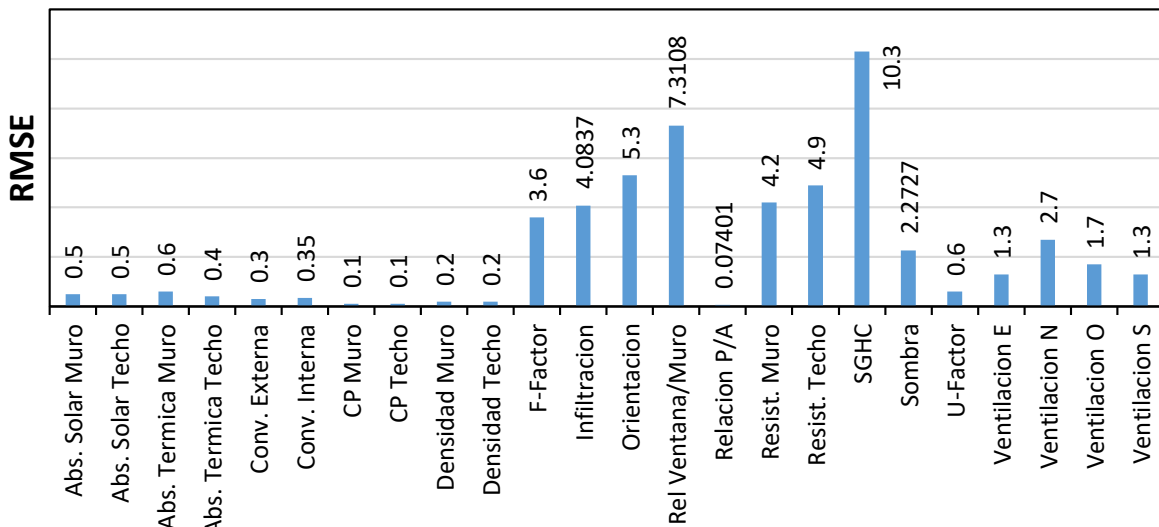


Gráfico 1: Variación de RMSE según variable para Sáenz Peña.

Para esta localidad cálida, caracterizada por altas temperaturas durante gran parte del año, observamos que la variable con mayor impacto fue el coeficiente de ganancia solar. Los resultados indican que, cuanto menor sea este coeficiente, mejor, ya que se reduce la entrada de calor a través de las ventanas, evitando la acumulación de calor en el interior debido a la radiación solar que ingresa por las estas, donde queda atrapado y eleva la temperatura interna.

En complemento al efecto de retención de calor, se pudo observar que el mejor resultado para la Resistencia tanto del techo como de los muros, no es cuando esta era mayor como se pudiera esperar en un principio. Esto se debe a que, al aumentar el valor de la resistencia de la envolvente, aumentaba también la acumulación de calor en el interior, por lo que hay que tratar de buscar un balance entre una buena resistencia, pero que no sea del todo aislante para dejar disipar las altas temperaturas, en este caso ese valor fue una resistencia de 5 (m2K/W). En cuanto a la resistencia térmica de las ventas, los resultados obtenidos para esta región marcaban que es conveniente tener un U-factor que no sea demasiado bajo. Es decir, que la resistencia de las ventanas no sea muy

elevada, ya que profundiza el problema de la disipación del calor interno. Otro valor de incidencia notable relacionado a que no se estanque el calor en la vivienda fue el F-Factor, el cual nos daba como caso favorable que sea lo más alto posible.

Otro factor que influye en este sentido fue la relación de las ventanas/muro, la cual resulto ser la más efectiva la que estaba en el entorno del 0.3. Sumar al caso anterior, la idea es que no entre gran cantidad de energía por estas superficies, las cuales generan que se eleve la temperatura interna. Menor a ese valor, empezaba a ser contraproducente ya que comenzábamos a demandar gran cantidad de calefacción en invierno.

La orientación resulto tener gran influencia. Para este caso la mejor orientación era cuando las ventanas estaban en dirección sur, ya que la exposición de las ventanas al sol. Recordemos que, en nuestro caso por estar en el hemisferio sur, la inclinación del sol es hacia el norte, por lo que la mejor orientación en este tipo de localidades que el sol entre de forma tan directa.

Se puede agregar que la influencia de sombras favorece que la radiación que incide en las ventanas sea menor, sobre todo en el verano que la en sol alcanza su punto más alto en el cielo, lo que significa que sus rayos inciden más directamente sobre las superficies horizontales y llegan con un ángulo más cercano a la perpendicular. Lo óptimo resulto ser que entre más larga fuese esta era mejor para disminuir el consumo de refrigeración.

La infiltración de aire también tuvo importancia en la determinación de la temperatura interior, pudimos observar que el mejor resultado fue cuando esta era de 0.018 metros cúbicos sobre segundo, lo que nos da una idea que la renovación en exceso del aire puede generar efectos contrarios al estar entrando aires calientes a la zona. Sumado a esto, lo que observamos es que los resultados más influyentes de la ventilación son cuando las ventanas estaban en dirección norte, lo que como es para esta dirección que están los vientos predominantes.

Se apreció que las absorción solar y térmica para los muros y techos no tuvo mucha influencia en el valor final. A pesar de esto, lo favorable resulto ser que la absorción solar sea lo menor posible, esto con el fin de que el calor proveniente de sol no sea absorbido por esta las superficies externas y luego transferido este calor en el interior de la vivienda. En cuanto a la absorción térmica este si interesaba que sea alta, ya que como vimos en el balance térmico del aire, la alta absorción térmica de los muros hace que el calor del interior sea de cierta forma absorbido por los muros disminuyendo la sensación térmica en el interior del recinto.

En cuanto al calor especifico, la variabilidad de la temperatura por este fue bien baja, aunque siempre se buscó que sea lo mayor posible. Mismo ocurrió con la densidad, al ser un complemento del CP su valor tuvo inclusive menos influencia, aunque también el mejor caso es que sea lo mayor posible.

El resto no tuvo gran incidencia, como es el caso de la relación Perímetro/Área la cual de las más bajas. Los resultados indicaron que lo mejor sea que esta sea lo más chica posible para delimitar la superficie expuesta al sol.

La localidad de Iguazú, la que se muestra a continuación su respectiva grafica de los RMSE, tuvo resultados muy parecidos. Esto debido a que se encuentran en la misma zona y sus condiciones externas comparten múltiples similitudes.

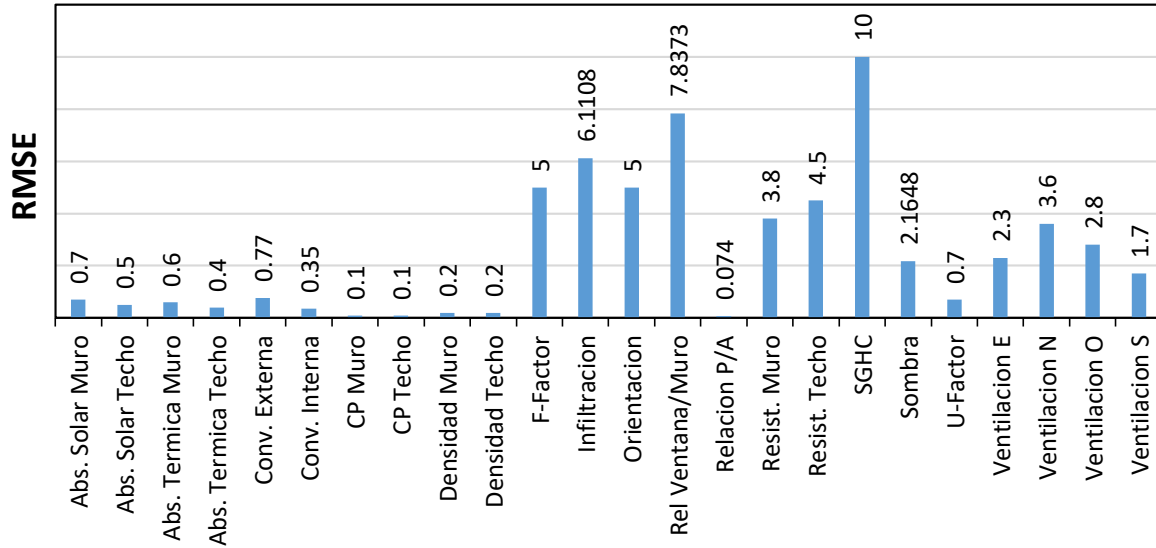


Gráfico 2: Variación de RMSE según variable para Iguazú.

Las principales diferencias que podemos encontrar entre esta localidad y la ubicada en la provincia de Chaco es la resistencia tanto de los muros como de los techos más favorable fue un poco más baja, el valor optimo en ambos casos fue de 3 m²K/W. Además, era favorable que la infiltración sea un poco mayor, dando el valor 0.026 m³/s, lo que nos da a entender que en este caso los aires exteriores no están a temperaturas tan elevadas, lo que es favorable utilizar más la renovación del aire para acondicionar la vivienda. El resto de los factores fueron muy similares. El resto de las variables se comportó idénticamente a los valores de la localidad antes mencionada

La localidad de Tartagal, la cual se encuentra dentro de lo que es la zona 2-A, comparte múltiples similitudes a las dos localidades mencionadas anteriormente. Se muestra a continuación sus valores de RMSE.

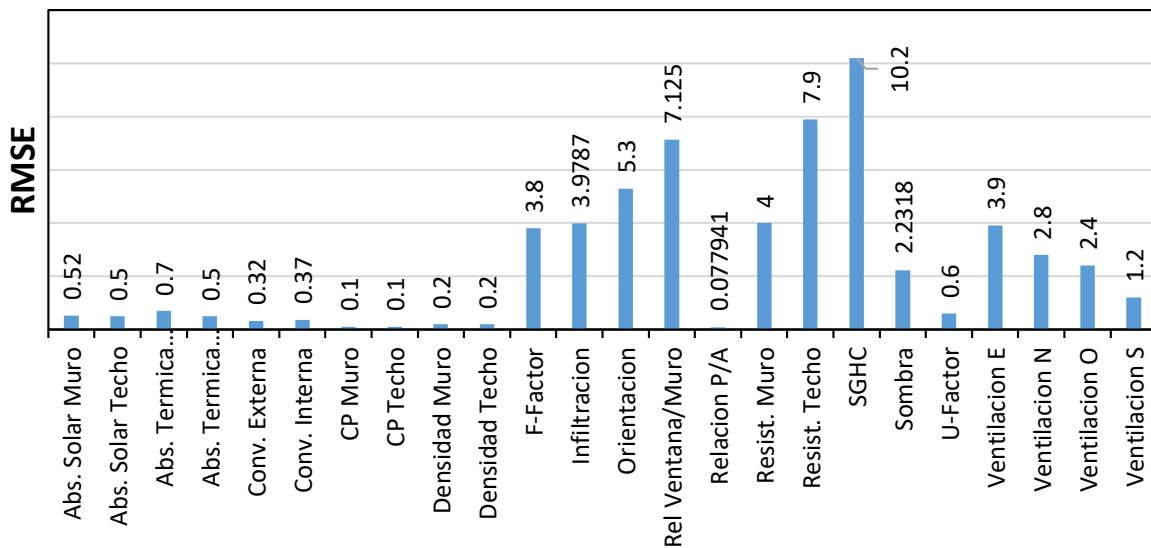


Gráfico 3: Variación de RMSE según variable para Tartagal.

Los valores más distintivos con respecto a las otras localidades es que para esta localidad el viento predominante viene en dirección este. La infiltración que mejor se adapta es la misma que para Iguazú, además de compartir el mismo mejor resultado para la resistencia del techo. En cuanto a los muros, esta se encuentra en un punto medio de ambas, siendo el valor óptimo el de 4. En el resto de características es muy similar por no decir idéntico.

Recién en la ciudad de Santa Fe es donde empezamos a notar más cambios por la localidad. A continuación, se muestra cómo influyen las diferentes variables.

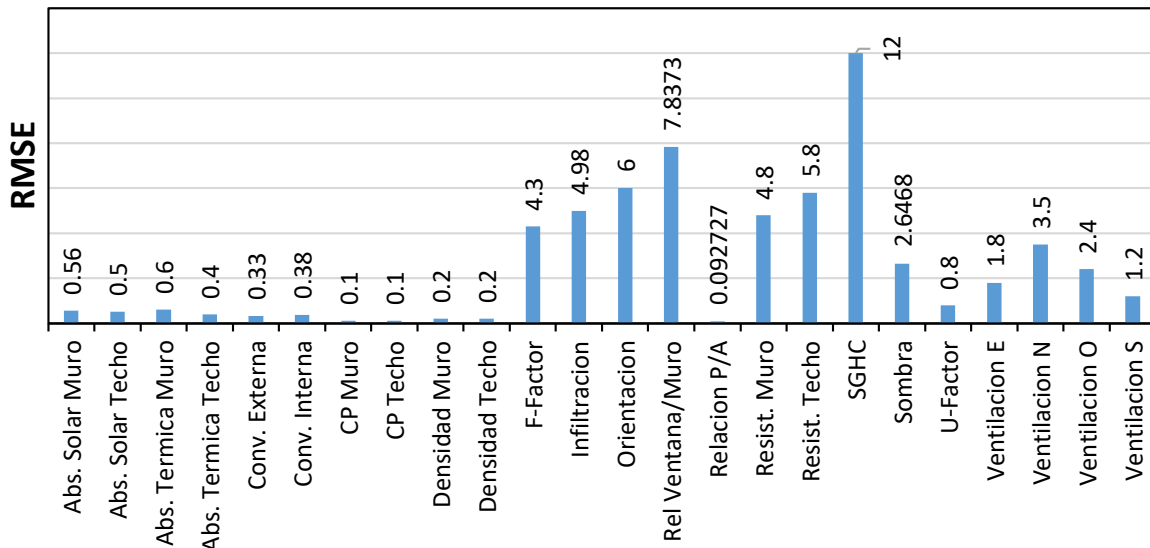


Gráfico 4: Variación de RMSE según variable para Santa Fe.

En esta localidad, el calor no predomina tanto durante todo el año como en las anteriores. Por lo tanto, la mejor orientación para las ventanas es hacia el norte. Aunque en verano la radiación solar directa sobre las ventanas trae aparejado el aumento de temperatura, este aumento no tan desmedido siendo considerablemente menor al captado en invierno. Esto se debe a que, en verano, el sol alcanza su punto más alto en el cielo, lo que implica que sus rayos inciden principalmente sobre las superficies horizontales. En cambio, en invierno, las fachadas orientadas al norte (en el hemisferio sur) reciben mayor radiación solar, ya que el sol se encuentra más bajo y al sur, lo que permite un ángulo más directo para calentar los espacios interiores.

Otro aspecto relevante es el valor de las sombras en las ventanas. Al igual que con la orientación, buscamos un equilibrio que minimice la incidencia solar en verano y la maximice en invierno. En este caso, el alero más eficiente tiene una profundidad de 1.5 metros. Asimismo, el SHGC óptimo se establece en 0.3, permitiendo aprovechar la ganancia solar en invierno sin un exceso de calentamiento en verano. Por esta misma razón, la relación Área venta/Área Muro que mejor resultados trae es la de 0.4.

En cuanto a los suelos, las temperaturas son más moderadas, y el valor óptimo del F-Factor es de 1.5, menor que en otras localidades. La infiltración de aire ideal se mantiene en 0.018 m³/s, con una mayor variabilidad cuando los vientos provienen del norte.

El resto de las propiedades se comporta de manera similar a las de las otras zonas, manteniendo así la coherencia en el diseño térmico para diferentes condiciones climáticas.

Para la ciudad de Córdoba, ubicada en la zona 3-A de nuestro país, el Gráfico de la influencia de las variables es el siguiente:

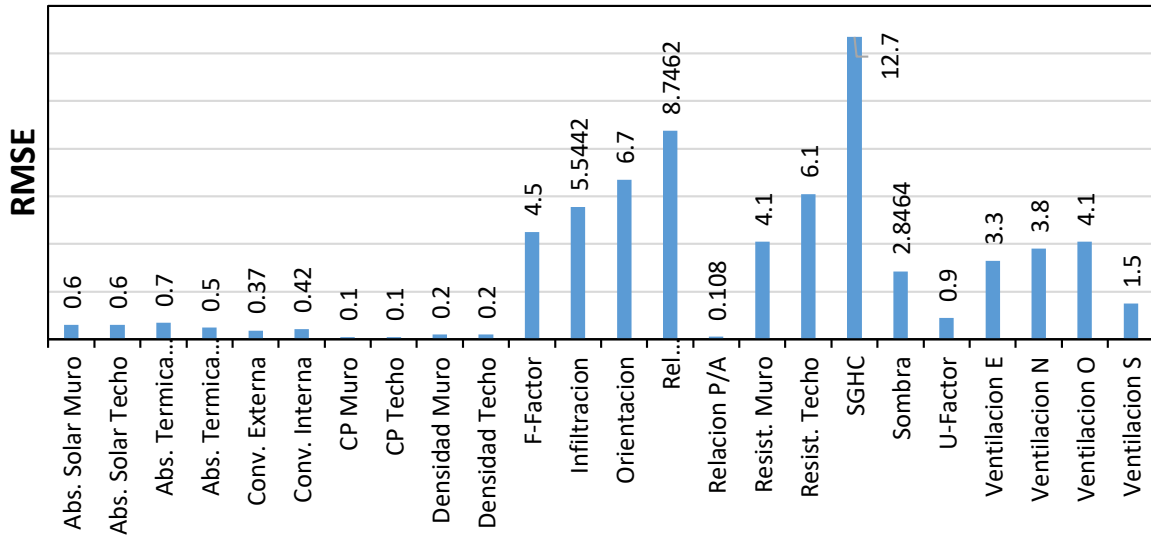


Gráfico 5: Variación de RMSE según variable para Córdoba.

Los resultados que se obtuvieron de este análisis son similares para la ciudad de Santa Fe, solo algunas pequeñas variaciones como la mayor influencia de los vientos es del oeste. Las sombras optimas son un poco menores, siendo estas de 1 metro para aprovechar aún más la ganancia solar en verano. El F-Factor también es menos, pasando a ser de 1. El resto de variables se mantiene constante, dejando entender la similitud entre ambos climas.

Es recién en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires donde empezamos a ver más en cuanto al diseño. Se presenta primero su Gráfico de las variables:

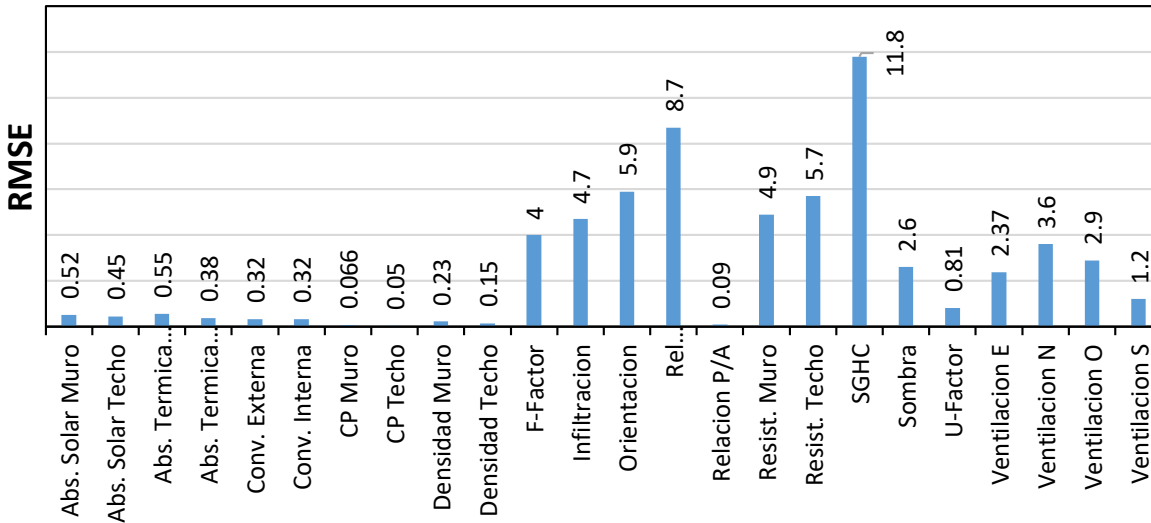


Gráfico 6: Variación de RMSE según variable para CABA.

En esta ciudad el invierno ya comienza a tener mayor importancia, por lo que se empieza a buscar aprovechar la ganancia solar. Es por esto que la resistencia optima del techo como de los muros es cuando esta es lo mayor posible. Esto para evitar que se pierda calor por conducción, como así también generar la retención de calor. A pesar de esto, como el verano sigue teniendo temperaturas elevada, tampoco sirve abusar de este efecto ya que repercute en el aumento excesivo de refrigeración, por lo que valores como la relación venta-muro, el SGHC, el U-Factor, las absorciones térmicas y solar de la envolvente y la orientación se mantienen iguales a Córdoba. La infiltración optima sigue siendo la misma, mientras que en este caso tiene más efecto cuando la ventilación proviene del Norte.

Pasamos ya a la zona 4, empezando por la subdivisión A, que es donde se encuentra la ciudad de Tinogasta. Esta, a pesar de ser una zona más fría, comparte características más similares a la ciudad de Córdoba. Se muestra su respectivo gráfico:

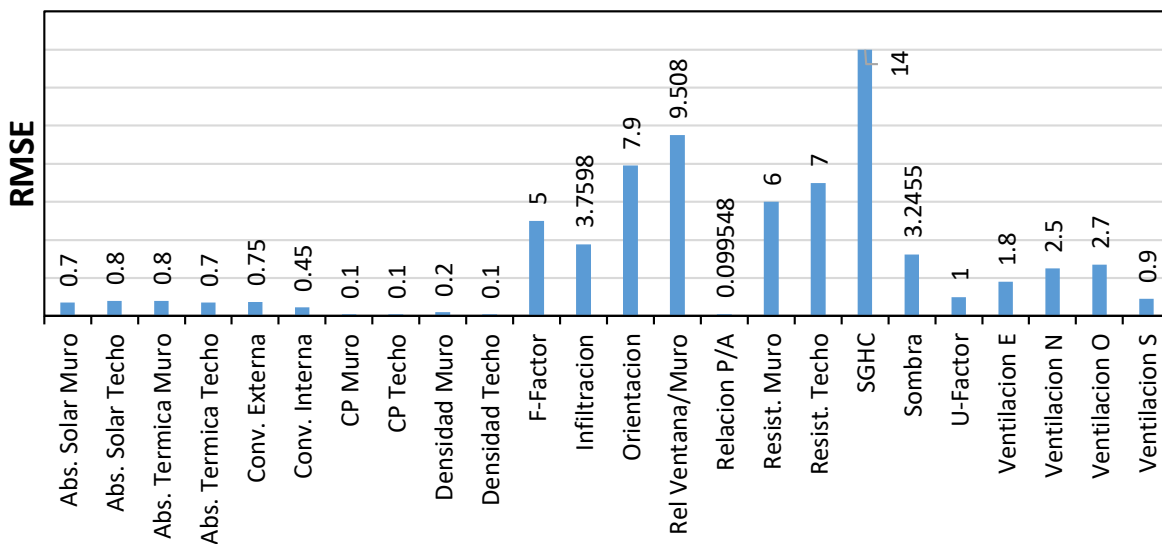


Gráfico 7: Variación de RMSE según variable para Tinogasta.

Las principales diferencias es que su orientación optima ahora es 15 grados al este con respecto a la original, esto para aprovechar un poco más la radiación solar. Las propiedades de los muros y el techo son idénticas a Córdoba, mismo ocurre con otras como son el F-Factor, las propiedades de la ventana y de la sombra.

Donde ya las diferencias empiezan a ser más notorias es en San Carlos, Mendoza. En esta localidad a correspondiente a la zona enmarcada como 4-B, interesa que el aprovechamiento solar sea máximo y la perdida de calor sea lo más baja posible.

Es por esta razón que podemos encontrar como mejores resultados valores de resistencia térmica de 10 m²K/W. De manera análoga, se busca que el F-Factor y el U-Factor sea lo menor posible, esto evitar pérdidas de calor por estas superficies e incrementar la retención del calor. Además, contrario a lo que venía ocurriendo, es más favorable que la absorción solar de todas las superficies que dan al exterior sean lo mayor posible, mientras que la absorción térmica de las que dan al interior sea lo menos posible, a fin de quietarle calor de manera significativa la temperatura interior.

El calor específico y la densidad es igual que a todos los otros casos, los mejores resultados son cuando estos valores son lo mayor posible, esto remarca que una alta inercia térmica es útil en todas las condiciones climáticas, ya que ayuda a que la temperatura se regule sin importar de que condición se trate.

Es de utilidad también que el aprovechamiento solar sea mayor que en los otros casos, ya que inclusive en verano las temperaturas presentadas en esta localidad son bajas. Por lo que se opta por una orientación de 345 grados, es decir, que tenga orientación noroeste. También se prefiere omitir el uso de aleros que generen sombras en la ventana. A pesar de todo esto, él tampoco sirve que sea excesivo la ganancia solar, por lo que el mejor resultado de SGHC es de 0.4, mientras que la mejor relación ventana-muro es de 0.6. Comienza a ser útil tener la relación Perímetro/Área más grande posible, con el fin de aumentar la superficie expuesta.

En cuanto a la infiltración lo más óptimo es que la entrada de aire sea lo más baja posible, ya que esta tiende a enfriar el ambiente demasiado en invierno.

La influencia de cada una de las variables se puede ver a continuación:

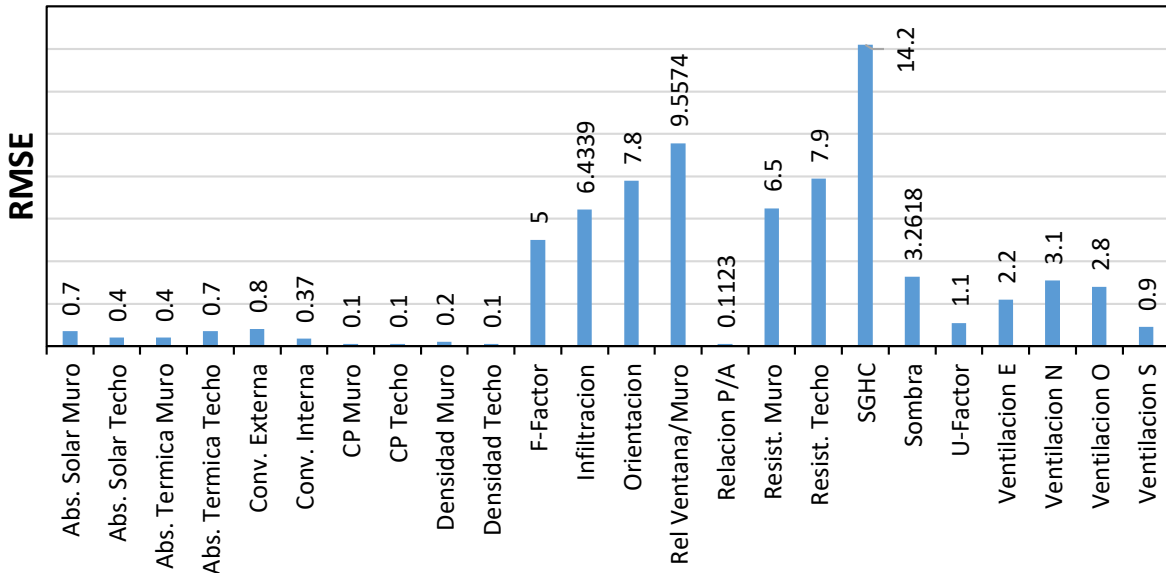


Gráfico 8: Variación de RMSE según variable para Mendoza.

La localidad de Tandil, comprante gran similitud con las características descriptas en Mendoza. La única diferencia apreciable es que para esta localidad la mejor orientación es hacia al norte. En el resto de características coinciden.

Su grafica de la incidencia de cada variable es el siguiente:

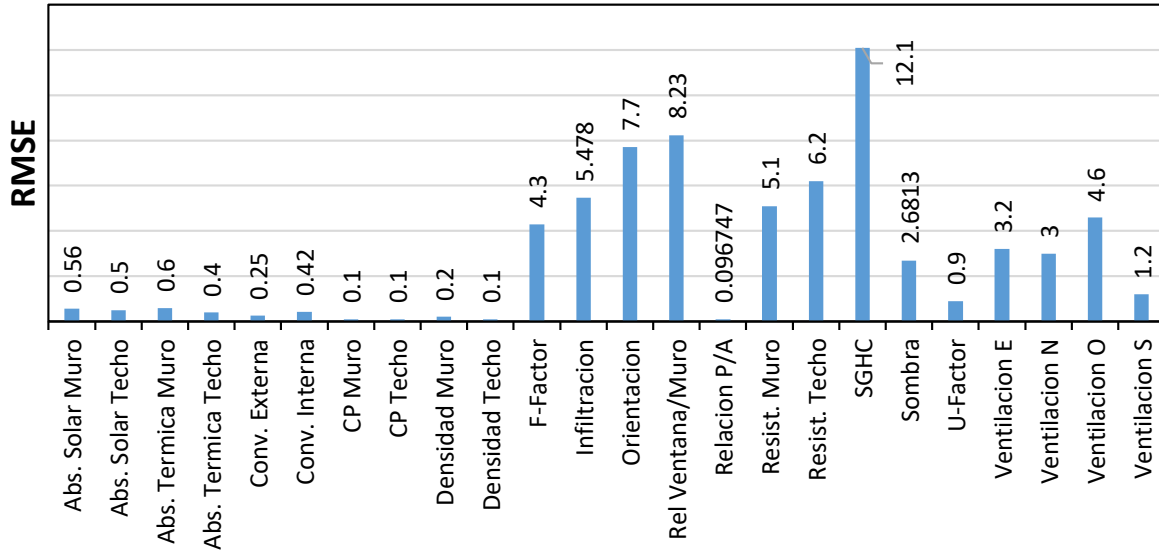


Gráfico 9: Variación de RMSE según variable para Tandil.

Mar Del Plata, es la última ciudad de la zona 4 que analizamos. Esta está en la subdivisión D por su clima templado frío y por la proximidad al mar. Las características son las mismas que para las otras dos localidades mencionadas, en donde se quiere que el aprovechamiento de la energía solar en invierno, sin que esta sea desmedida en verano. Su Gráfico de variación de RMSE es el siguiente:

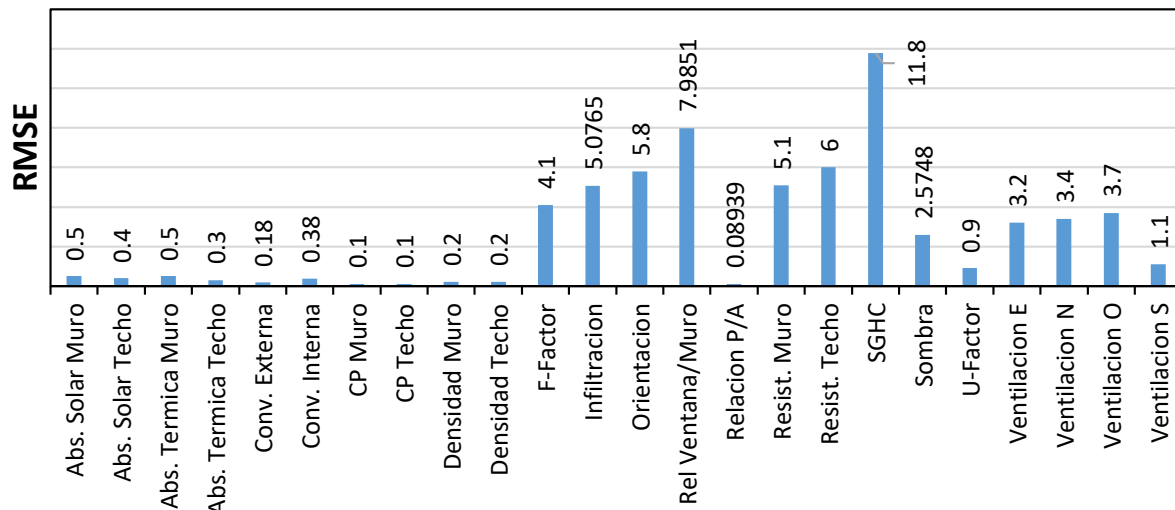


Gráfico 10: Variación de RMSE según variable para Mar Del Plata.

En la zona 5 encontramos a la localidad de Pico en La Rioja. La peculiaridad de esta localidad es que, a pesar de encontrarse en la zona fría de nuestro país, no busca el aprovechamiento máximo del sol como si lo hacen las localidades que veremos más adelante.

Aunque la resistencia térmica tanto del techo como de los muros se prefiere lo más alta posible, la absorción solar es más eficiente cuando su valor es relativamente bajo. Por el contrario, la absorción térmica de cualquier superficie muestra mejores resultados cuando es alta. Para las ventanas, se mantiene un SGHC de aproximadamente 0.4, mientras que para el U-Factor se opta por un valor

intermedio en lugar de uno mínimo. Lo mismo ocurre con el F-Factor, que se requiere en un nivel balanceado, ni demasiado alto ni demasiado bajo. La relación de ventana ideal sigue siendo de 0.4, con una sombra de 1 metro de profundidad sobre ella. En cuanto a la relación área-perímetro, se prioriza que no sea excesivamente elevada, y para la infiltración se establece un valor óptimo de 0.018 m³/s.

Por lo que podemos concluir que a pesar de estar en la zona 5 del país, tiene características similares a las localidades de la zona 3. Esto se debe principalmente al sol en la zona norte de nuestro país. A pesar de las bajas temperaturas que pueda llegar alcanzar estas localidades la irradiación solar es muy alta todo el año, lo que condiciona demasiado el diseño. El Gráfico de RMSE se ve a continuación:

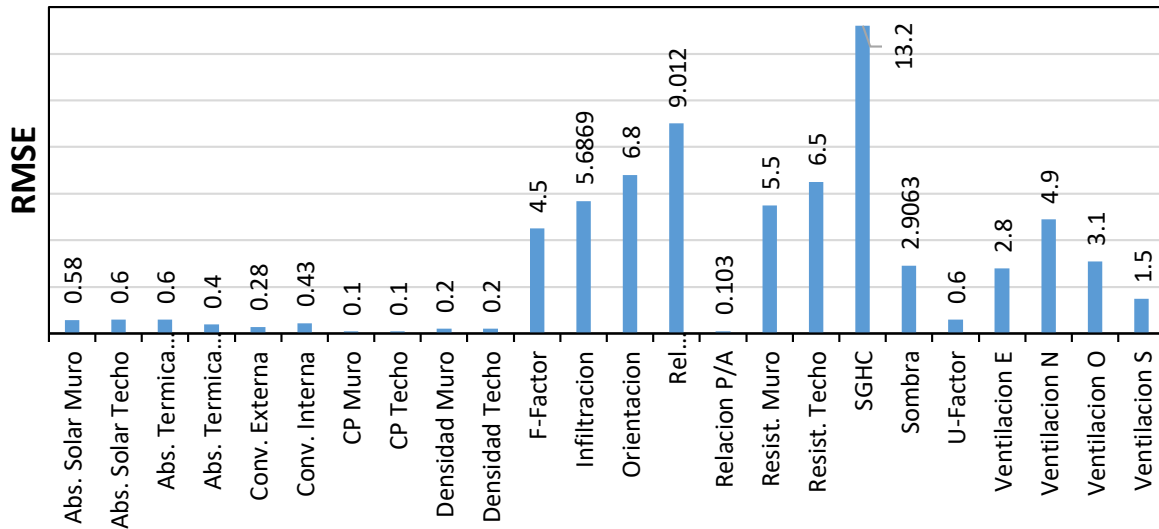


Gráfico 11: Variación de RMSE según variable para Pico.

La otra localidad de la región 5 que analizaremos es el Puerto de San Julián, en Santa Cruz. Su Gráfico se enseña a continuación:

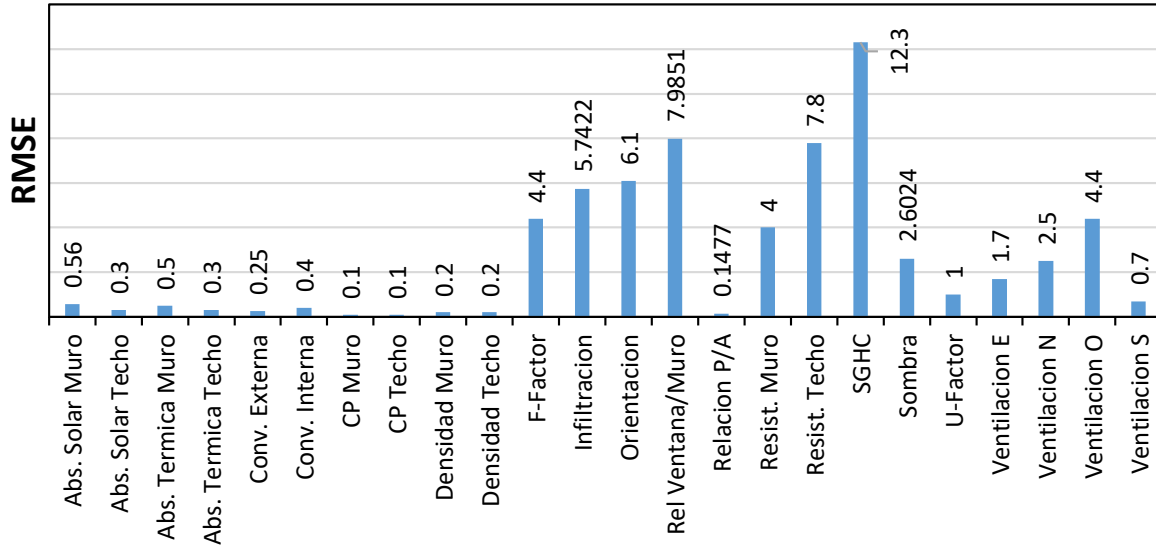


Gráfico 12: Variación de RMSE según variable para Puerto de San Julián.

En esta localidad lo más óptimo es aprovechar mucho la ganancia solar, por lo que la orientación que más aprovecha esto es cuando la vivienda está orientada a 330 grados del origen, es decir, tiene una orientación noroeste más inclinada hacia el oeste. Donde es máximo como da el sol.

La resistencia de los cerramientos es prioridad que sea máxima, esto incluye a los muros, ventanas, piso y techo. Da la misma forma se prefiere un alto coeficiente de absorción solar y bajo el de absorción térmica. También se prefiere un valor de SGHC elevado, y esto que se conviene con la relación de ventanas más grandes posibles. La usencia de aleros es ideal para que no exista posibilidad de interferencia con la radiación solar e interesa que la relación perímetro área sea máxima para que la superficie expuesta sea elevada. Por último, se prefiere que la infiltración sea lo menor posible para evitar el ingreso de aires frío a la vivienda.

Pasamos a la zona 6, donde encontramos a las ciudades de Bariloche y Ushuaia. Las condiciones para estas dos localidades son extremadamente similares entre sí y con la localidad anterior. Por lo que se presenta el cuadro con sus valores:

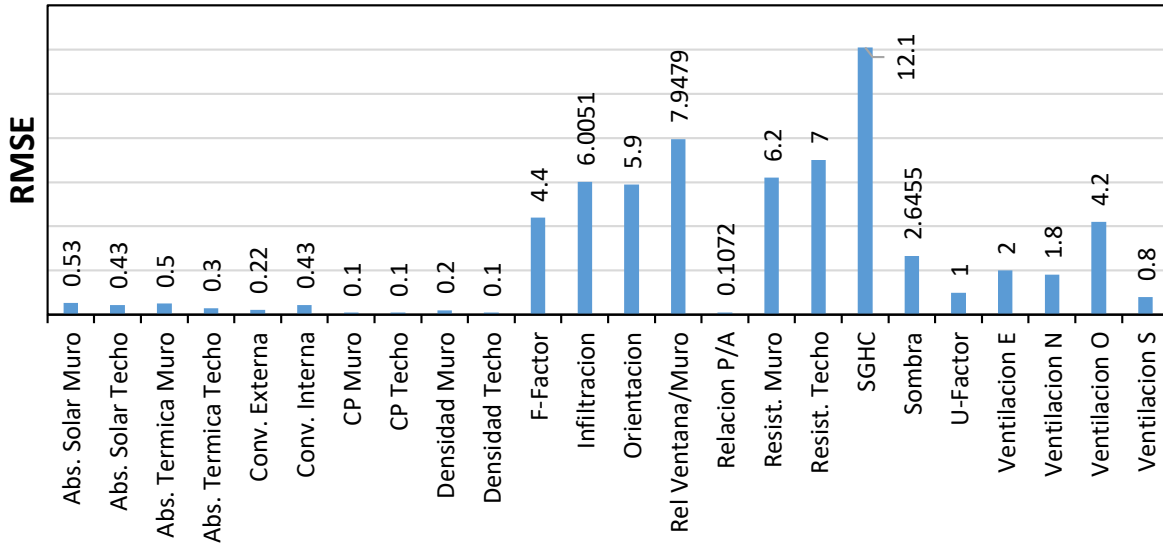


Gráfico 13: Variación de RMSE según variable para Bariloche.

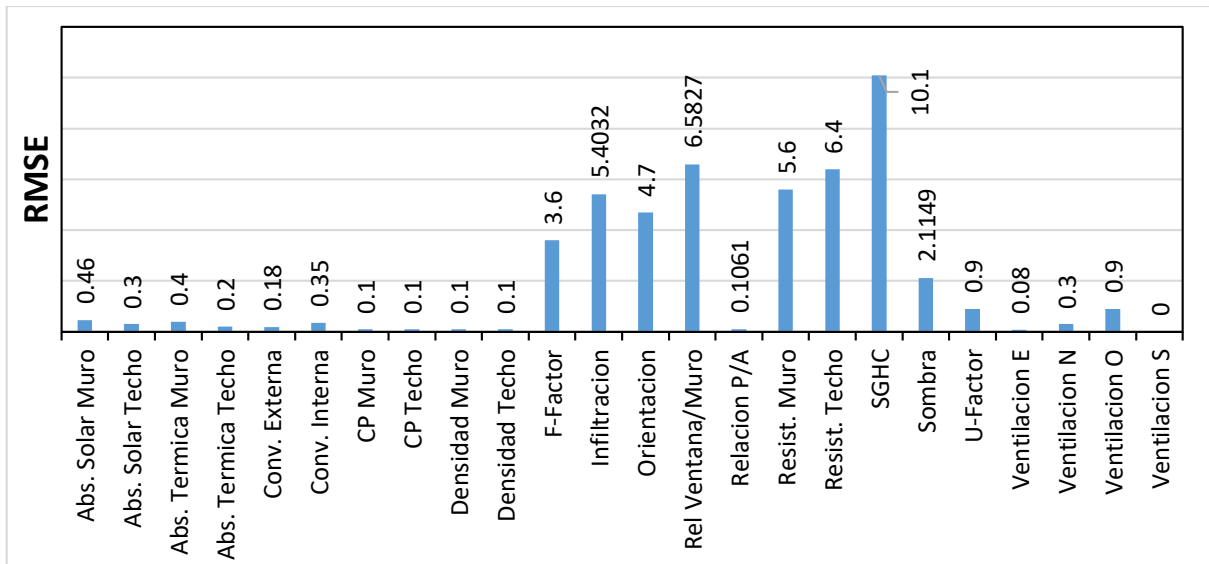


Gráfico 14: Variación de F-MSE según variable para Ushuaia.

Como se observa, todas las localidades tienen un patrón muy similar en cuanto la influencia de las variables, por lo que podemos concluir lo siguiente.

La orientación de las viviendas tiene una influencia considerable en su rendimiento térmico, con valores de RMSE que suelen alcanzar cerca de 6 en la mayoría de los casos. En localidades con temperaturas muy bajas, se busca maximizar la ganancia solar orientando las viviendas de manera que el sol incida en las superficies de las ventanas durante el mayor tiempo posible. El resultado óptimo se obtiene cuando las viviendas se orientan hacia el noroeste. En zonas templadas, la orientación ideal es hacia el norte, permitiendo que el sol incida en las ventanas y aproveche los aportes solares durante el invierno, cuando las temperaturas son notablemente más bajas. Durante esta estación, el ángulo de inclinación del sol es más favorable, lo que contribuye a regular la temperatura interior de manera efectiva. En contraste, en verano, la radiación solar se reduce

debido a la inclinación del sol con respecto a la superficie, minimizando el calentamiento excesivo. En localidades cálidas, se busca limitar la exposición solar; por lo tanto, es recomendable orientar las viviendas hacia el sur, teniendo en cuenta que nos encontramos en el hemisferio sur. Esta estrategia ayuda a reducir la ganancia térmica en verano y a mantener un ambiente interior más confortable.

Las condiciones geométricas, como la relación entre perímetro y área de la superficie cubierta, tuvieron un impacto muy bajo, con un RMSE cercano a 0.1. En términos generales, en zonas frías resultó ventajoso maximizar el perímetro, ya que una mayor superficie expuesta permite aprovechar mejor las ganancias solares en las caras de las paredes. En contraste, en zonas cálidas y templadas, es preferible minimizar el perímetro para reducir al máximo el intercambio de calor con el exterior.

En cambio, otro aspecto geométrico, como el tamaño de las ventanas, mostró una influencia significativa en la temperatura interna, alcanzando un RMSE de hasta 8. En zonas con temperaturas elevadas, se recomienda que la relación entre el tamaño de las ventanas y el área total sea baja, idealmente alrededor de un 0.2. Si se reduce más allá de este valor, puede volverse contraproducente, ya que aumentan las necesidades de calefacción. En contraste, en zonas frías se busca maximizar esta relación, aprovechando la ganancia de calor solar, a pesar de que las ventanas pueden ser puntos débiles en la transmisión térmica. En estos casos, la energía ahorrada gracias a la ganancia solar supera las pérdidas por conducción a través de la superficie de las ventanas. En zonas templadas, se debe buscar un equilibrio: el tamaño de las ventanas debe permitir la entrada de calor solar sin llegar a un exceso que aumente la demanda de refrigeración.

La longitud de las sombras proyectadas sobre las ventanas también es un factor importante, con un RMSE en torno a 2.5, lo que indica una influencia considerable. En zonas cálidas, se recomienda maximizar esta longitud para proporcionar la mayor sombra posible sobre las ventanas y reducir el calentamiento solar. En zonas templadas, una longitud de sombra de entre 1 y 1.5 metros resulta ideal, ya que permite equilibrar la entrada de los rayos solar. Por otro lado, en zonas frías, es preferible que la sombra sea mínima o inexistente para aprovechar al máximo la radiación solar.

En términos de ventilación, permitir la apertura de las ventanas produjo mejoras considerables en comparación con ventanas que no pueden abrirse, con un RMSE entre 2 y 3, dependiendo de la orientación de las ventanas y la zona climática. Sin embargo, la variación en la capacidad de apertura no mostró grandes diferencias, con un RMSE relativamente bajo entre ellas. La mejor orientación varía según los vientos predominantes de la zona.

La infiltración desempeñó un rol relevante, ya que las variaciones en este parámetro provocaron cambios en el RMSE del orden de 5 a 6, destacando su impacto en el comportamiento térmico. La orientación de la vivienda también mostró ser un factor significativo, ya que rotarla generó variaciones en la temperatura interna, con un RMSE de entre 6 y 7. En zonas de baja temperatura, era preferible minimizar la infiltración de aire para evitar un enfriamiento excesivo del interior, lo cual aumentaba considerablemente la demanda de calefacción. En el resto de las zonas, salvo algunas excepciones, los mejores resultados se obtuvieron con una tasa de infiltración cercana a $0.018 \text{ m}^3/\text{s}$, ya que la renovación del aire contribuía a regular la temperatura de forma natural.

El método utilizado para calcular los coeficientes de resistencia superficial interna (RSI) y externa (RSE) no generó grandes variaciones. Para la convección externa, los valores de RMSE oscilaron entre 0.5 y 1, mientras que, para la convección interna, se mantuvieron entre 0 y 0.5.

En cuanto a las propiedades de los materiales, la densidad tanto del techo como de los muros mostró una incidencia baja, con un RMSE que no superó los 0.2. El calor específico también tuvo una influencia limitada, alcanzando un RMSE de hasta 0.5 para el techo y 0.8 para los muros. En todas las zonas, se prefirió que estos valores fueran lo más altos posible, ya que incrementan la inercia térmica, contribuyendo a una regulación más estable de la temperatura interior.

La absorción solar y térmica presentó igualmente una influencia baja, con RMSE por debajo de 0.6 para techo y muros. En zonas cálidas, se buscó minimizar la absorción solar para evitar el incremento de la temperatura interna. En cambio, en zonas frías, un mayor nivel de absorción solar resultó beneficioso, ya que favorece el aumento de la temperatura interior. En zonas templadas, se prefirieron valores intermedios, de entre 0.3 y 0.4, para lograr un equilibrio adecuado.

La absorción térmica sigue una tendencia similar, pero inversa. En zonas frías, es ideal que esta sea baja, ya que, como se observa en la ecuación de balance térmico del aire, un valor alto absorbería más calor del ambiente, aumentando la demanda de calefacción. En zonas cálidas, por el contrario, se busca un nivel alto de absorción térmica para reducir el calor en el aire interior. En zonas templadas, nuevamente se requiere un equilibrio, con valores cercanos a 0.4 o 0.5.

Por otro lado, la resistencia térmica del paquete constructivo mostró una influencia notable. Al modificar la resistencia de los muros, se observaron cambios en el RMSE en torno a 3, con valores atípicos de hasta 5 cuando $R = 0.1$. Este comportamiento fue similar en el techo. En zonas de bajas temperaturas, los mejores resultados se obtuvieron con valores altos de resistencia térmica, lo cual también fue beneficioso en zonas templadas-frías en general. En cambio, en zonas cálidas o templadas-cálidas, los mejores resultados se lograron con valores de resistencia intermedios. En estos casos, una resistencia excesivamente alta dificultaba la disipación del calor acumulado a través de superficies como las ventanas, lo cual incrementaba significativamente el consumo energético.

El factor F del suelo mostró una relevancia significativa, con un RMSE cercano a 4. Siguiendo la misma lógica que en los casos anteriores, en zonas cálidas es preferible un valor elevado de este factor para facilitar la disipación del calor. En zonas templadas, se busca un equilibrio, con un valor cercano a 1, mientras que en zonas frías es ideal que sea lo más bajo posible para mejorar el aislamiento y reducir la pérdida de calor.

En cuanto a las propiedades de las ventanas, el análisis del U-factor arrojó un valor alrededor de 1. Al igual que en los muros, en zonas cálidas y templadas se prefirieron valores de U-factor altos, para evitar una retención excesiva de calor que podría elevar la temperatura interior. En cambio, en zonas frías, es conveniente que el U-factor sea bajo para minimizar las pérdidas de calor y mejorar el aislamiento térmico.

El coeficiente de ganancia solar (SHGC) fue el parámetro con mayor influencia, alcanzando un RMSE de hasta 12, el más alto entre todos los factores analizados. En las zonas cálidas, se buscó que este valor fuera bajo, del orden de 0.2, para evitar el aumento de la temperatura interior. Por el contrario, en las zonas frías se priorizó maximizar la ganancia solar, optando por valores superiores a 0.8 y 0.9; sin embargo, valores por encima de este rango pueden requerir un consumo energético

excesivo para refrigeración, lo que resulta contraproducente. En las zonas templadas, se busca un equilibrio que permita que la energía solar contribuya al calentamiento en invierno sin causar un exceso de temperatura en verano.

Se presenta a continuación un cuadro resumen con los mejores casos para las variables que fueron más influyentes y que utilizaremos en el proceso de optimización.

Localidad	Orientación (°)	Resistencia Muros (m2K/W)	Resistencia Techo (m2K/W)	U-Factor (W/m2K)	SGHC
Sáenz Peña	180	5	5	1.4	0.2
Iguazú	180	3	3	1.4	0.2
Tartagal	180	4	5	1.4	0.2
Santa Fe	0	4	5	1.4	0.3
Córdoba	0	4	5	1.4	0.3
CABA	0	10	9	1.4	0.3
Tinogasta	15	4	4	1.4	0.3
San Carlos	345	10	10	0.7	0.4
Tandil	0	10	10	0.7	0.8
Mar Del Plata	0	10	10	0.7	0.4
Pico	0	10	10	1.2	0.4
Puerto de San Julián	330	10	10	0.7	0.8
Bariloche	330	10	10	0.7	0.9
Ushuaia	330	10	10	0.7	0.8

Tabla 38: Resumen mejor valor para las variables más importantes.

6.1.1. Elección de variables para optimizar

De este análisis, se identificaron las variables que tienen mayor influencia en el comportamiento térmico de la vivienda y en las cuales es posible intervenir directamente. Con base en esto, se decidió proceder de la siguiente manera:

Primero, para las localidades analizadas, se ajustará la orientación de la vivienda a la mejor opción determinada, según las características climáticas de la región y los resultados obtenidos anteriormente

A continuación, se realizarán múltiples iteraciones para probar diferentes combinaciones de las siguientes cuatro variables clave:

- Resistencia térmica del techo
- Resistencia térmica de los muros
- U-factor de las ventanas
- Coeficiente de ganancia solar (SHGC)

El resto de las variables se mantendrán con los valores definidos originalmente cuando se realizó el modelado, es decir, mantendrán los valores denominados valores base en el análisis de sensibilidad. Esta decisión se basa en que estas otras variables, o bien tienen una influencia mínima en la temperatura interna de la vivienda, o no son fácilmente controlables en la práctica

Para hacer el proceso de optimización más realista y obtener resultados aplicables a las viviendas, se decidió utilizar e ir variando la resistencia de los muros a partir de la resistencia total de los paquetes constructivos que definimos anteriormente. Recordemos que nos quedamos con un total de 24 paquetes. Lo mismo haremos con la resistencia del techo, utilizando los 7 paquetes ya definidos.

En cuanto a las ventanas, se seleccionaron las tipologías comunes definidas en el reglamento IRAM, que son ampliamente utilizadas en la construcción, es decir, las opciones de ventanas que ya se presentaron. Por lo que nos quedamos con 7 opciones. Además, se consideraron distintos tratamientos que se le pueden hacer al vidrio para mejorar el coeficiente de ganancia solar (SHGC).

Aunque estos cambios pueden llegar a influir en la conductividad térmica de las ventanas, se considera que su impacto es mínimo, por lo que se decide despreciarlo para este análisis. El objetivo es evaluar cómo las diferentes combinaciones de U-Factor interactúan con los valores de SHGC, y determinar cuál ofrece el mejor rendimiento energético en cada caso.

Esto nos da un total de 7056 combinaciones posibles, donde se indicará en cada caso la cantidad de consumo de refrigeración y calefacción asociada.

6.2. Optimización.

A partir del análisis de las variables y de evaluar todas sus posibles combinaciones en el modelo Bestest con HVAC, se generó un gráfico en el que el eje X representa la cantidad de energía necesaria para mantener el recinto por debajo de los 27°C, es decir, la energía de refrigeración, mientras que el eje Y representa la energía de calefacción. Cada punto en el gráfico corresponde a una combinación de variables. Este gráfico nos permitirá identificar las combinaciones óptimas, las cuales serán posteriormente probadas en las viviendas Procrear para evaluar su rendimiento energético.

La primera localidad en la que haremos el Gráfico será Sáenz Peña:

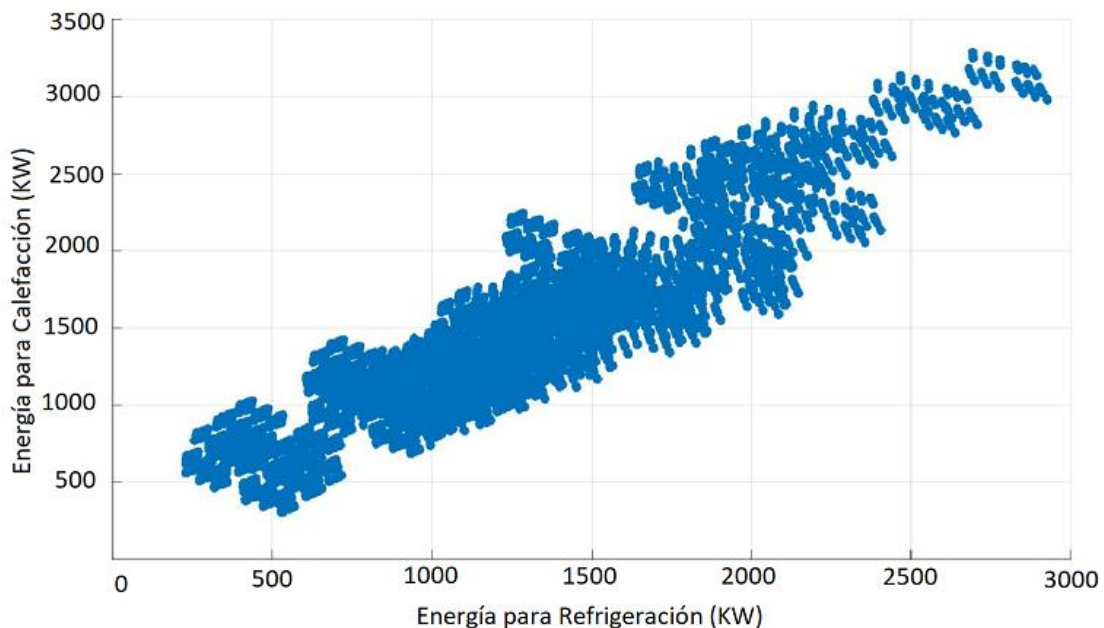


Gráfico 15: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Sáenz Peña.

En el cuadrante inferior izquierdo, los puntos representan las combinaciones de variables con menor consumo de energía en ambos ejes, lo cual señala las configuraciones potencialmente más eficientes en términos de energía total. Los mejores valores para cada tipo de vivienda son las siguientes:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	6
2	2.23	0.3	18	6
3	3.08	0.3	12	6
4	3.08	0.3	18	6
5	3.45	0.3	12	6
6	3.45	0.3	18	6

Tabla 39: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Sáenz Peña a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'.

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	3.08	0.3	12	3
2	3.45	0.3	12	3
3	3.23	0.3	12	3
4	2.23	0.3	12	3
5	3.08	0.3	18	3
6	3.45	0.3	18	3

Tabla 40: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Sáenz Peña a aplicar en las viviendas 'Aimé'

Continuamos con la localidad de Iguazú:

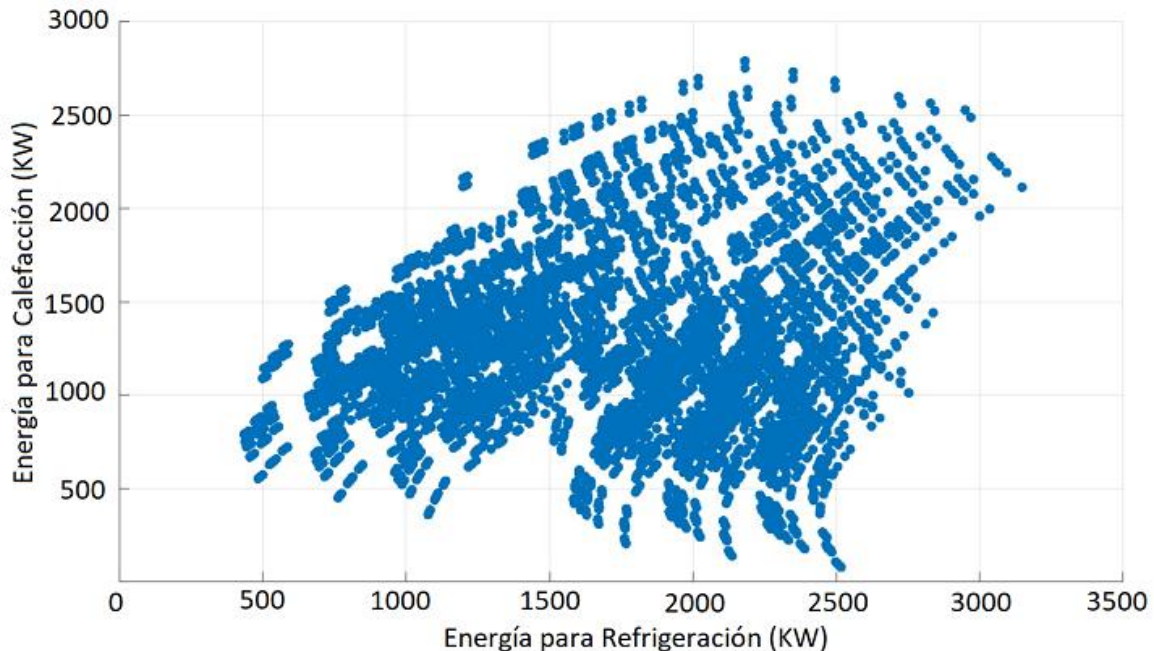


Gráfico 16: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Iguazú.

En este nuevo gráfico, algunas combinaciones de variables tienen un comportamiento más diverso, especialmente en los niveles intermedios y altos de consumo de refrigeración. Hay una mayor dispersión en el rango medio, lo cual podría indicar que ciertos ajustes en las variables permiten reducir el consumo de calefacción o refrigeración de manera independiente, en lugar de ambos simultáneamente

En este caso, no es tan evidente cuales son los mejores casos, aunque se puede inclinar por los que están en la zona inferior izquierda, con menores consumos de ambos tipos, hay valores que minimizan demasiado la energía de calefacción a expensa de aumentar la de refrigeración también. Desglosando el Gráfico obtuvimos que los mejores resultados son:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	6
2	2.23	0.3	18	6
3	2.23	0.3	11	6
4	2.23	0.3	17	6
5	2.23	0.3	6	6
6	2.23	0.3	24	6

Tabla 41: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	3
2	2.23	0.3	18	3
3	2.23	0.3	11	3
4	2.23	0.3	17	3
5	2.23	0.3	12	1
6	2.23	0.3	18	1

Tabla 42: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Iguazú a aplicar en las viviendas 'Aimé'

Se presenta a continuación la localidad de Tartagal:

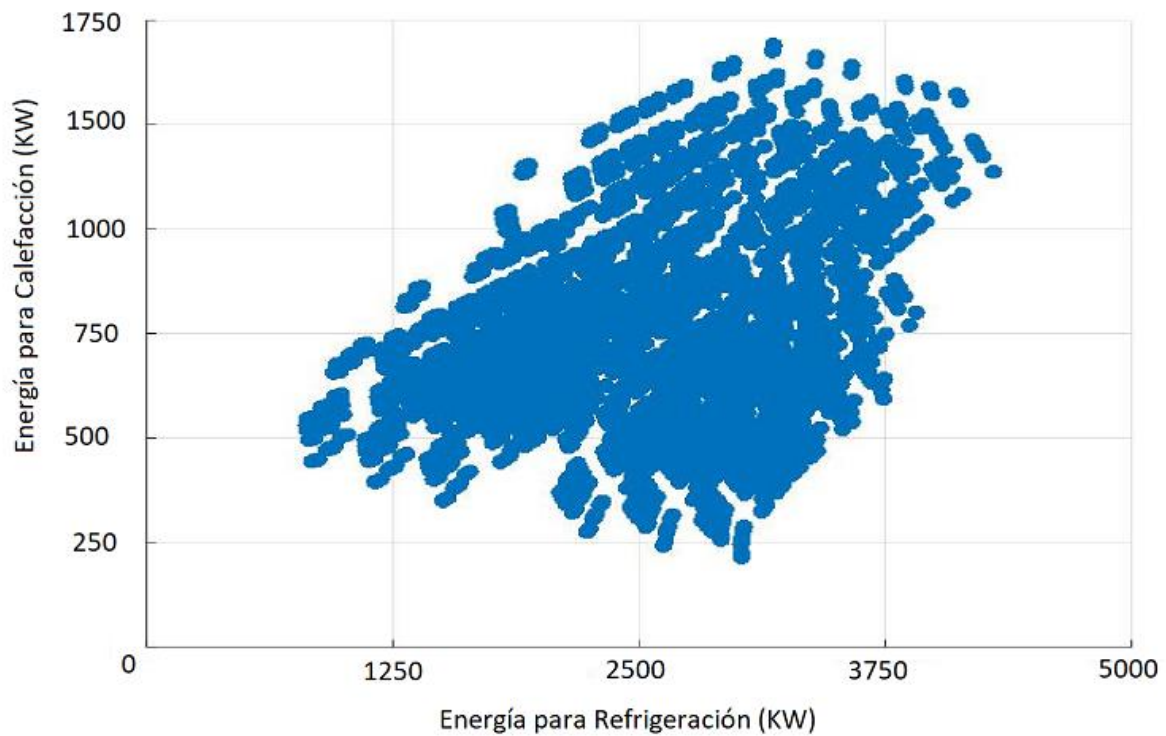


Gráfico 17: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Tartagal.

En este gráfico, los puntos están más concentrados en la zona media, indicando que muchas combinaciones generan consumos energéticos similares, sugiriendo poca variabilidad en ciertos parámetros. En la parte inferior se observa mayor dispersión, lo que probablemente señala las combinaciones más eficientes en términos de consumo energético. Esta distribución sugiere que, aunque algunas variables tengan poco impacto en el consumo, hay configuraciones específicas que permiten alcanzar una mayor eficiencia. Las mejores combinaciones obtenidas son:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	6
2	2.23	0.3	18	6
3	2.23	0.3	11	6
4	2.23	0.3	17	6
5	2.23	0.3	6	6
6	2.23	0.3	24	6

Tabla 43: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Tartagal a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	3
2	2.23	0.3	18	3
3	2.23	0.3	11	3
4	2.23	0.3	17	3

5	2.23	0.3	12	1
6	2.23	0.3	18	1

Tabla 44: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Tartagal a aplicar en las viviendas 'Aimé'

Continuamos analizando la optimización realizada con el clima de la ciudad de Santa Fe:

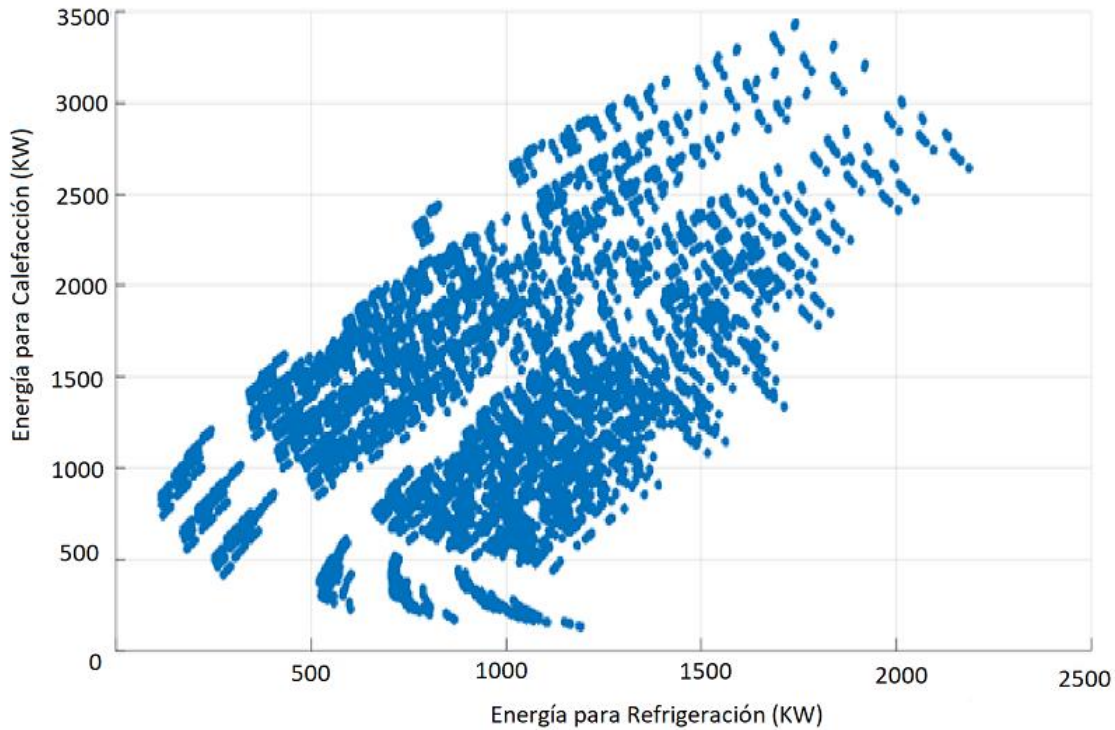


Gráfico 18 : Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Santa Fe.

Este gráfico muestra una distribución ascendente similar a la observada en el de Sáenz Peña, lo cual indica nuevamente una relación positiva entre el consumo de calefacción y refrigeración. En la zona inferior izquierda se encuentran las combinaciones con mejores resultados en términos de eficiencia energética, donde ambos consumos son bajos y están en equilibrio, es decir, tienen un consumo parejo. En esta región, es posible observar que de quererse se puede mejorar considerablemente el uso de calefacción con el coste de aumentar proporcionalmente el de refrigeración, lo que podría ser una estrategia a considerar para optimizar el consumo energético en esta localidad. Para esta localidad obtuvimos las siguientes combinaciones:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.5	12	6
2	2.23	0.5	18	6
3	2.23	0.5	11	6
4	2.23	0.5	17	6
5	2.8	0.5	12	6
6	2.8	0.5	18	6

Tabla 45: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Santa Fe a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.5	12	3
2	2.23	0.5	18	3
3	2.23	0.5	11	3
4	2.23	0.5	17	3
5	2.23	0.5	12	1
6	2.23	0.5	18	1

Tabla 46: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad a Santa Fe aplicar en las viviendas 'Aimé'

Seguimos con la ciudad Córdoba:

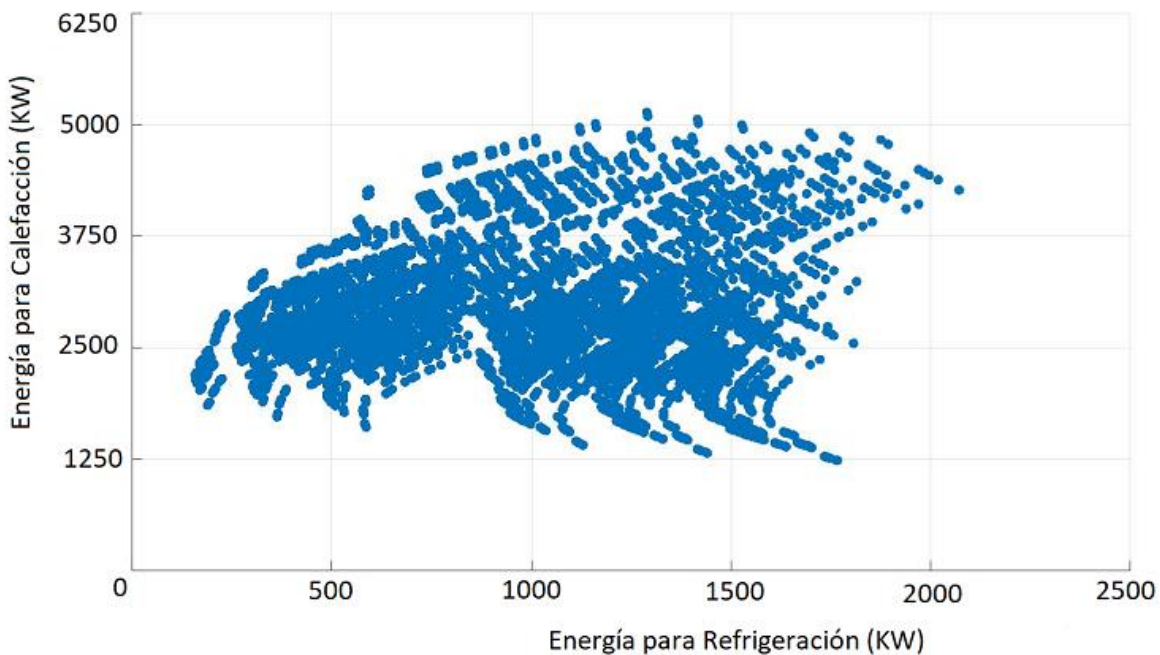


Gráfico 19: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Córdoba.

En este gráfico, los puntos se concentran principalmente en el centro, mostrando una distribución algo más homogénea en comparación con gráficos anteriores. Los candidatos más eficientes se encuentran en la zona inferior media, donde se logra una reducción en el consumo de calefacción sin incurrir en valores elevados de refrigeración. Esto sugiere que es posible alcanzar un equilibrio favorable entre ambos consumos en esta región del gráfico. Los mismos los encontramos a continuación:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	6
2	2.23	0.3	18	6
3	2.23	0.3	11	6
4	2.23	0.3	17	6

5	2.23	0.3	6	6
6	2.23	0.3	20	6

Tabla 47: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Córdoba a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	3
2	2.23	0.3	18	3
3	2.23	0.3	11	3
4	2.23	0.3	17	3
5	2.23	0.3	12	1
6	2.23	0.3	6	3

Tabla 48: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Córdoba a aplicar en las viviendas 'Aimé'

La Ciudad Autónoma de Buenos Aires tiene la siguiente distribución:

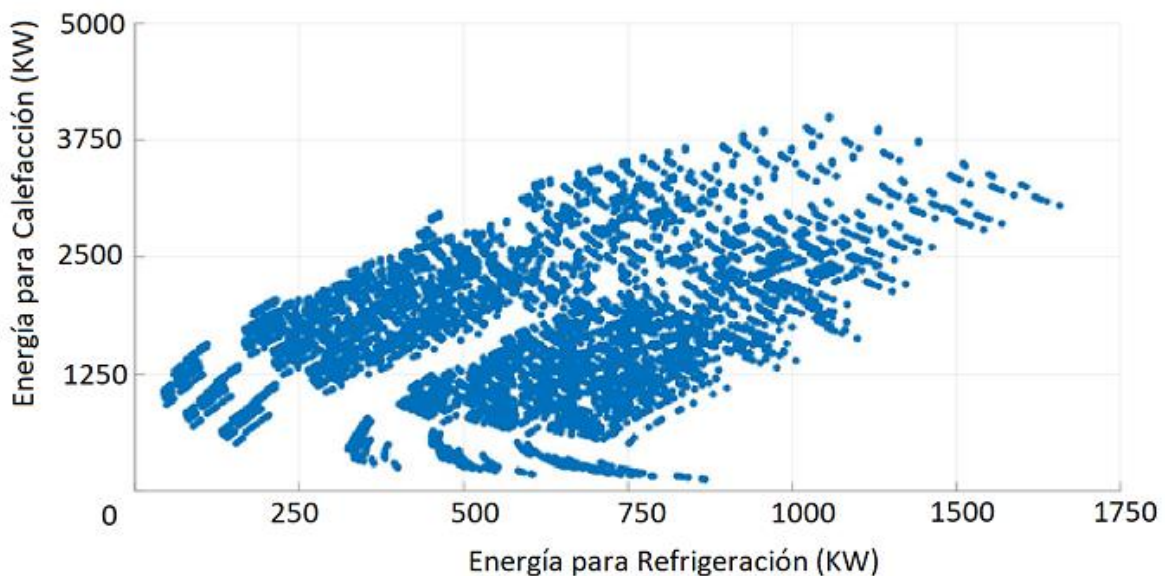


Gráfico 20: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad CABA.

Este gráfico presenta nuevamente un patrón en forma de banda ascendente, aunque con una pendiente menos pronunciada. Esto sugiere que, en las combinaciones menos eficientes, el consumo de refrigeración aumenta en mayor proporción que el de calefacción. A pesar de esto, es evidente que el consumo de calefacción sigue siendo el predominante en la mayoría de los paquetes, aunque las modificaciones realizadas afectan en mayor medida al consumo de refrigeración. Las mejores combinaciones probablemente se ubican en la zona media inferior, donde se logra el menor consumo de calefacción junto con valores de refrigeración moderados, lo cual representa un equilibrio eficiente entre ambos consumos. Las mismas son:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.7	12	6
2	2.23	0.7	18	6
3	2.23	0.7	11	6
4	2.23	0.7	17	6
5	2.8	0.7	12	6
6	2.8	0.7	18	6

Tabla 49: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad CABA a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.7	12	3
2	2.23	0.7	18	3
3	2.23	0.7	11	3
4	2.23	0.7	17	3
5	2.23	0.7	12	1
6	2.23	0.7	18	1

Tabla 50: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad CABA a aplicar en las viviendas 'Aimé'

La siguiente grafica corresponde a la localidad de Tinogasta:

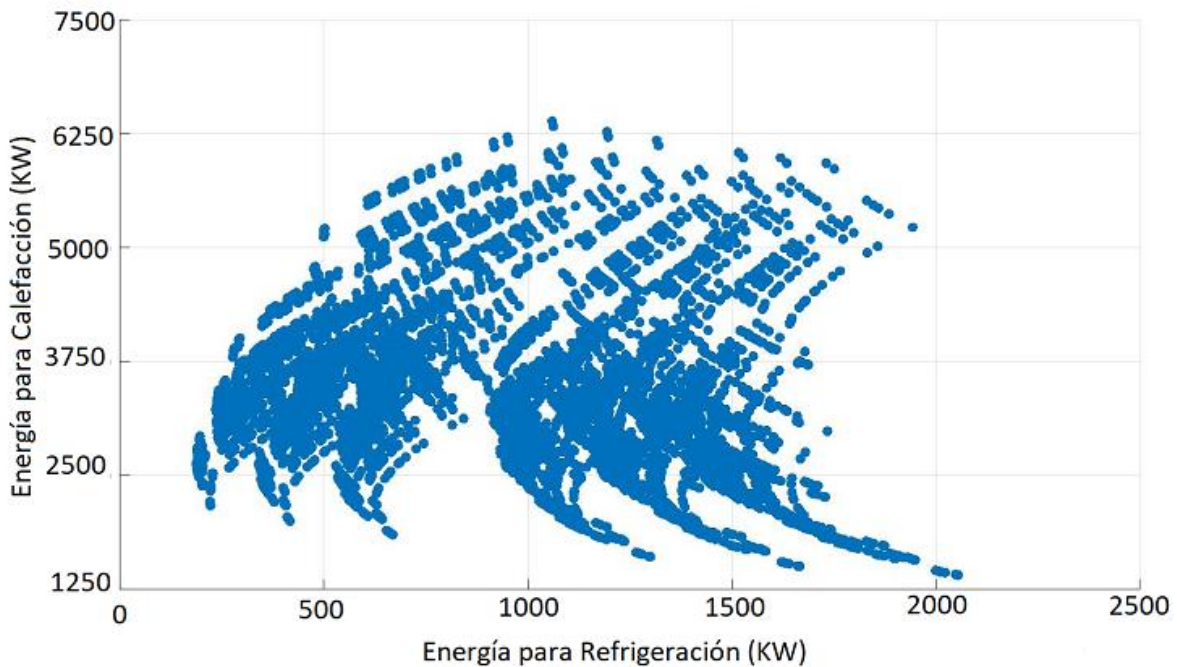


Gráfico 21: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Tinogasta.

Esta gráfica presenta una forma similar a la obtenida para la ciudad de Santa Fe, con una gran distribución de los resultados de las combinaciones, aunque con un aumento notable en el consumo de calefacción. Esto implica que, en esta ubicación, es fundamental enfocarse en las combinaciones que minimicen la energía de calefacción sin descuidar el consumo de refrigeración, manteniéndolo

en niveles moderados. La prioridad será encontrar configuraciones que logren un equilibrio adecuado, donde se reduzca la calefacción sin que el costo en refrigeración se vuelva excesivo. Del mismo obtuvimos:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	6
2	2.23	0.3	18	6
3	2.23	0.3	11	6
4	2.23	0.3	17	6
5	2.23	0.3	6	6
6	2.23	0.4	12	6

Tabla 51: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Tinogasta a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	3
2	2.23	0.3	18	3
3	2.23	0.3	11	3
4	2.23	0.3	17	3
5	2.23	0.4	12	3
6	2.23	0.4	18	3

Tabla 52: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Tinogasta a aplicar en las viviendas 'Aimé'

La próxima localidad a contemplar es la de San Carlos en Mendoza:

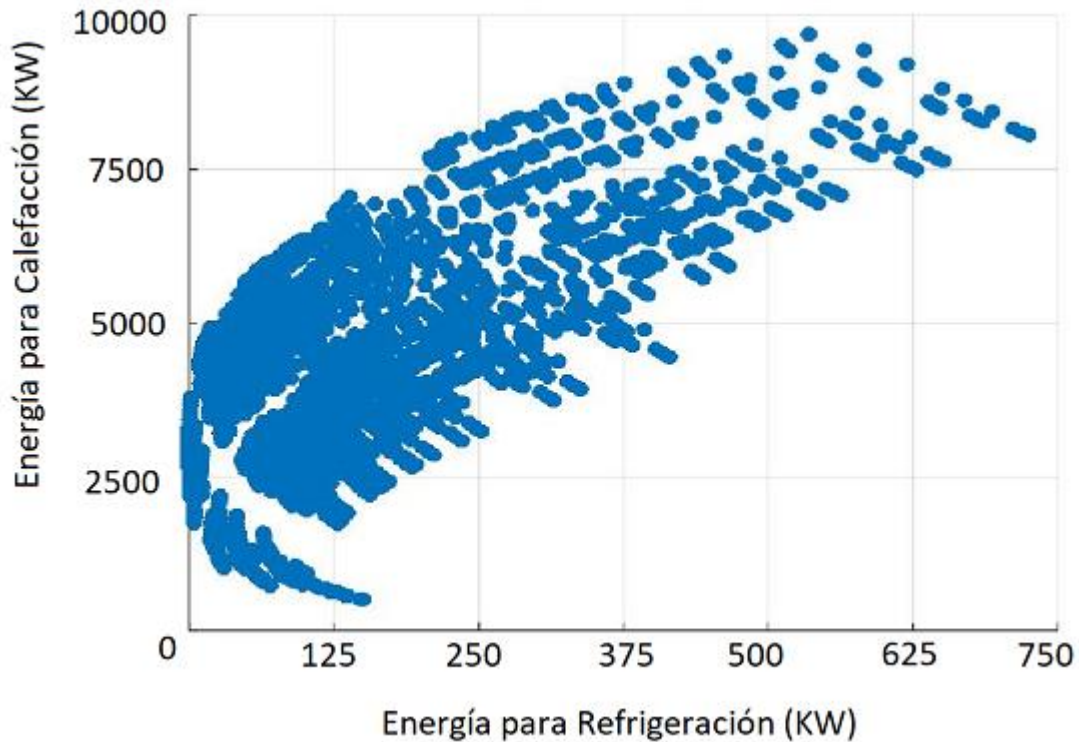


Gráfico 22: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad San Carlos.

En esta gráfica se observa nuevamente una banda ascendente, con la peculiaridad de tener los puntos mucho más concentrados entre si y no tan distribuidos como los otros casos. Hay soluciones que prácticamente eliminan el consumo de refrigeración, pero a costa de un aumento significativo en la calefacción, lo cual indica que no son las mejores alternativas. Para esta zona, lo óptimo es minimizar al máximo la energía de calefacción, incluso si esto lleva a un incremento en la refrigeración. Este enfoque es conveniente dado que el aumento en refrigeración no es tan considerable como el de calefacción, lo que hace que la estrategia de priorizar el ahorro en calefacción sea más eficiente en términos energéticos.

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.9	12	6
2	2.23	0.9	18	6
3	2.23	0.9	11	6
4	2.23	0.9	17	6
5	2.23	0.9	6	6
6	2.23	0.9	24	6

Tabla 53: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad San Carlos a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.9	12	3
2	2.23	0.9	18	3
3	2.23	0.9	11	3

4	2.23	0.9	17	3
5	2.23	0.9	12	1
6	2.23	0.9	18	1

Tabla 54: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad San Carlos a aplicar en las viviendas 'Aimé'

Pasamos a analizar Tandil:

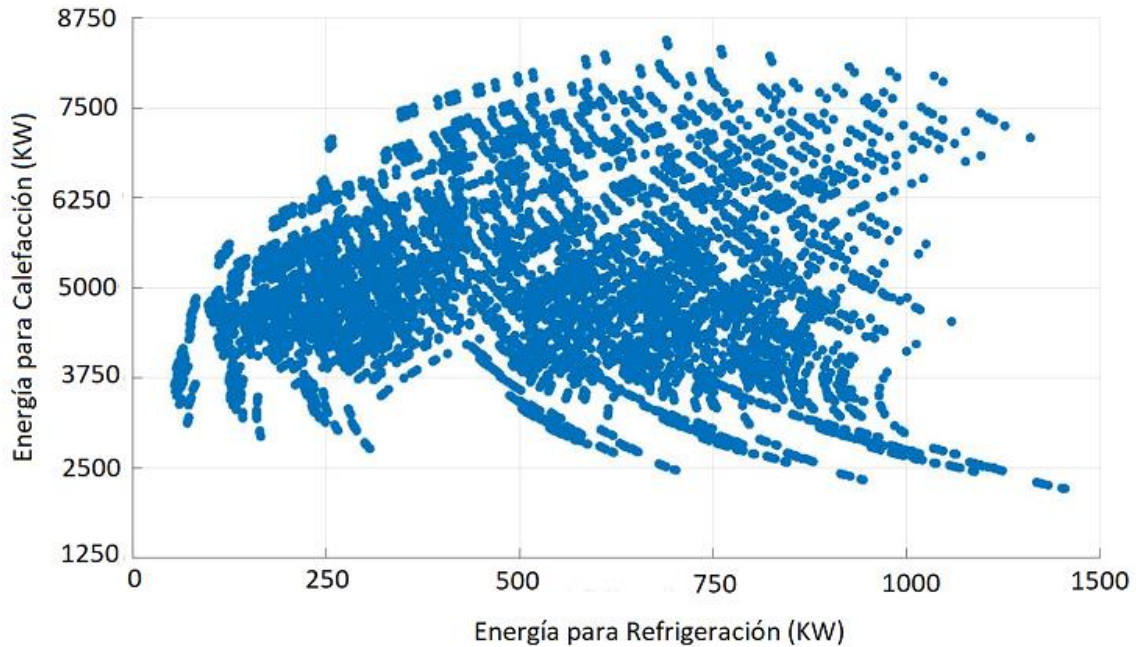


Gráfico 23: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Tandil.

En este caso, la distribución de los puntos tiene una forma similar a la observada en la localidad de Tinogasta, pero con una dispersión mucho mayor entre los valores. Esto sugiere que las variaciones en las combinaciones de parámetros producen resultados más variados en cuanto a consumo energético. Para esta localidad, los resultados más eficientes se encuentran en el cuadrante inferior central, donde se logra un equilibrio óptimo entre las necesidades de calefacción y refrigeración, evitando consumos extremos en cualquiera de los dos tipos de energía. Los valores resultaron los próximos.

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.5	12	6
2	2.23	0.5	18	6
3	2.23	0.5	11	6
4	2.23	0.5	17	6
5	2.23	0.4	12	6
6	2.23	0.4	18	6

Tabla 55: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para Tandil la localidad a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
------	----------	------	------	-------

1	2.23	0.5	12	3
2	2.23	0.5	18	3
3	2.23	0.5	11	3
4	2.23	0.5	17	3
5	2.23	0.5	12	1
6	2.23	0.5	18	1

Tabla 56: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Tandil a aplicar en las viviendas 'Aimé'

La próxima ciudad es la de Mar Del Plata:

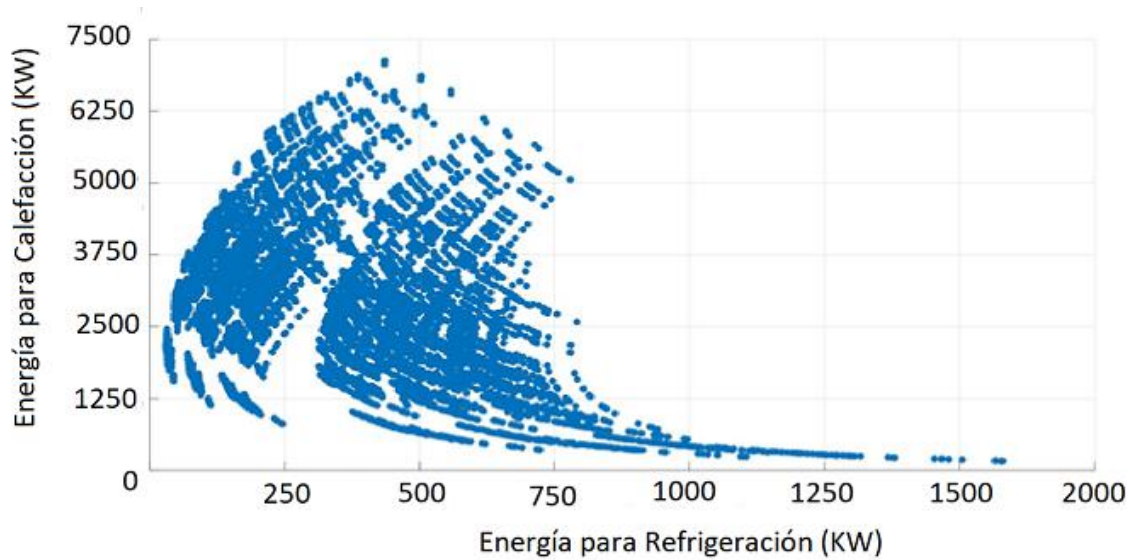


Gráfico 24: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Mar Del Plata.

En esta gráfica, la mayoría de los puntos se concentran hacia la izquierda, indicando que el consumo predominante es el de calefacción en la mayoría de los casos. Las opciones más favorables se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo, donde el consumo de calefacción, aunque algo elevado, no alcanza los valores extremos de otros casos, y el consumo de refrigeración permanece bajo. Esto sugiere un equilibrio en el que se logra una reducción razonable en calefacción sin aumentar significativamente la necesidad de refrigeración, a diferencia del cuadrante más inferior, donde los puntos tienden a desplazarse hacia la derecha, indicando que, al reducir mucho el consumo de calefacción, el consumo de refrigeración se incrementa considerablemente.

Los mejores resultados fueron:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.5	12	6
2	2.23	0.5	18	6
3	2.23	0.5	11	6
4	2.23	0.5	17	6
5	2.23	0.7	12	6
6	2.23	0.7	18	6

Tabla 57: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Mar Del Plata a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.7	12	3
2	2.23	0.7	18	3
3	2.23	0.7	11	3
4	2.23	0.7	17	3
5	2.23	0.7	12	1
6	2.23	0.7	18	1

Tabla 58: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Mar Del Plata a aplicar en las viviendas 'Aimé'

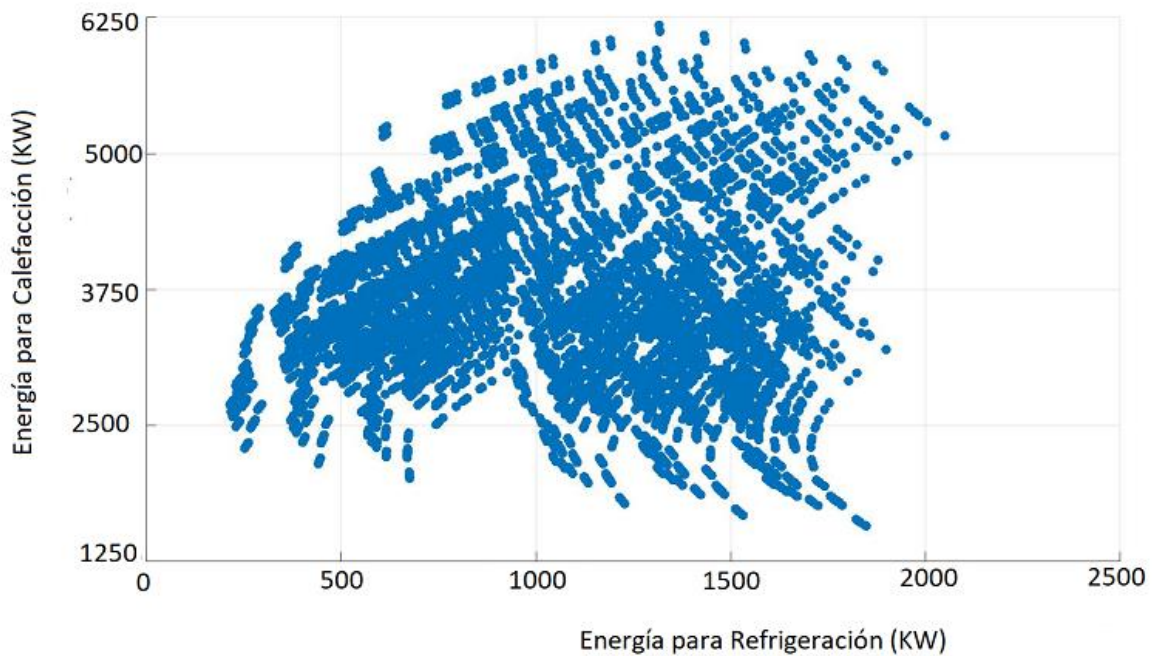


Gráfico 25: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Pico.

En esta localidad, la distribución de los puntos es homogénea, con una concentración notable en el centro del gráfico. Las opciones más eficientes se encuentran en la zona inferior, ligeramente desplazadas hacia la izquierda del centro, lo que sugiere un equilibrio entre ambos consumos energéticos sin grandes sacrificios en calefacción o refrigeración. Para esta localidad se aptan las siguientes soluciones.

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	6
2	2.23	0.3	18	6
3	2.23	0.3	11	6
4	2.23	0.3	17	6
5	2.23	0.3	6	6
6	2.23	0.4	12	6

Tabla 59: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Pico a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.3	12	3
2	2.23	0.3	18	3
3	2.23	0.3	11	3
4	2.23	0.3	17	3
5	2.23	0.3	12	1
6	2.23	0.3	18	1

Tabla 60: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Pico a aplicar en las viviendas 'Aimé'

Continuamos el análisis con Puerto de San Julián:

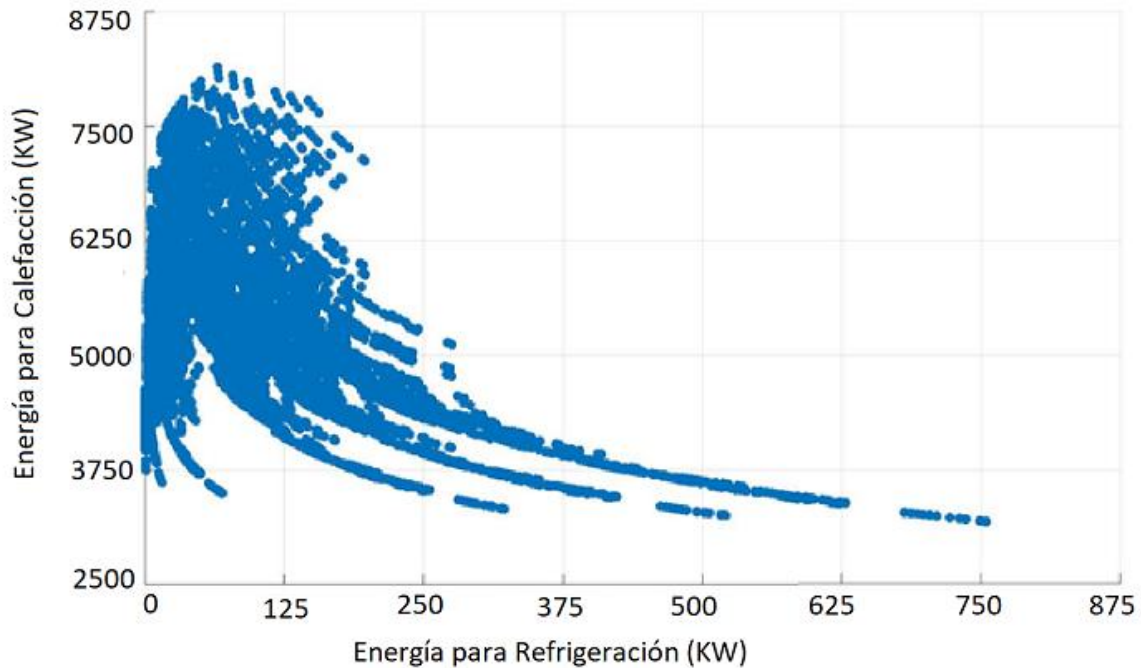


Gráfico 26: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Puerto de San Julián.

Se aprecia una tendencia similar a la de Mar del Plata, aunque con un desplazamiento hacia la izquierda. Esto indica un menor uso de refrigeración y un mayor consumo de calefacción. Las combinaciones más eficientes se localizan en la zona inferior del gráfico, donde el consumo de calefacción es moderado, permitiendo un confort térmico sin un gasto energético excesivo. En el centro del gráfico, se observa un comportamiento asintótico en el que más allá de cierto punto, no se logra disminuir considerablemente la calefacción, mientras que la necesidad de refrigeración aumenta significativamente. Las combinaciones óptimas son:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.7	12	6
2	2.23	0.7	18	6

3	2.23	0.7	11	6
4	2.23	0.7	17	6
5	2.23	0.8	12	6
6	2.23	0.8	18	6

Tabla 61: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Puerto de San Julián a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.7	12	3
2	2.23	0.7	18	3
3	2.23	0.7	11	3
4	2.23	0.7	17	3
5	2.23	0.8	12	3
6	2.23	0.8	18	3

Tabla 62: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Puerto de San Julián a aplicar en las viviendas 'Aimé'

La siguiente localidad a evaluar es Bariloche:

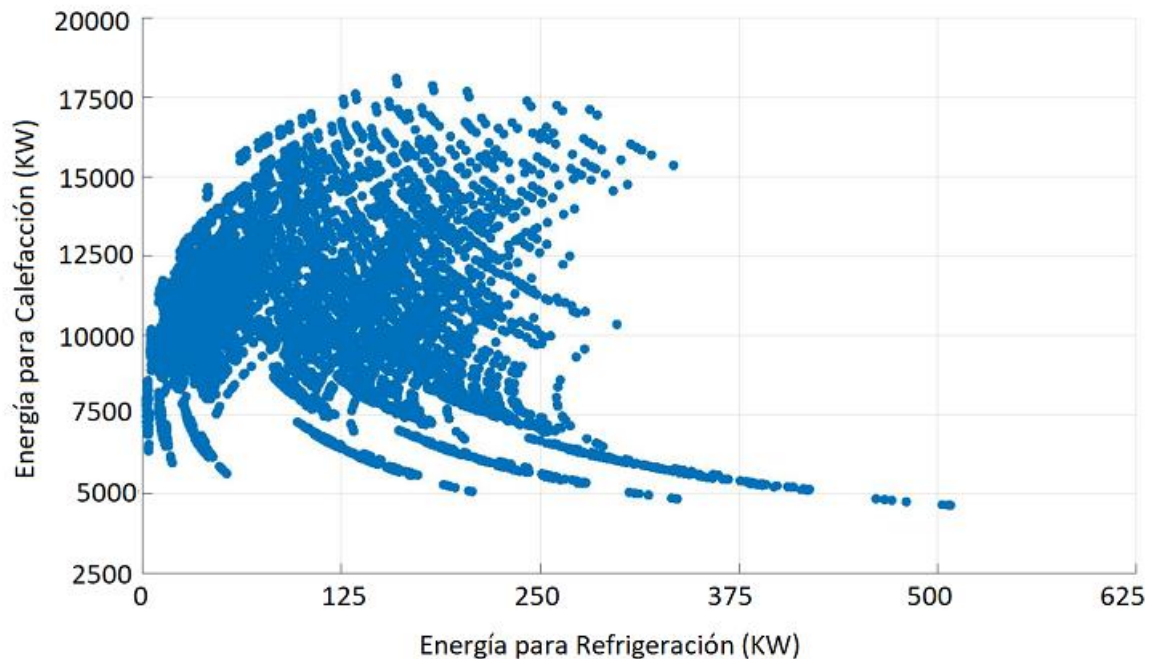


Gráfico 27 : Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Bariloche.

Se observa una tendencia similar a la localidad anterior, aunque en este caso los valores están menos desplazados hacia la derecha. Al analizar los ejes, se nota que la energía necesaria para la refrigeración sigue siendo comparable, lo que indica que el consumo energético para el confort térmico en bajas temperaturas es similar. Sin embargo, aumenta ligeramente la necesidad de refrigeración.

Los valores con mejores resultados se encuentran en las zonas centro-inferior e izquierda del gráfico. En el centro-inferior, el consumo de calefacción disminuye, aunque esto implica un leve

aumento en el uso de refrigeración. En la zona izquierda, el consumo de refrigeración es muy bajo, y aunque el consumo de calefacción es algo mayor en comparación, no llega a ser excesivo. Estos son:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.9	12	6
2	2.23	0.9	18	6
3	2.23	0.9	11	6
4	2.23	0.9	17	6
5	2.23	0.8	12	6
6	2.23	0.8	18	6

Tabla 63: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Bariloche a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.9	12	3
2	2.23	0.9	18	3
3	2.23	0.9	11	3
4	2.23	0.9	17	3
5	2.23	0.9	12	1
6	2.23	0.9	18	1

Tabla 64: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para la localidad Bariloche a aplicar en las viviendas 'Aimé'

Por último, analizaremos la localidad de Ushuaia:

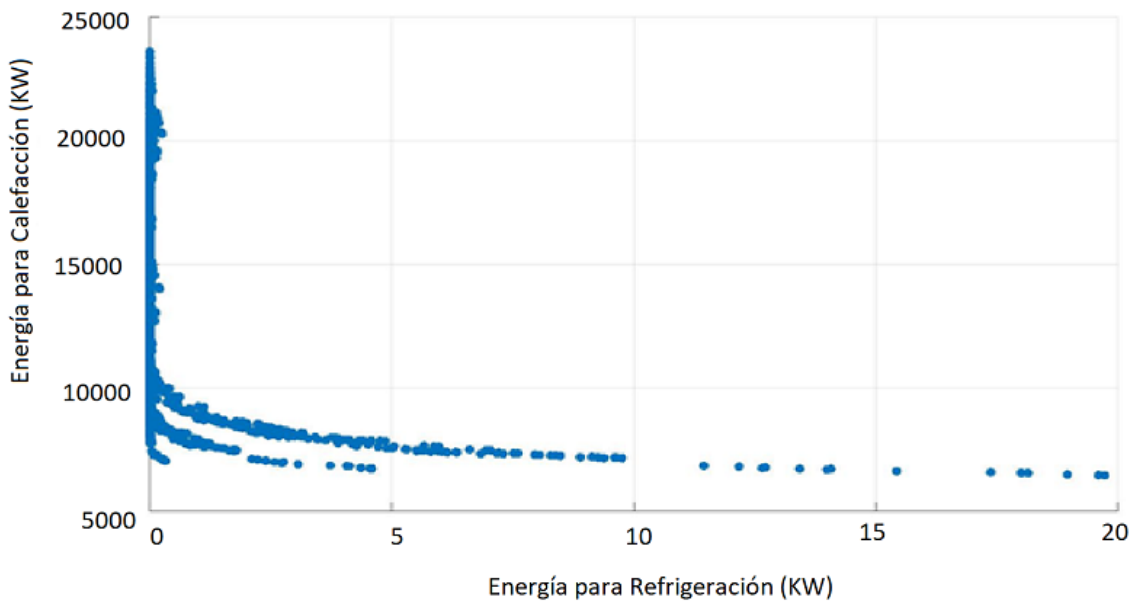


Gráfico 28: Relación consumo de energía para calefacción y refrigeración para la localidad Ushuaia.

Al analizar esta localidad de clima extremadamente frío, observamos que la mayoría de las combinaciones se concentran sobre el eje Y, lo que indica la ausencia casi total de necesidades de refrigeración. La línea asintótica es mucho más pronunciada en este caso, mostrando que, a partir de cierto punto, resulta difícil reducir aún más el consumo de calefacción, lo cual solo lleva a un incremento excesivo en el uso de refrigeración.

Los mejores resultados se encuentran en el cuadrante inferior izquierdo, donde los valores se acercan a esta asíntota imaginaria y el consumo de refrigeración se mantiene cercano a cero. Los cuales los obtenemos como:

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.9	12	6
2	2.23	0.9	18	6
3	2.23	0.9	11	6
4	2.23	0.9	17	6
5	2.23	0.9	6	6
6	2.23	0.9	24	6

Tabla 65: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para Ushuaia la localidad a aplicar en las viviendas 'Alfonsina' y 'Milagros'

Caso	U-Factor	SHGC	Muro	Techo
1	2.23	0.9	12	3
2	2.23	0.9	18	3
3	2.23	0.9	11	3
4	2.23	0.9	17	3
5	2.23	0.9	12	1
6	2.23	0.9	18	1

Tabla 66: Paquetes constructivos con mejor rendimiento energético para Ushuaia la localidad a aplicar en las viviendas 'Aimé'

6.3. Análisis de consumo de energía en viviendas procrear.

Basándonos en los resultados obtenidos de los casos más favorables de la optimización en el modelo Bestest se procede a testear cada uno de las combinaciones con mejor resultado en las viviendas Procrear. Cada una de estas, se orientará en la dirección óptima para su zona, de acuerdo con los resultados del análisis de sensibilidad. En el modelo Bestest, la orientación se determina en función de la ubicación de las ventanas; sin embargo, en casos reales, seleccionar la superficie adecuada para orientar no siempre es tan evidente. Para resolver esto, se calculó el área bruta de vidrio en cada una de las fachadas y se seleccionó la que mayor superficie vidriada presenta como la cara predominante. La orientación de cada vivienda se definirá en función de esta cara predominante.

6.3.1. Modelo 1: sin ocupación.

Comenzaremos utilizando el modelado sin ocupación para las casas Procrear, estas son las que no consideran el factor de uso. Como se mencionó, los sistemas de climatización están instalados en el estar/comedor y en ambas habitaciones. La gráfica muestra la sumatoria de la energía total

necesaria para mantener condiciones confortables en cada uno de estos ambientes a lo largo de un año. Esto nos permitirá evaluar el consumo energético total de la vivienda.

Se muestran los resultados a continuación, donde en la barra roja representa la energía consumida para la calefacción, la azul para la refrigeración y en amarillo la energía total. Al pie de cada uno de estas barras se encuentra el caso del que se trata, según la definición anterior.

Comenzamos con la localidad de Sáenz Peña.

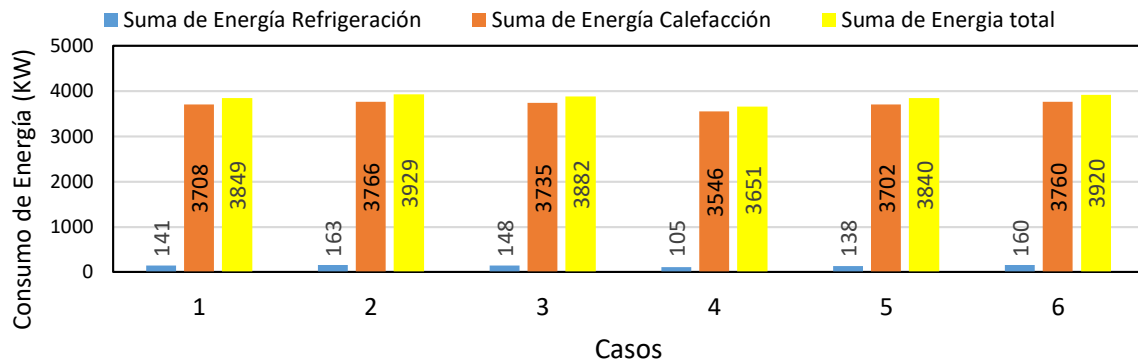


Gráfico 29: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Sáenz Peña.

Podemos observar que, a pesar de ser una localidad de altas temperaturas, predomina el uso de calefacción en todos los casos, mientras que el uso de refrigeración es bajo.

Seguimos con Iguazú.

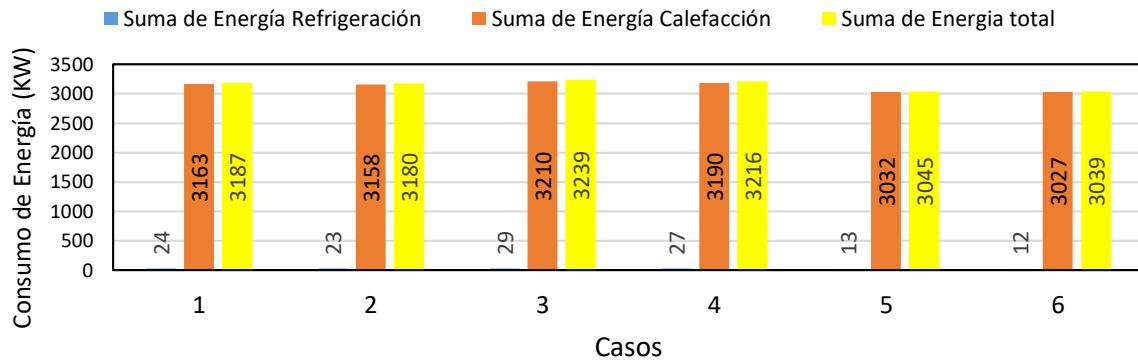


Gráfico 30: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Iguazú.

Caso similar al anterior, con un uso aún más bajo de la refrigeración, aunque también lo es el de la calefacción.

Pasamos a la localidad que se encuentra en la provincia de Salta.

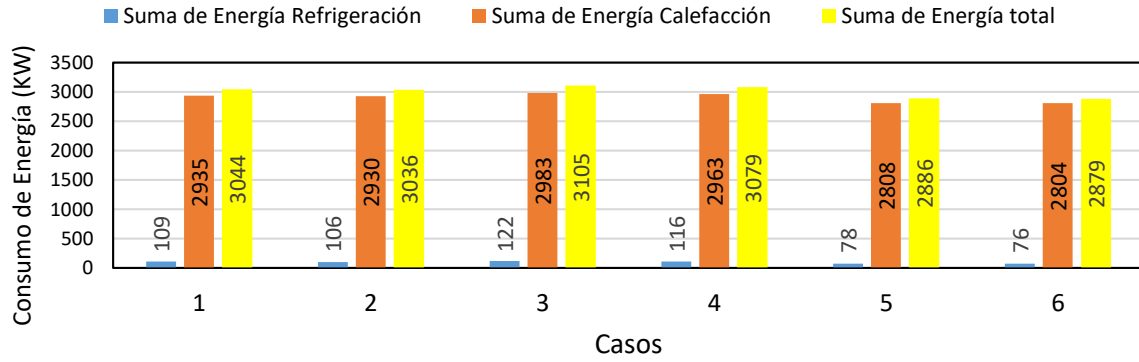


Gráfico 31: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Tartagal

La calefacción es menor que en las otras localidades, a pesar de encontrarse en la zona 2. La refrigeración aumenta ligeramente. Observamos que los mejores resultados corresponden al caso 5, seguido del caso 6.

A continuación, analizamos la ciudad de Santa Fe.

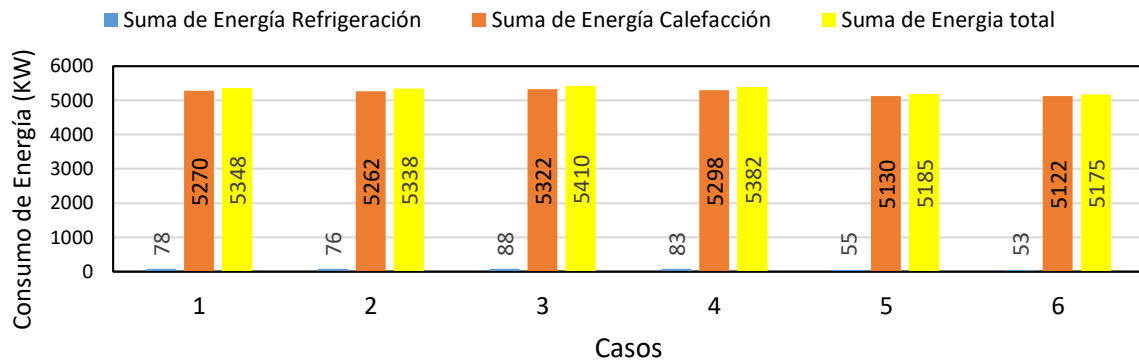


Gráfico 32: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Santa Fe

En esta localidad, la demanda de calefacción aumenta considerablemente, mientras que la refrigeración sigue siendo baja. Los casos 5 y 6 continúan mostrando los mejores resultados, con el caso 6 en primer lugar en esta ocasión.

Ahora pasamos a la zona 3, en la ciudad de Córdoba.

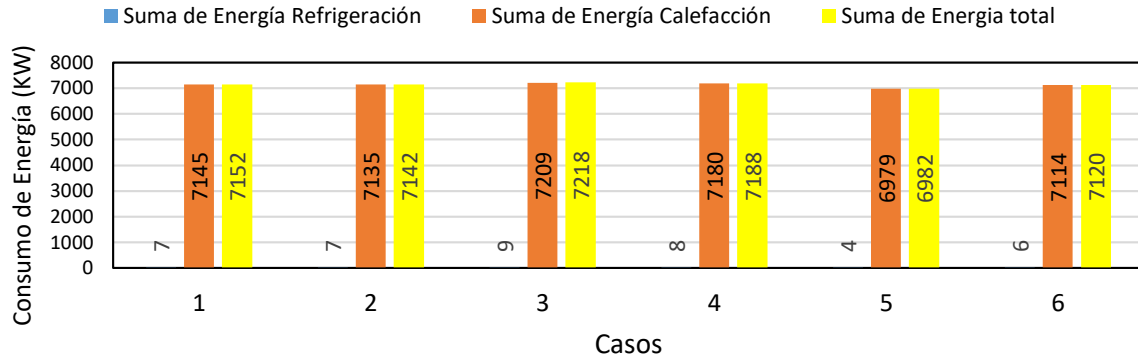


Gráfico 33: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Córdoba.

En este caso, la refrigeración se reduce al mínimo, mientras que la demanda de calefacción es elevada.

A continuación, analizamos la capital del país.

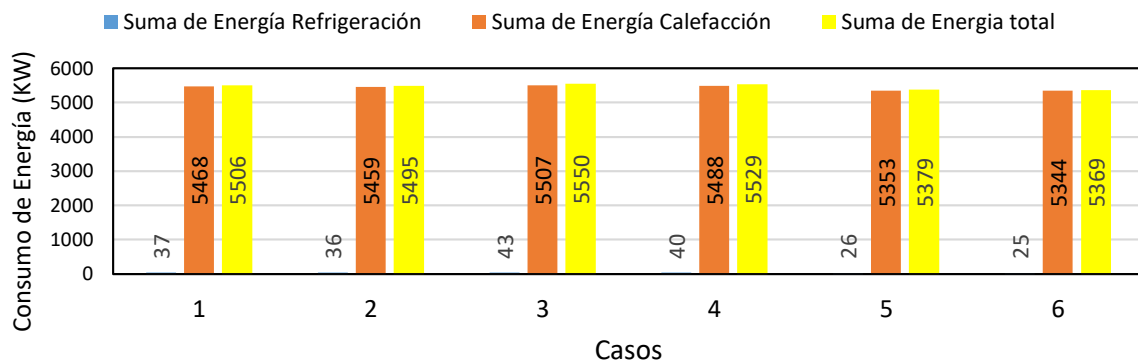


Gráfico 34: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad CABA.

En este caso, la refrigeración es ligeramente mayor que en el caso anterior, mientras que el uso de calefacción disminuye notablemente, aunque la demanda de refrigeración sigue siendo muy baja.

A continuación, nos dirigimos a Tinogasta, en la zona 4.

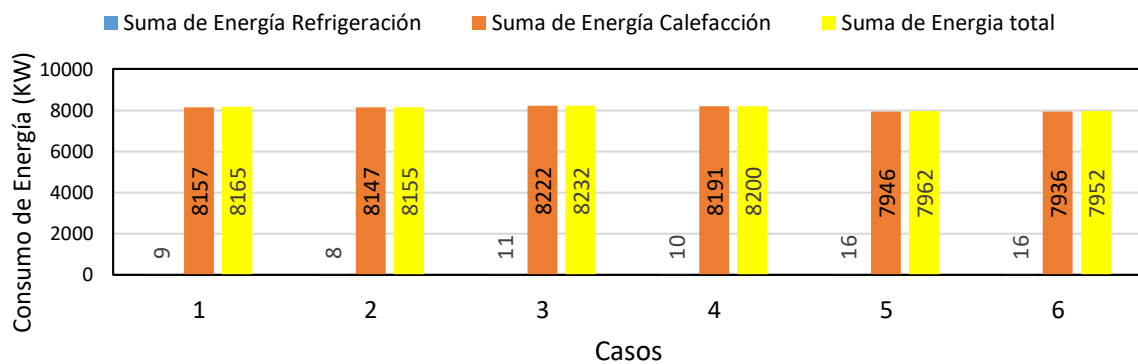


Gráfico 35: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Tinogasta.

La refrigeración vuelve a ser baja, mientras que la demanda de calefacción aumenta considerablemente.

A continuación, analizamos San Carlos.

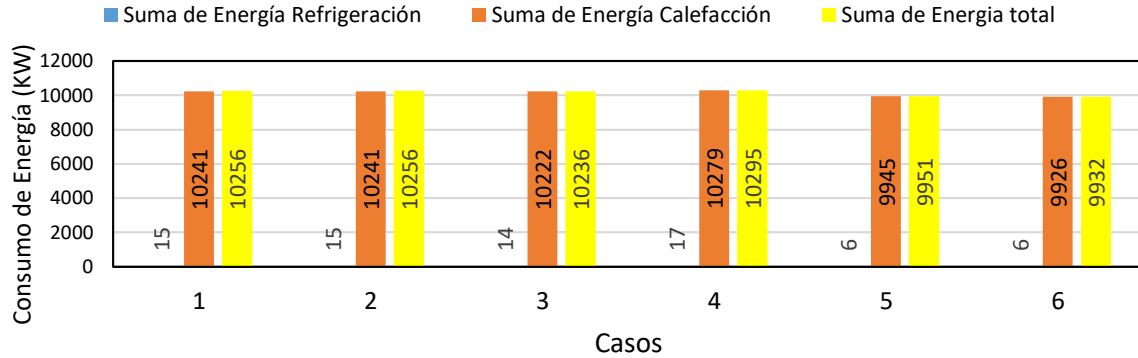


Gráfico 36: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad San Carlos.

Se observa una gran demanda de calefacción, alcanzando aproximadamente los 10,000 kW en todos los casos.

A continuación, analizamos Tandil, en la provincia de Buenos Aires:

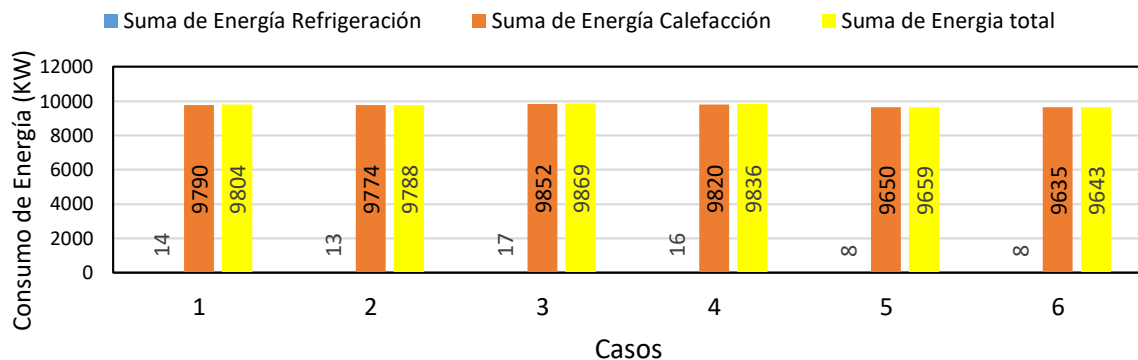


Gráfico 37: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Tandil

Similares valores a la localidad anterior, aunque la calefacción es un poco menor. La refrigeración en general sigue siendo extremadamente baja.

Nos movemos a la zona costera para analizar Mar Del Plata.

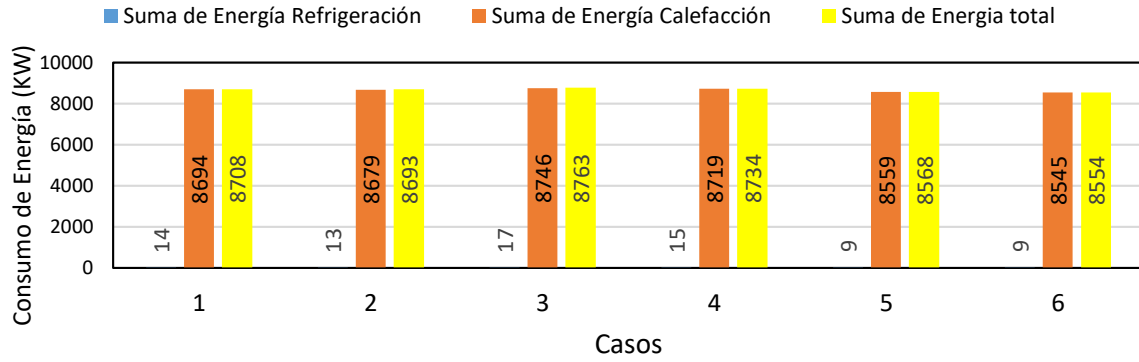


Gráfico 38: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Mar Del Plata.

Se sigue repitiendo el patrón de bajos valores para la energía de refrigeración y altos para la calefacción. A continuación, analizaremos Pico, en La Rioja.

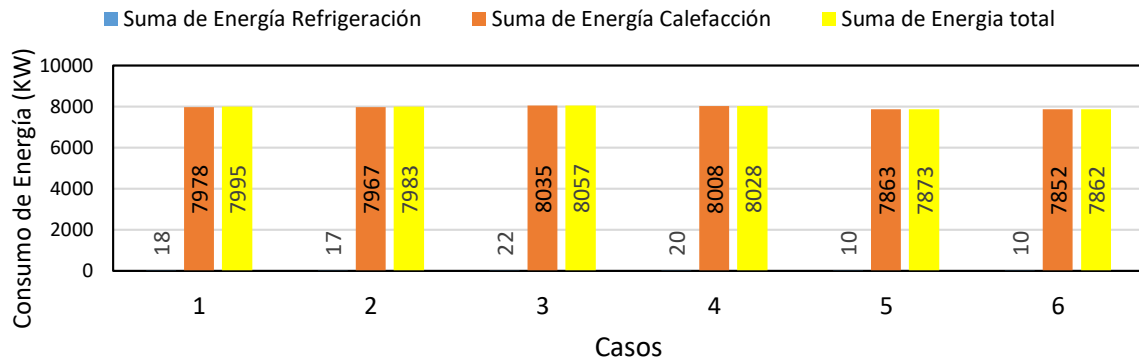


Gráfico 39: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Pico.

A pesar de estar en la zona 5, los valores de calefacción son un poco más bajos que en localidades anteriores de la zona 4. De todas formas, siguen siendo muy elevados. Ahora, veremos el caso de Puerto San Julián.

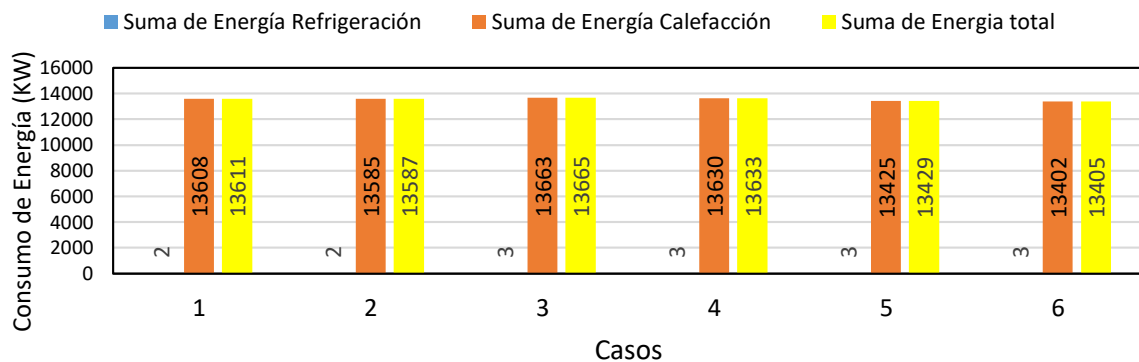


Gráfico 40: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Puerto San Julián.

Comenzamos a tener elevados valores de energía requerida, principalmente debido al frío de la zona. La refrigeración es mínima. Ahora pasamos a Bariloche, en Río Negro.

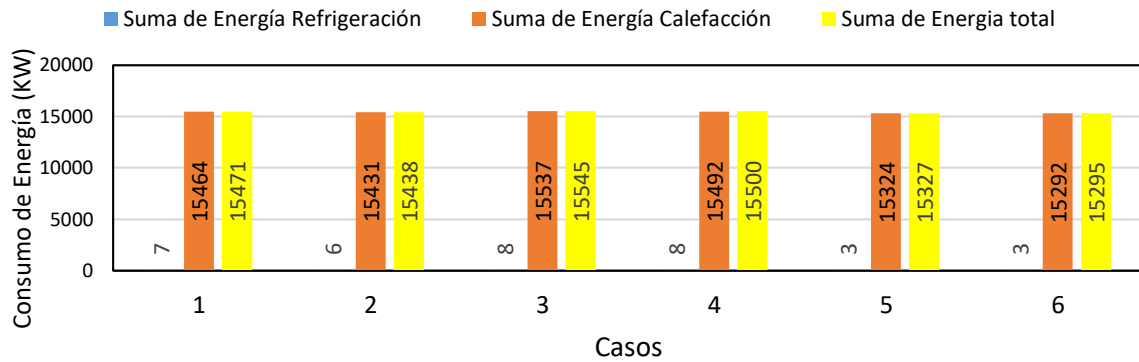


Gráfico 41: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Bariloche.

Tenemos valores considerables en cuanto a la energía de calefacción, mientras que la energía de refrigeración es muy baja. Ahora analizamos la última localidad, Ushuaia.

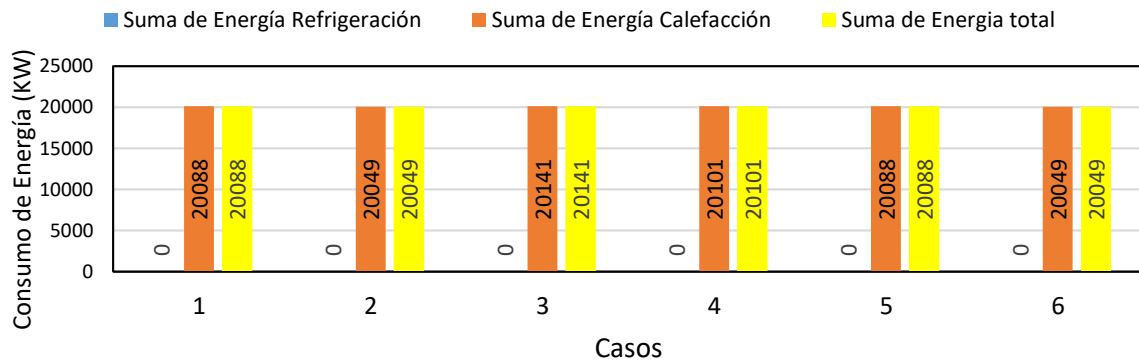


Gráfico 42: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Aimé. Localidad Ushuaia.

La refrigeración en este caso es nula y se registran los mayores valores de calefacción.

Comenzamos con la localidad en la provincia de Chaco para analizar las viviendas Alfonsina, las cuales cuentan con techos planos.

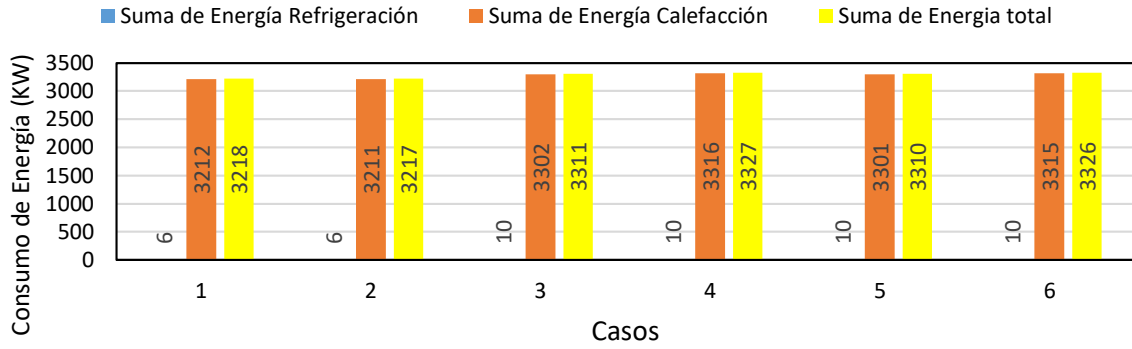


Gráfico 43: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Sáenz Peña

En comparación con la otra vivienda, los valores son menores, lo que deja en evidencia la mejora obtenida al utilizar otro tipo de techo. Se sigue repitiendo el patrón de alta demanda para la calefacción y muy baja para la refrigeración. Pasamos a Iguazú.

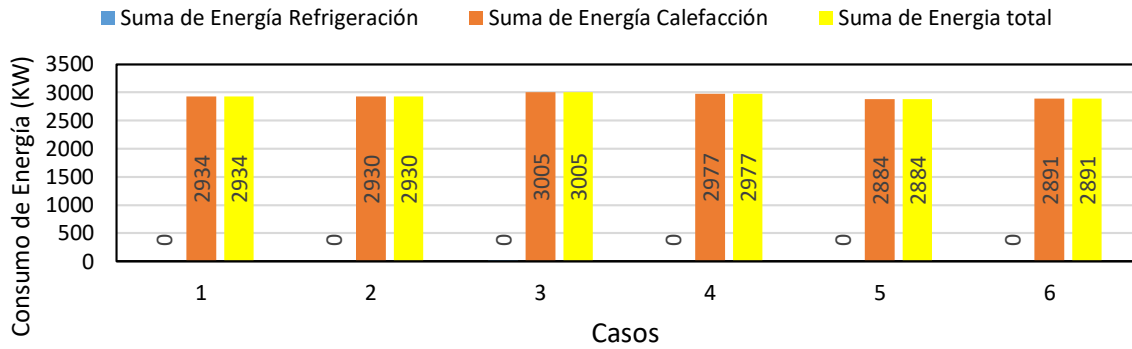


Gráfico 44: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Iguazú

Para esta localidad, tenemos menos consumo que en la anterior, tanto para la calefacción como para la refrigeración, que en este caso es nula.

Seguimos con Tartagal, en la zona 2.

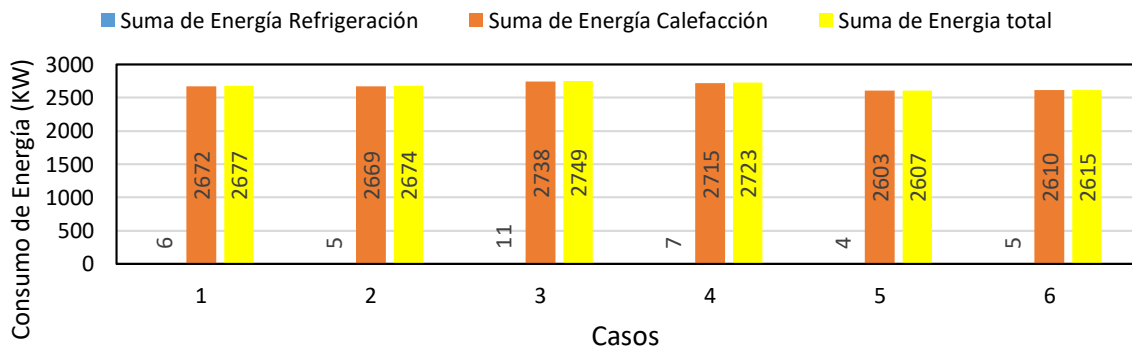


Gráfico 45: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Tartagal.

Los valores de calefacción están apenas por debajo de los de la localidad anterior, y volvemos a ver un uso de la refrigeración, aunque esta sigue siendo muy baja. Continuamos con Santa Fe.

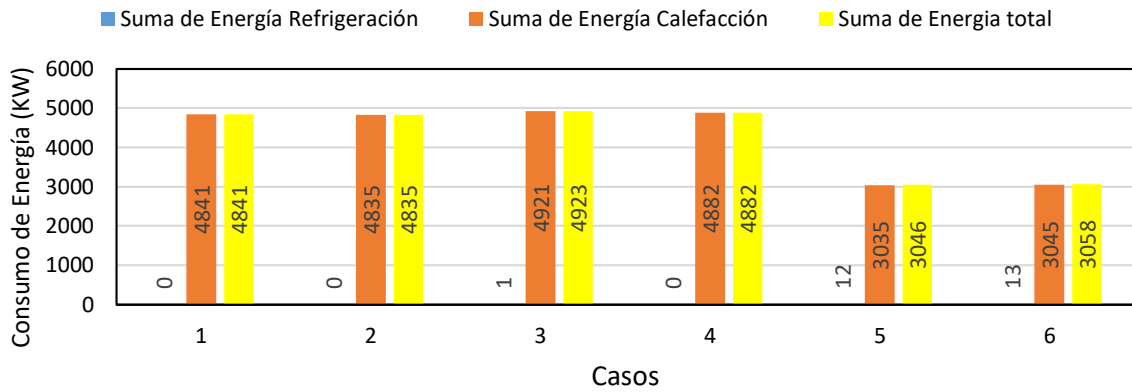


Gráfico 46: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Santa Fe.

Mayor calefacción en todos los casos que para la localidad analizadas con anterioridad. Vemos que el caso 5 y 6 son los más favorables con diferencia por los demás; además de ser los únicos que cuentan con un poco de refrigeración.

Seguimos con la localidad de Córdoba.

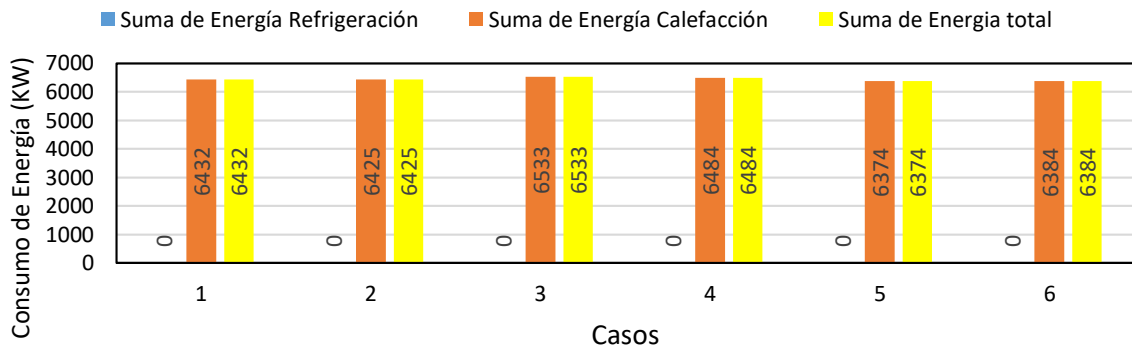


Gráfico 47: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Córdoba.

La calefacción comienza a tomar valores más considerados que para los otros casos, sintiéndose el cambio de zona bioclimática.

Analizamos la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

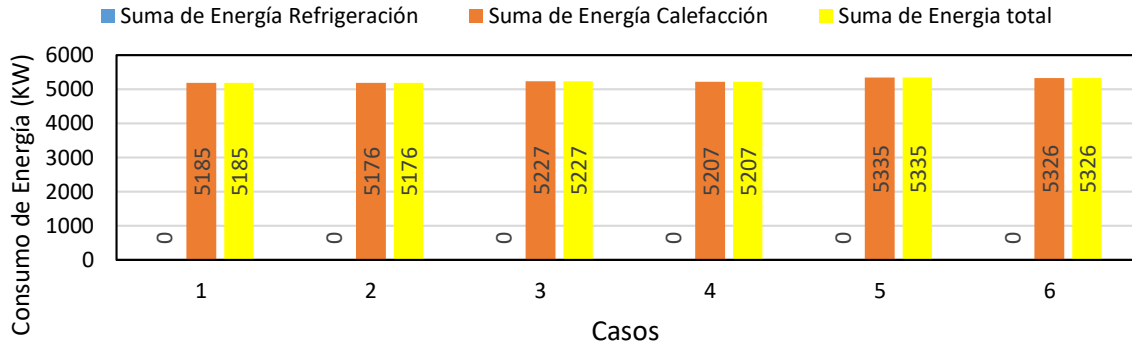


Gráfico 48: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad CABA.

Valores por debajo que los vistos en la capital cordobesa, no es necesario refrigerar la casa en ninguna época del año.

Pasamos a la zona 4 con la localidad de Tinogasta en Catamarca.

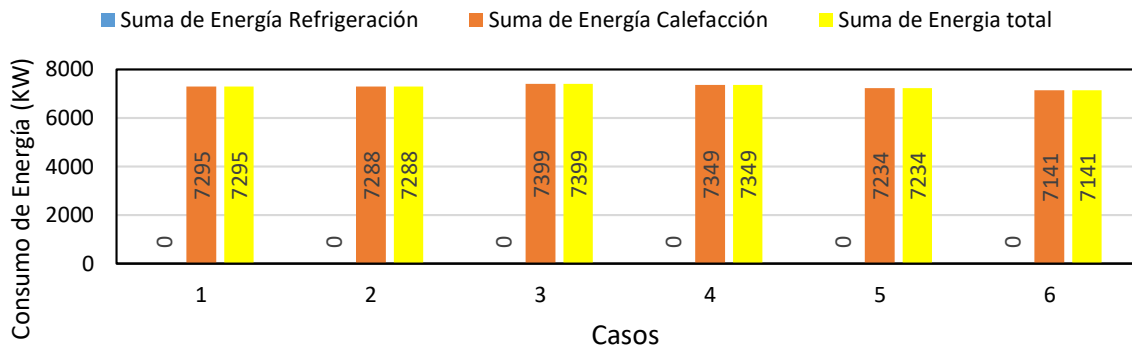


Gráfico 49: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Tinogasta.

Comienza a ser superior el requerimiento de energía, superando los valores vistos en Córdoba inclusive. Analizamos San Carlos en Mendoza.

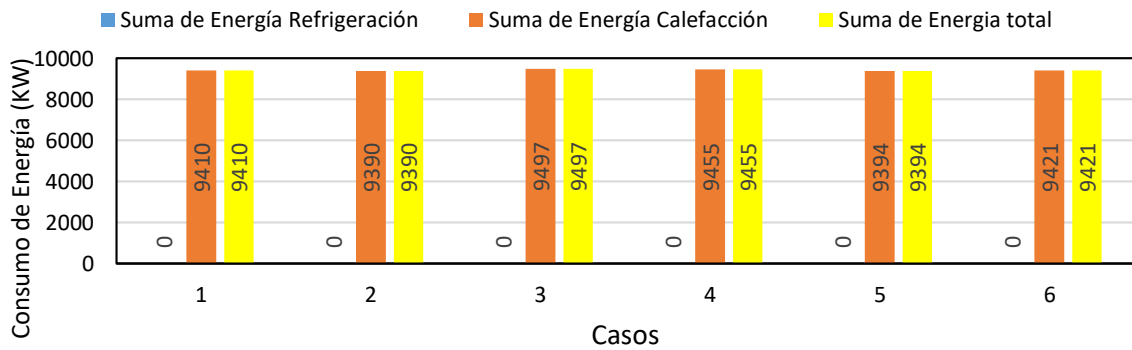


Gráfico 50: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad San Carlos.

Los máximos consumos hasta el momento, rondando los valores de 10 mil KW. Vemos que los valores son similares a los que vimos en el caso anterior con cubierta liviana, aunque ligeramente más favorables los que encontramos acá.

Seguimos con la localidad de Tandil.

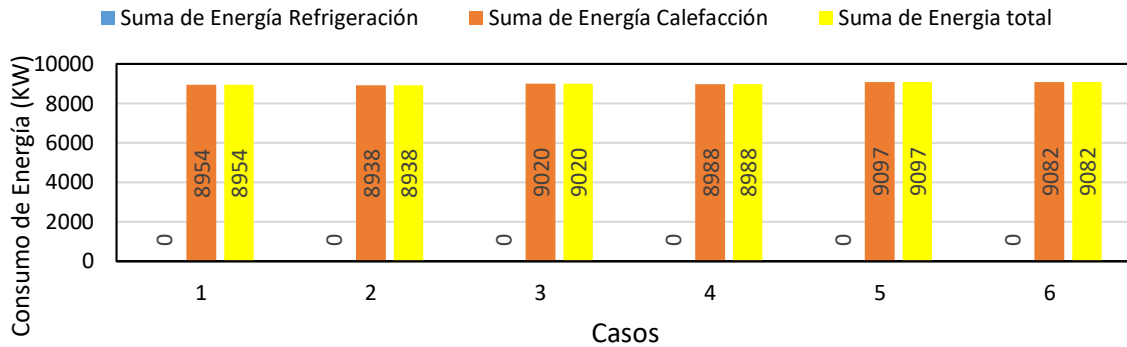


Gráfico 51: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Tandil.

Valores muy similares a los vistos en la localidad anterior. Inclusive un poco más favorables al ser menor el consumo.

Pasamos a la zona costera de nuestro país.

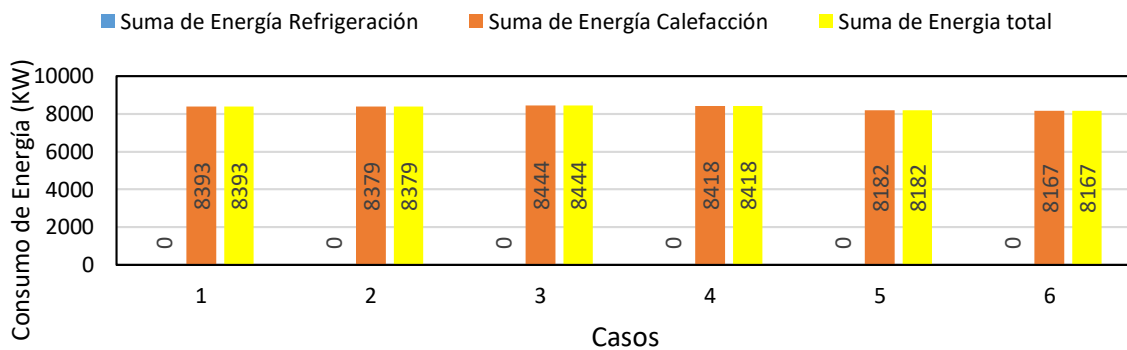


Gráfico 52: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Mar Del Plata.

El consumo de energía para calefacción disminuye aún más en comparación con las últimas localidades analizadas, con valores que rondan los 8400 KW, lo cual sigue siendo considerable. Comenzamos ahora el análisis de la zona 5 del país.

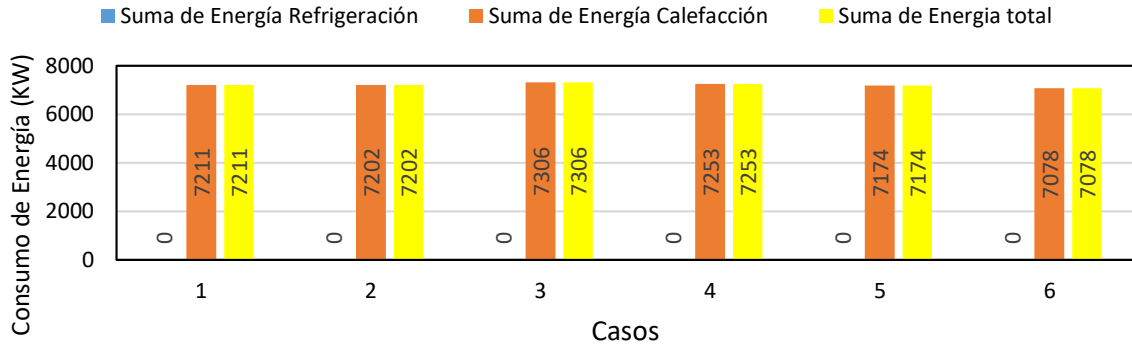


Gráfico 53: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Pico.

Ocurre lo mismo que antes: a pesar de estar en la zona 5, los valores de consumo son inferiores a los de varias localidades de la zona 4, lo que indica que esta zona está fuertemente beneficiada por la luz solar. Esto ayuda a disminuir el requerimiento de calefacción a pesar de las temperaturas extremadamente bajas. Continuamos nuestro análisis en la provincia de Santa Cruz.

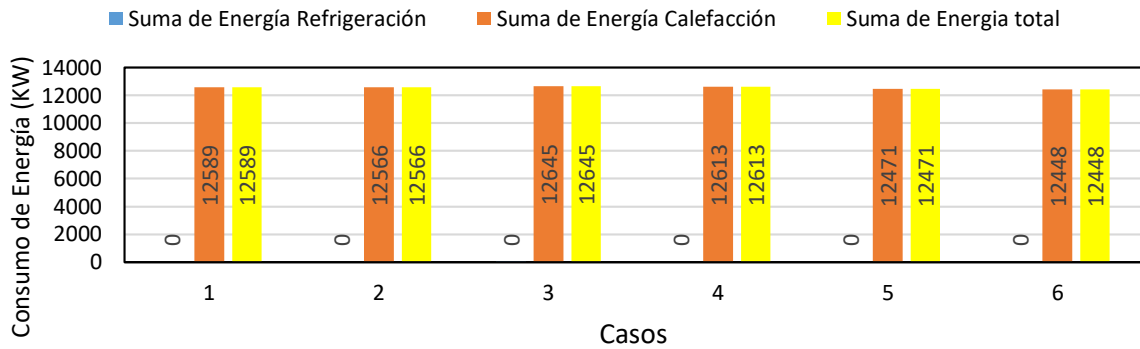


Gráfico 54: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Puerto San Julián.

Volvemos a observar grandes consumos al encontrarnos en esta localidad, como paso en la vivienda Aimé. Pasamos al análisis de la zona 6 con Bariloche.

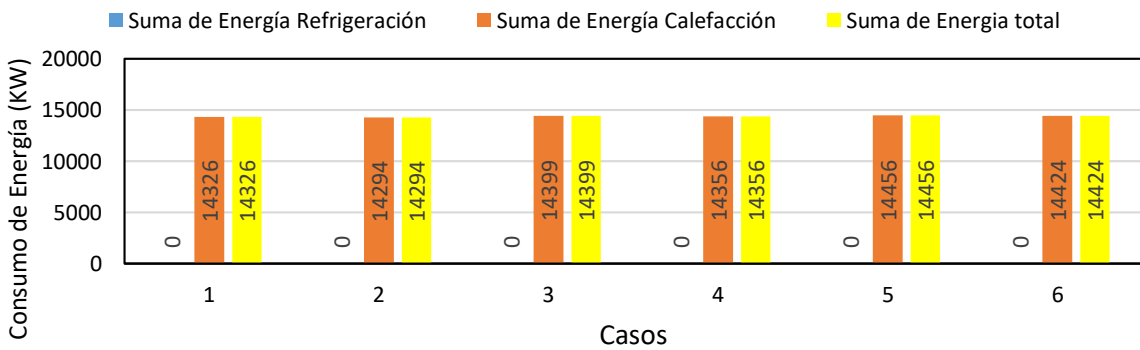


Gráfico 55: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Bariloche.

Tenemos grandes valores de energía requerida, siendo puramente de calefacción. Vemos la última localidad.

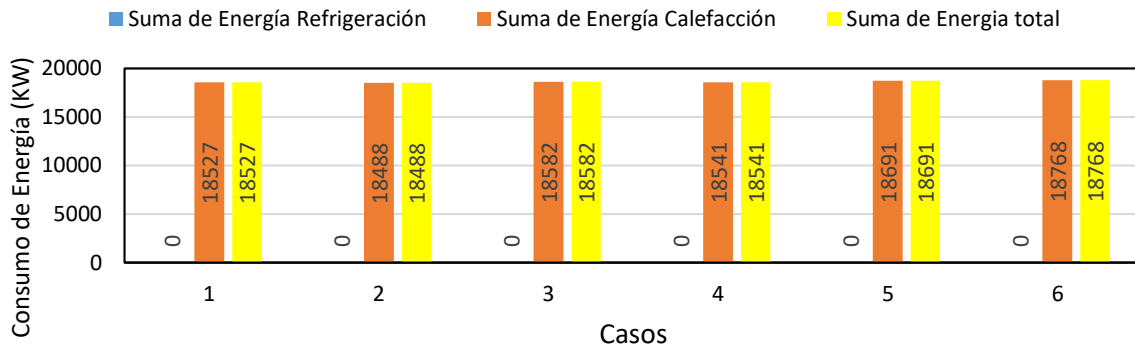


Gráfico 56: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Alfonsina. Localidad Ushuaia.

Vuelve a ser la que más requiere energía, ya que también es la que tiene las menores temperaturas. Por lo tanto, es lógico que ocurra esto.

Analizamos la última vivienda, la denominada Milagros. Comenzamos, para esto, con la localidad de Iguazú.

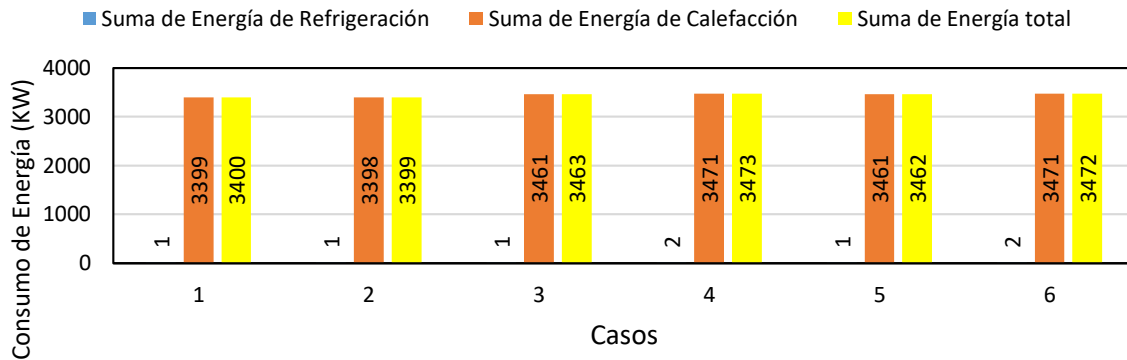


Gráfico 57: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Sáenz Peña.

Encontramos un comportamiento similar al de la vivienda Alfonsina, aunque con resultados un poco más desfavorables. Esto se explica porque esta vivienda cuenta con un menor perímetro expuesto y una menor superficie vidriada en comparación con la anterior. Dado que lo que más necesitamos es calefacción, esto no contribuye a mejorar el confort térmico.

Seguimos con la localidad que se encuentra en la provincia de Misiones.

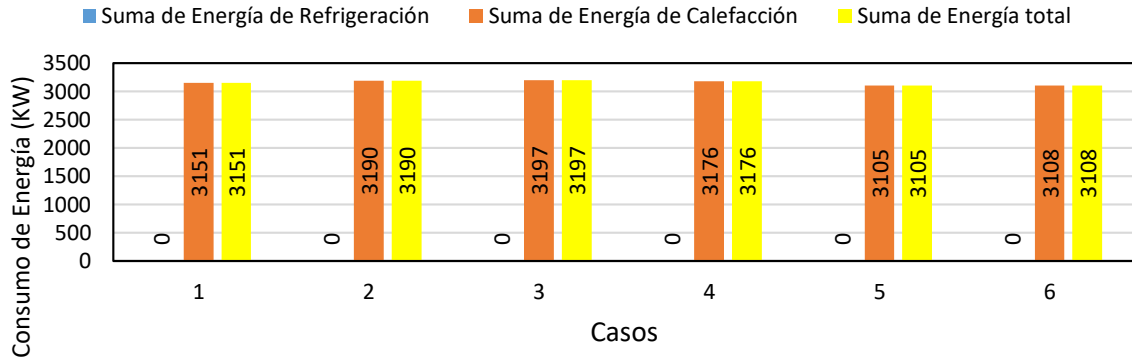


Gráfico 58: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Iguazú.

Valores muy similares a los de la localidad anterior, con apenas diferencia siendo un poco inferior.

Comenzamos en análisis de la zona 2 con la localidad de Tartagal.

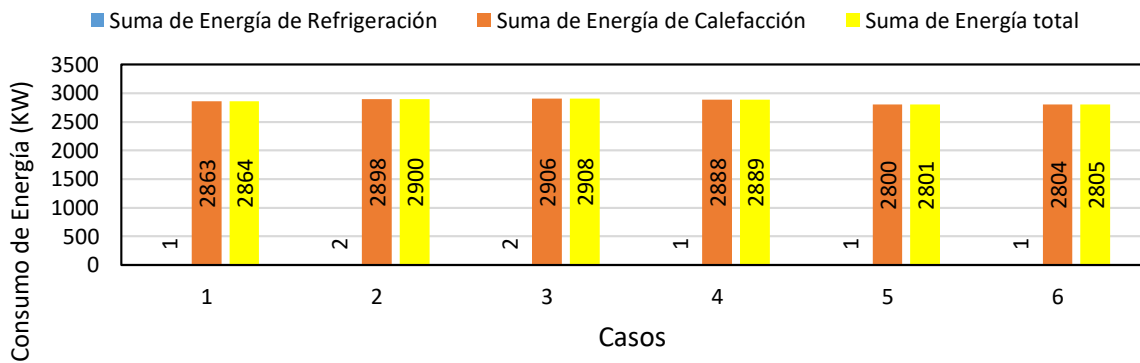


Gráfico 59: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Tartagal.

Valores similares a los encontrados en las otras dos localidades, e incluso menores. Este patrón se repitió en todos los tipos de vivienda, lo que denota que, a pesar de estar en la zona 2, la influencia de la radiación solar del noroeste argentino es más considerable que en las otras localidades.

Pasamos a Santa Fe.

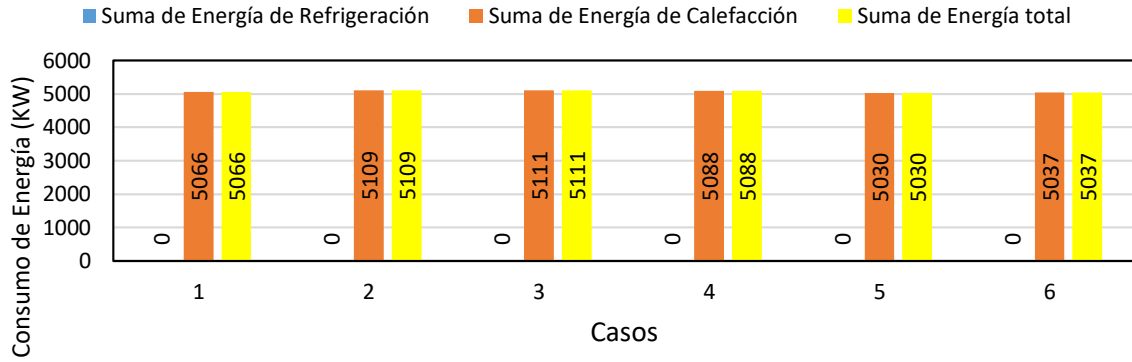


Gráfico 60: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Santa Fe.

Comienza a ser más bastante superior el consumo de calefacción que para los otros casos, a pesar de seguir estando en la zona 2.

Vemos a continuación la zona 3.

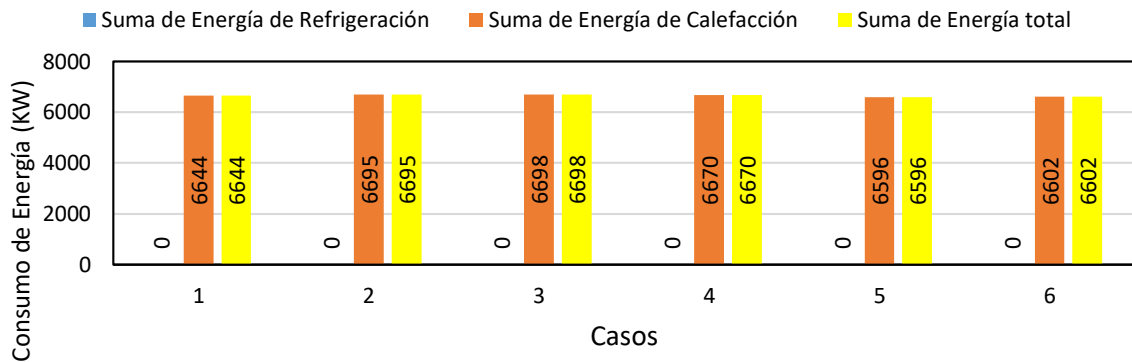


Gráfico 61: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Córdoba.

Se siente más la necesidad de calefaccionar que las otras localidades siendo el aumento del orden del 50 con respecto a Santa Fe. Analizamos CABA.

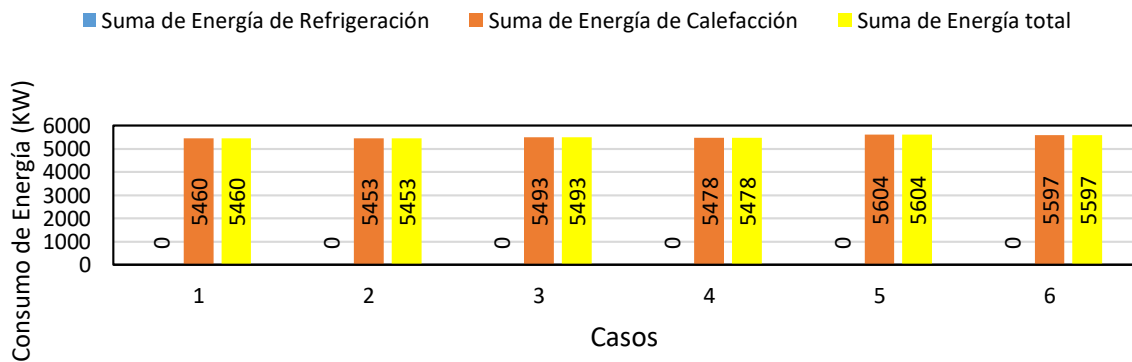


Gráfico 62: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad CABA.

Aunque un poco menor, siguen siendo parecidos a los valores encontrados para la capital de Córdoba. Comenzamos la zona 4 con Tinogasta en Catamarca.

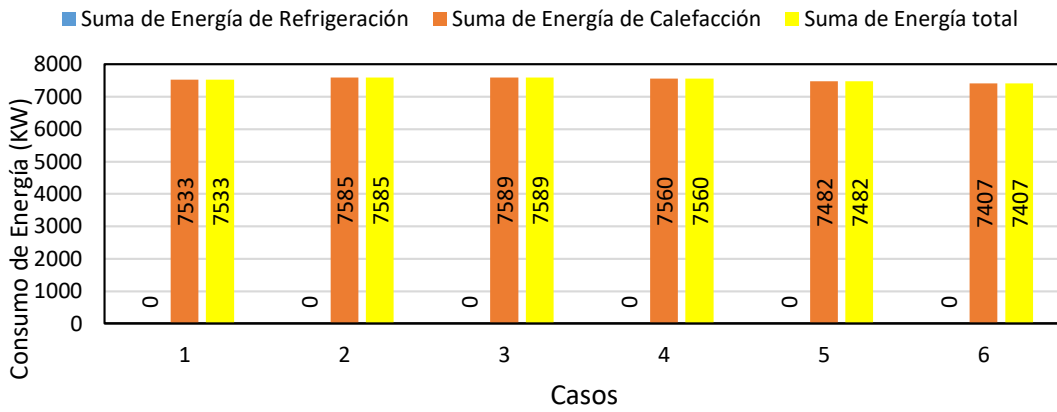


Gráfico 63: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Tinogasta.

Comienza a ser superior la energía requerida que para las otras localidades. Pasamos a la provincia de Mendoza.

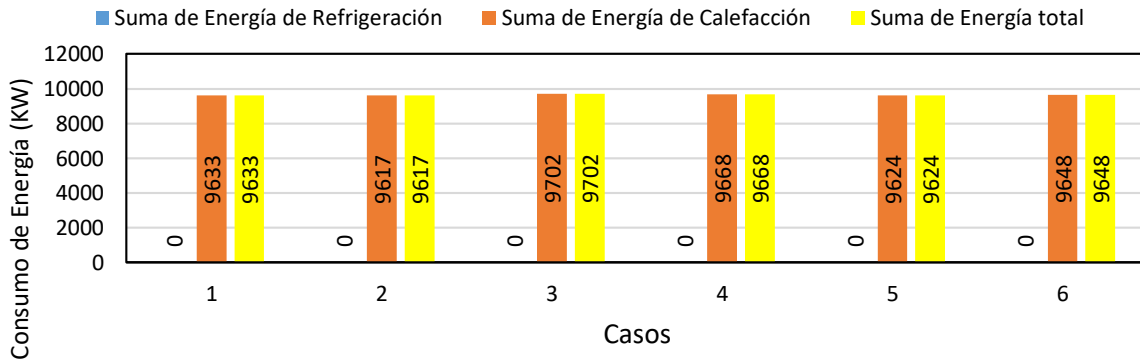


Gráfico 64: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad San Carlos.

Tenemos el mayor valor hasta el momento. La tendencia sigue siendo idéntica a las viviendas que analizamos anteriormente, siendo un poco superior a la construcción Alfonsina por se distribuye esta vivienda.

Continuamos con Tandil.

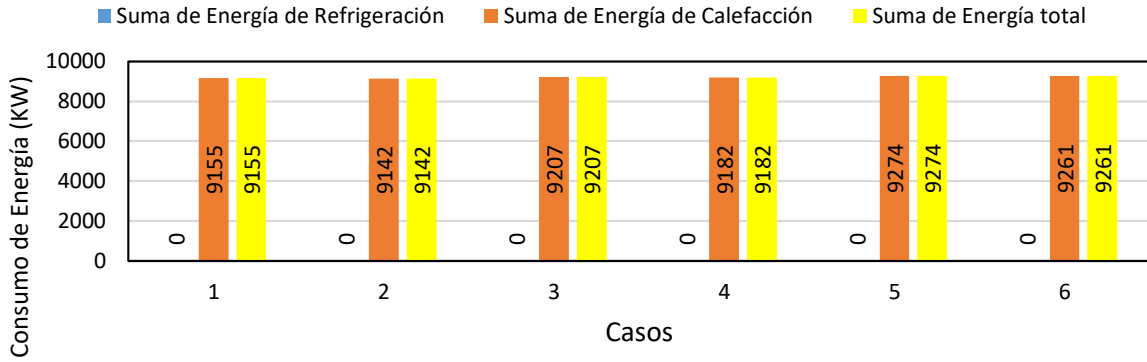


Gráfico 65: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Tandil.

Los valores son muy similares a los que encontramos en San Carlos, siendo un poco inferiores por mínima diferencia. Vemos la ciudad de Mar Del Plata.

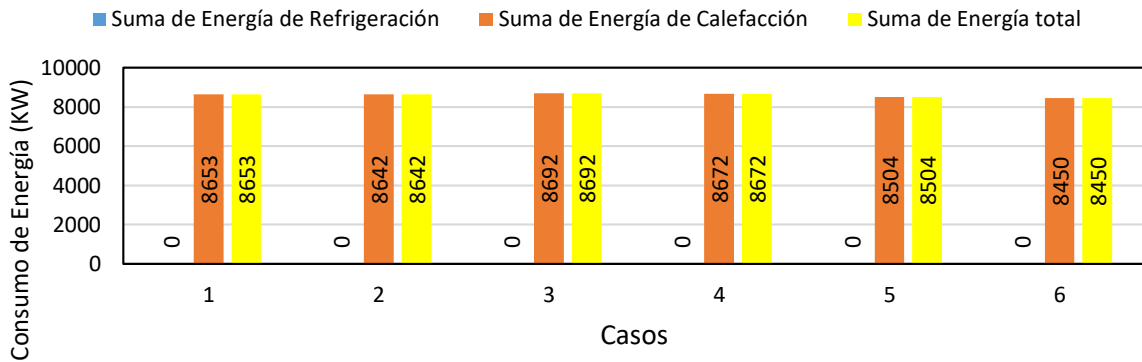


Gráfico 66: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Mar Del Plata.

Vuelve a ser un poco más baja que lo que vimos antes, como se repitió en todos los tipos de construcciones que analizamos. Pasamos ahora a Pico.

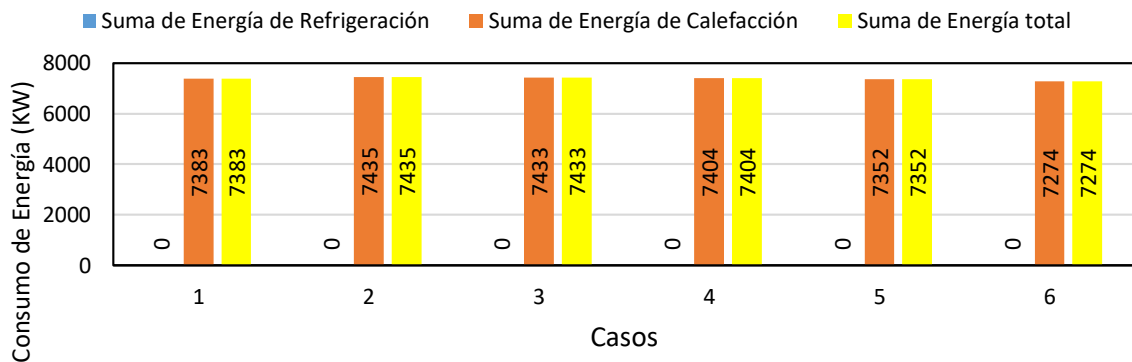


Gráfico 67: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Pico.

Valores inferiores a los de la zona 4, a pesar de estar en la 5 como sucedió en las otras viviendas. Esto por cantidad de sol que irradia en el noroeste argentino. Continuamos con nuestra próxima localidad.

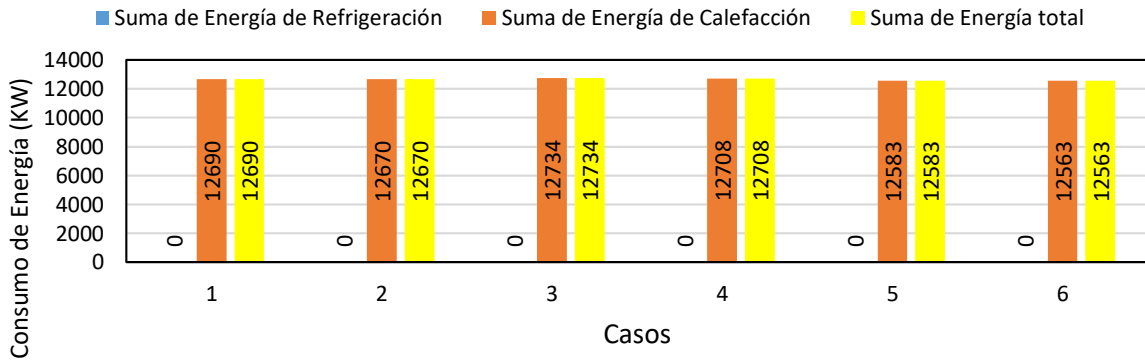


Gráfico 68: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Puerto San Julián.

Vuelve a ser una localidad muy demandada en cuanto a la calefacción, denotando las bajas temperaturas y la exposición a posibles vientos oceánicos que se encuentra esta localidad.

Pasamos a la zona 6 con Bariloche.

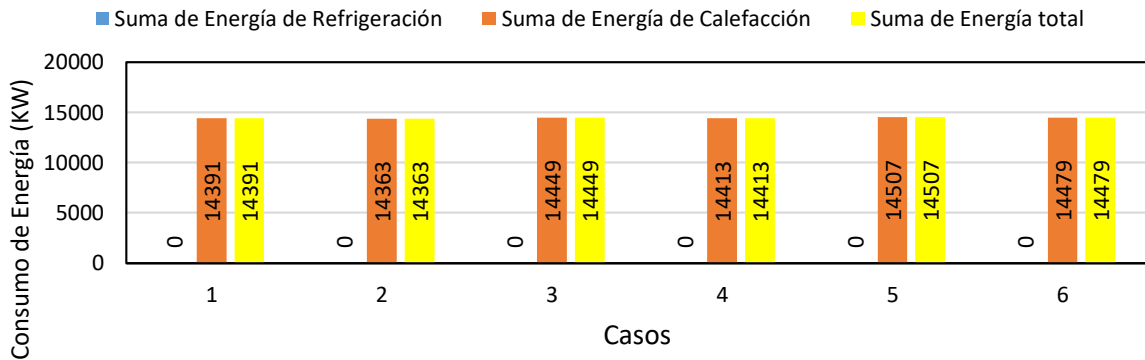


Gráfico 69: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Bariloche.

Comenzamos a tener los valores más grandes de energía, debido a la baja temperatura característico de la Patagonia. Pasamos a la última localidad.

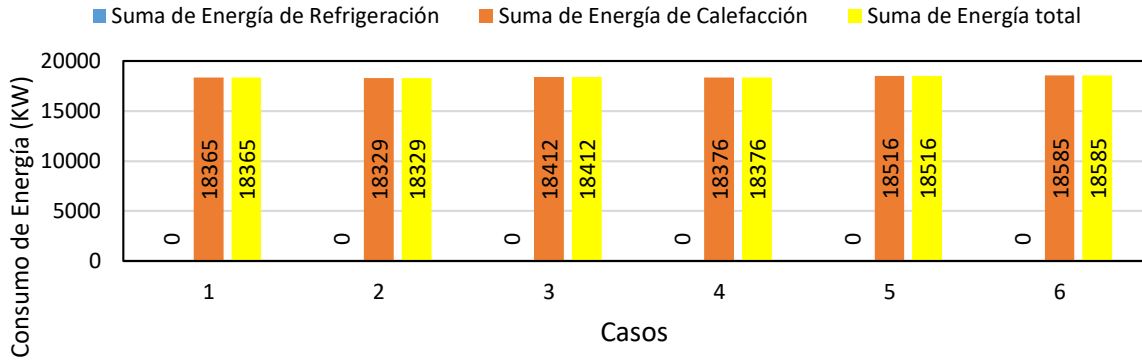


Gráfico 70: Energía consumida para cada combinación de casos. Vivienda Milagros. Localidad Ushuaia.

Volvemos a tener los máximos valores de requerimiento energético, ya que al estar en la ciudad más austral las temperaturas son demasiado bajas.

6.3.2. Modelo 2: considerando la ocupación.

Utilizaremos ahora el segundo modelo, el cual considera el factor de uso en las habitaciones. Se trabajará de la misma manera que se hizo anteriormente, solo variando el enfoque habitacional:

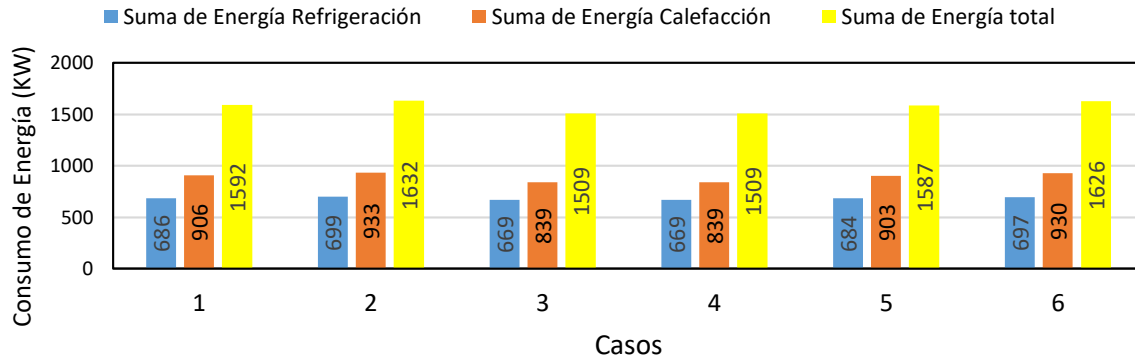


Gráfico 71: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Sáenz Peña.

Vemos para este primer caso que la energía requerida se reparte equitativamente entre calefacción y refrigeración, siendo la primera la que predomina. También podemos observar que el consumo, comparación a cuando no había uso disminuyo considerablemente.

Seguimos con la localidad de Iguazú.

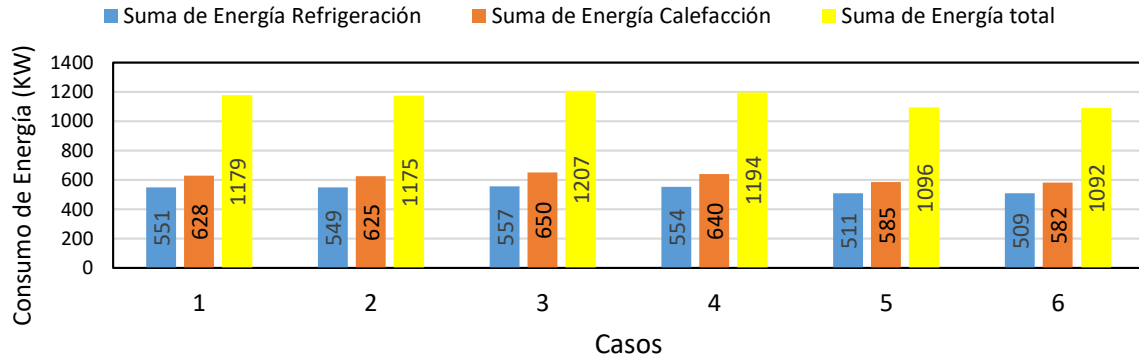


Gráfico 72: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Iguazú.

Disminuyen ambos consumos en comparación a la otra localidad, y se comienzan a asemejar aún más la cantidad de cada tipo de energía requerida. Proseguimos con Tartagal.

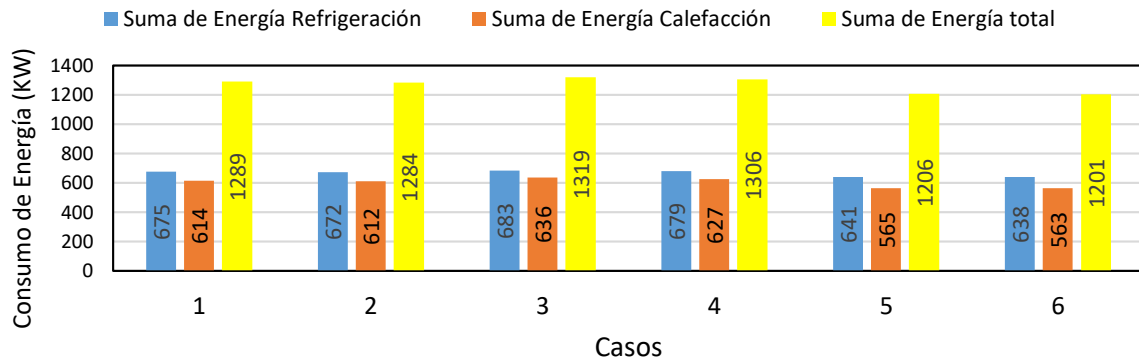


Gráfico 73: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Tartagal.

En este caso, la energía solicitada para refrigerar es mayor a la que se utiliza para calentar la vivienda, la cantidad total es similar a los otros dos casos. A continuación, vemos a la ciudad de Santa Fe.

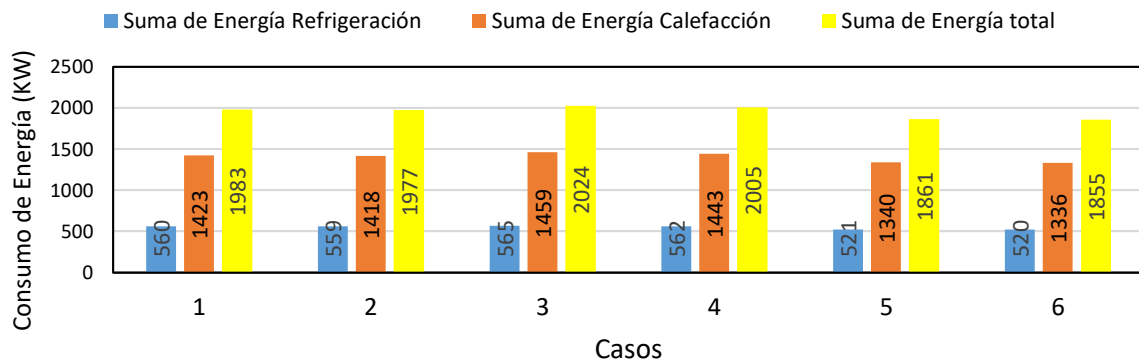


Gráfico 74: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Santa Fe.

En esta podemos ver mayor consumo que los casos anteriores, siendo mayoritariamente el consumo para calefaccionar, aunque con un considerable aporte de energía para disminuir la temperatura. Seguimos nuestro análisis en la zona 3

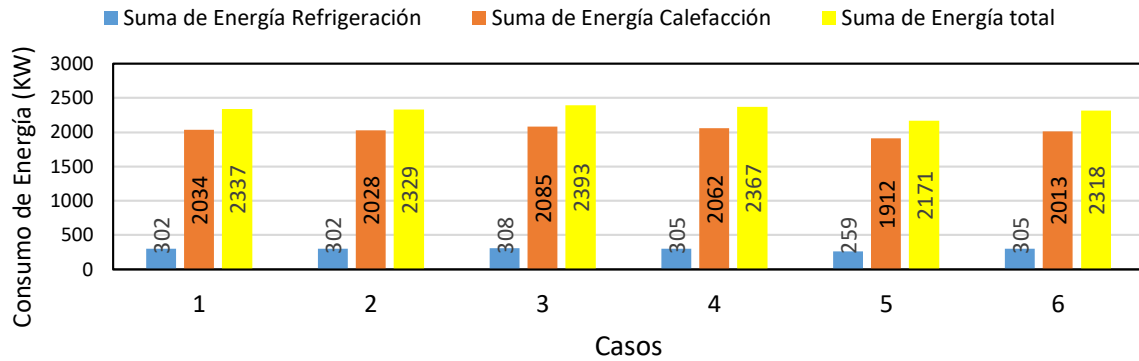


Gráfico 75: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Córdoba.

En este caso, la energía para refrigerar es baja en comparación a los demás y comienza a tomar una gran importancia la de calefacción. Comenzamos a ver valores de energía total requerida superior a los que veníamos trabajando para este modelado.

Continuamos con CABA.

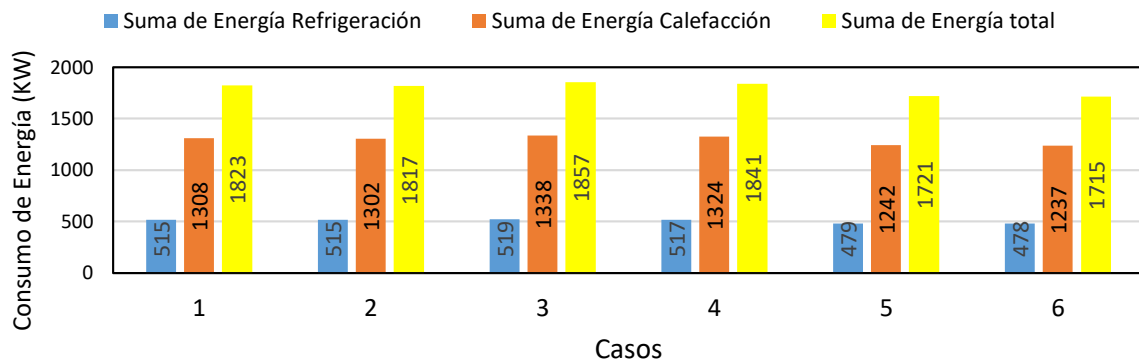


Gráfico 76: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad CABA.

Esta tiene valores similares a Santa Fe en cuanto a la refrigeración se trata. Y valores un poco superiores a la ciudad mencionada anteriormente, dejando en evidencia que la temperatura en meses fríos es más baja que en esta.

Vemos ahora la localidad de Tinogasta.

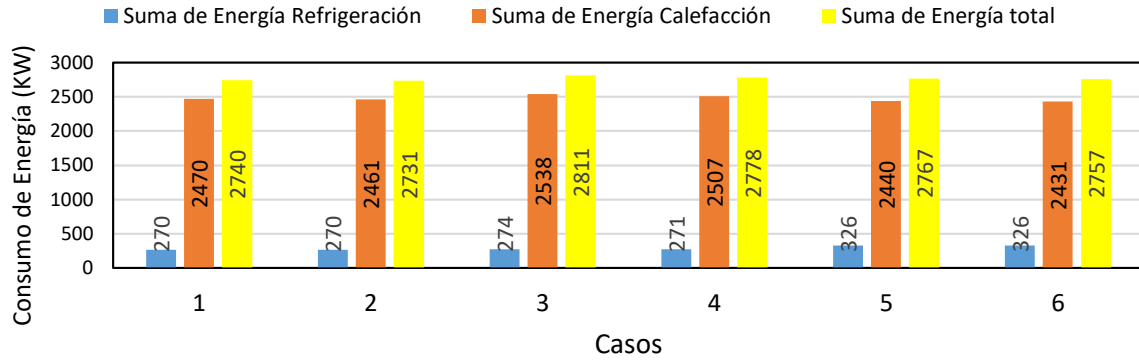


Gráfico 77: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Tinogasta.

Aumenta la energía de calefacción con los casos anteriores, la de refrigeración por el contrario decae. Nos da como resultado un consumo de energía total superior a lo que veníamos trabajando. Seguimos nuestro análisis con la localidad que se encuentra en Mendoza.

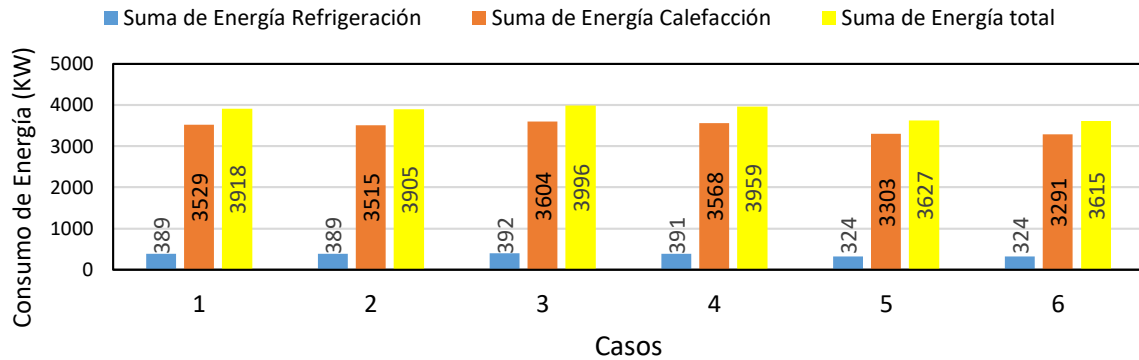


Gráfico 78: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad San Carlos.

Aumenta ambos consumos para este caso, tanto calefacción como refrigeración. Esto da como resultado evidente mayor uso de energía para mantener la vivienda en condiciones de confort. Podemos también apreciar que el orden de relación entre la calefacción es diez veces superior al otro.

Continuamos con Tandil.

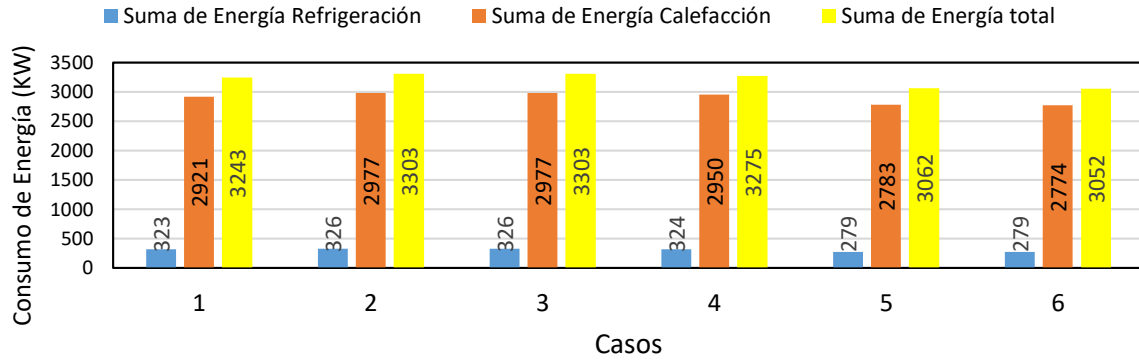


Gráfico 79: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Tandil.

Los consumos de refrigeración son similares a los vistos para San Carlos, aunque los de calefacción son levemente menor, siguiendo la misma línea que en cuanto a la relación entre ambas. Vemos el último caso de esta zona, el cual es Mar Del Plata.

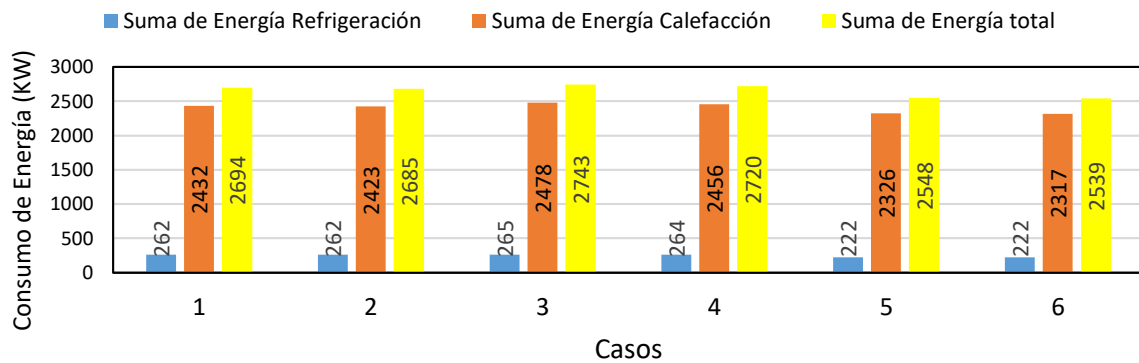


Gráfico 80: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Mar Del Plata.

Para esta localidad decae ambos consumos, aunque la ración entre los dos tipos de energía sigue siendo el mismo. Pasamos a la zona 5, donde analizamos a Pico.

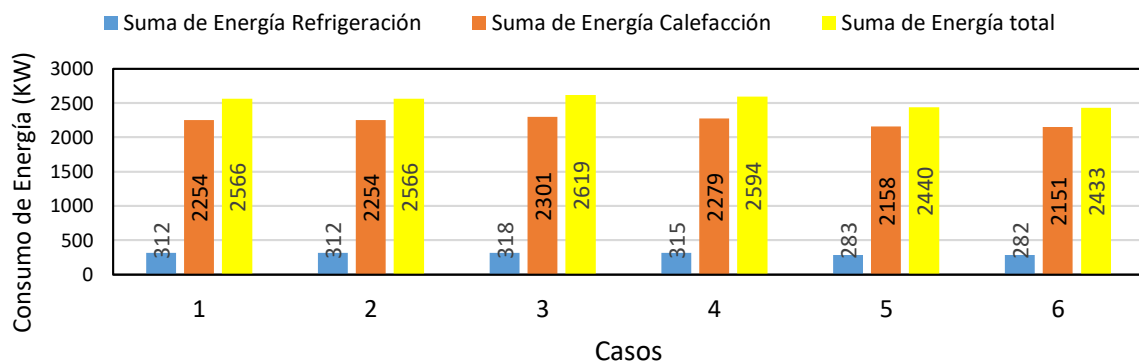


Gráfico 81: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Pico.

Vemos que se comporta similar a lo visto en las localidades de la zona anterior, con inclusive levemente mayor consumo de refrigeración. Seguimos con el Puerto de San Julián, en Santa Cruz.

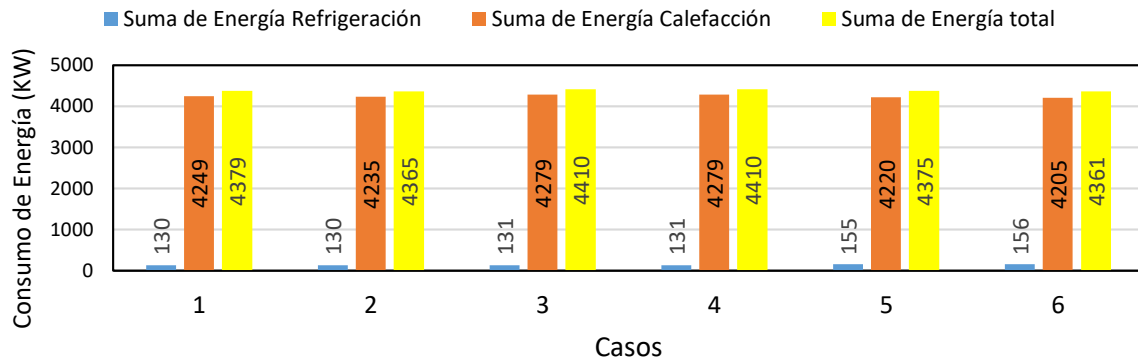


Gráfico 82: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Puerto San Julián.

Encontramos el mínimo requerimiento de refrigeración hasta el momento. Además, la necesidad de energía para calefaccionar comienza a ser considerable, siendo mucho mayor a la otra. Pasamos a Bariloche en la zona 6.

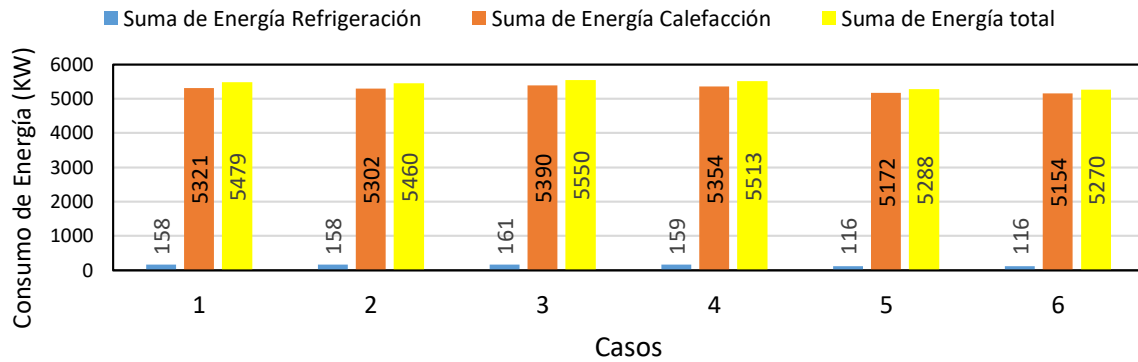


Gráfico 83: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Bariloche.

La energía de refrigeración es muy similar a lo visto en la localidad que le perseguía. En cuanto a la calefacción la demanda es superior, marcando la diferencia de zonas bioclimáticas a la que corresponde cada una de las localidades. Vemos por último la ciudad de Ushuaia.

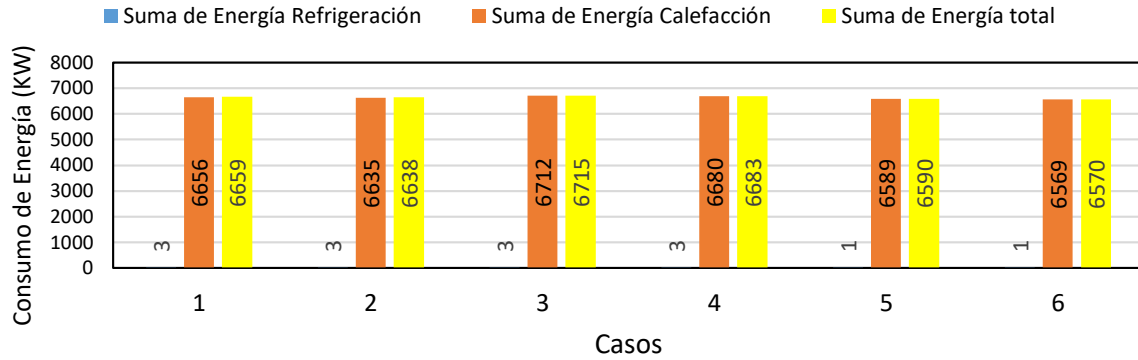


Gráfico 84: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Aimé. Localidad Ushuaia.

En esta la necesidad de refrigerar es casi nula. A pesar de esto, es la que más energía total requiere, ya que necesita mucha energía de calefacción para mantenerse en condiciones de confort.

Volveremos a analizar cada una de las localidades, pero esta vez para la vivienda Alfonsina, la cual además de cambiar la distribución de los locales, también utiliza un tipo de pesado el cual es más aislante.

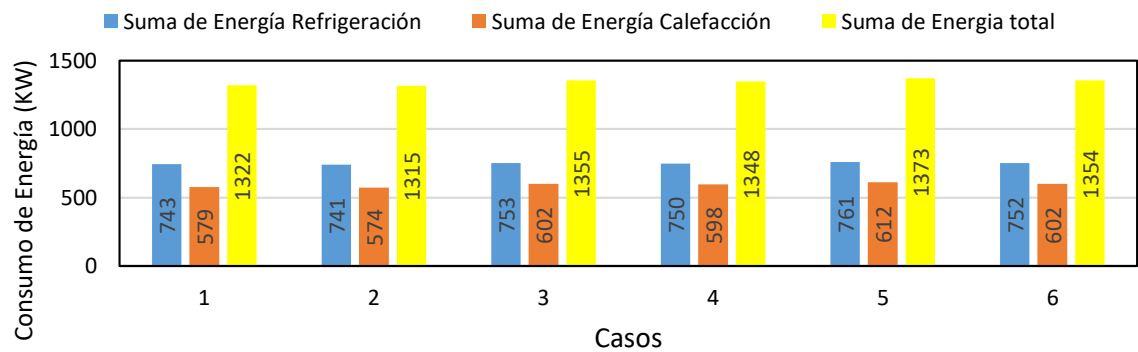


Gráfico 85: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Sáenz Peña

Para esta primera localidad podemos ver como el aumento de la resistencia en el envolvente género que decaiga el consumo de calefacción, pero a su vez, aumente levemente la energía necesaria para refrigerar. Esto por los efectos que se explicaron anteriormente. Lo que género es que ahora sea la refrigeración la que consuma más energía. Pasamos a ver qué ocurre en la localidad que se encuentra en la ciudad de Misiones.

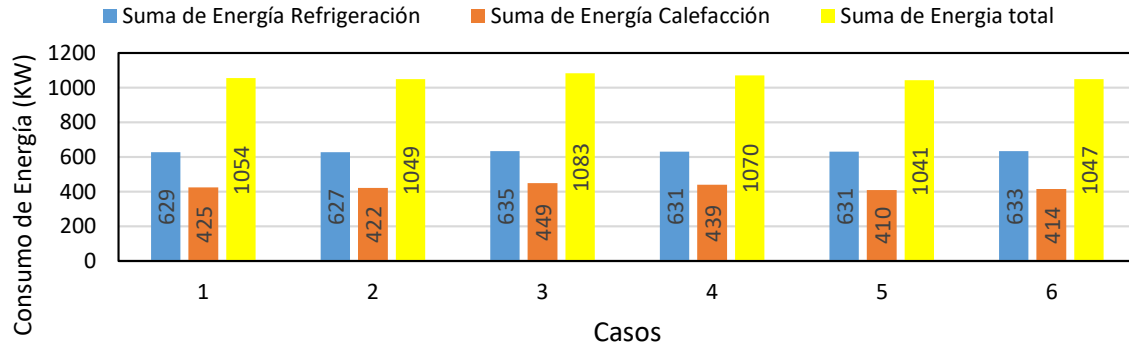


Gráfico 86: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Iguazú.

El comportamiento es el mismo, aunque esta vez los valores son menores en ambos casos, tal como ocurrió en los casos anteriores. Seguimos con la localidad correspondiente a la provincia de Salta.

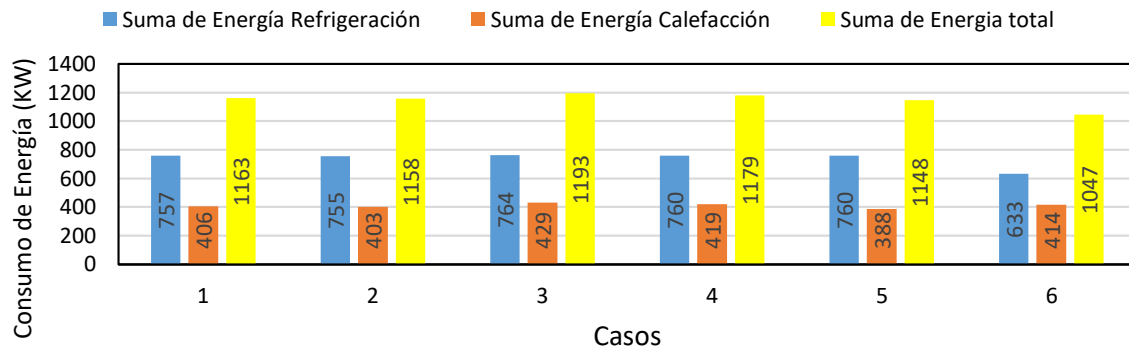


Gráfico 87: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Tartagal.

Se repite el patrón, teniendo los mayores valores de refrigeración y valores más chicos de calefacción que las otras dos anteriores. La energía total da como resultados valores similares a las localidades mencionadas anteriormente. Continuamos con la ciudad de Santa Fe.

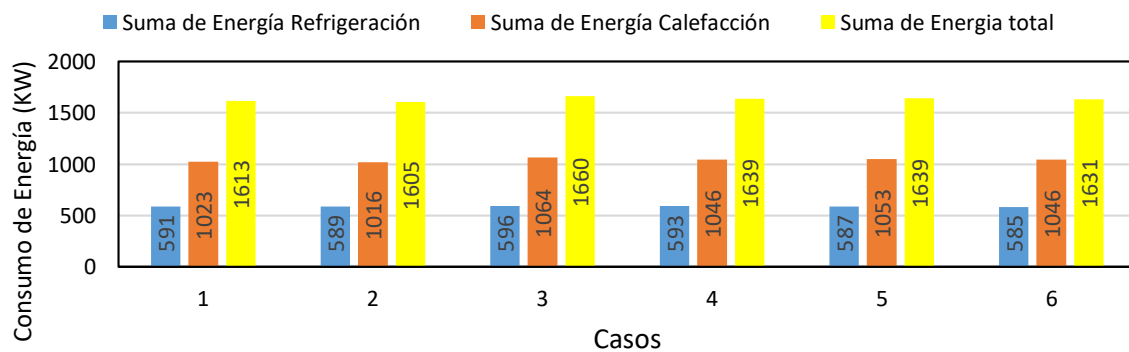


Gráfico 88: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Santa Fe.

En este caso, la calefacción es superior a la refrigeración, siendo casi el doble. La energía total es considerablemente mayor a los otros casos que vimos. Pasamos a la zona 3, comenzando por la ciudad de Córdoba Capital.

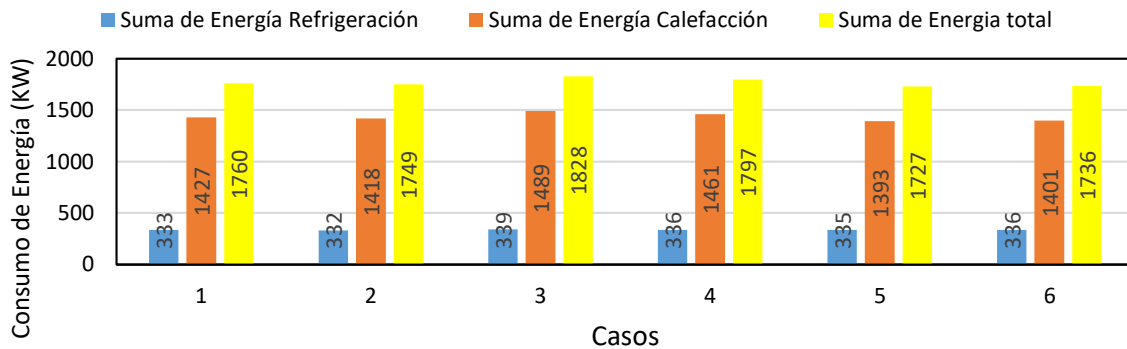


Gráfico 89: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Córdoba.

Para esta ciudad podemos ver la energía de refrigeración es bastante baja, siendo predominante la de calefacción. Además, registramos los mayores valores de las localidades vistas hasta el momento para esta vivienda. Seguimos con CABA.

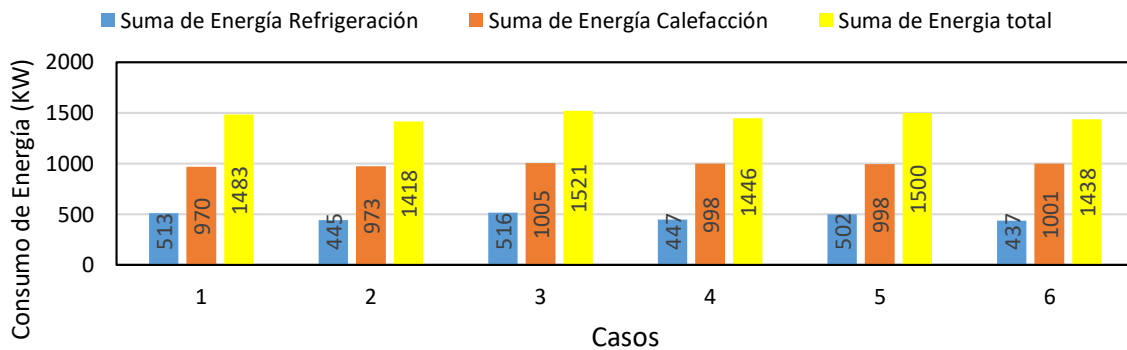


Gráfico 90: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad CABA.

En esta importante ciudad observamos un comportamiento muy similar a la capital de nuestra provincia. La energía de refrigeración es levemente inferior, caso contrario a lo que ocurre con la de calefacción. El resultado final en cuanto a consumo total es muy parecido.

Pasamos a analizar la zona 4, comenzando con Tinogasta.

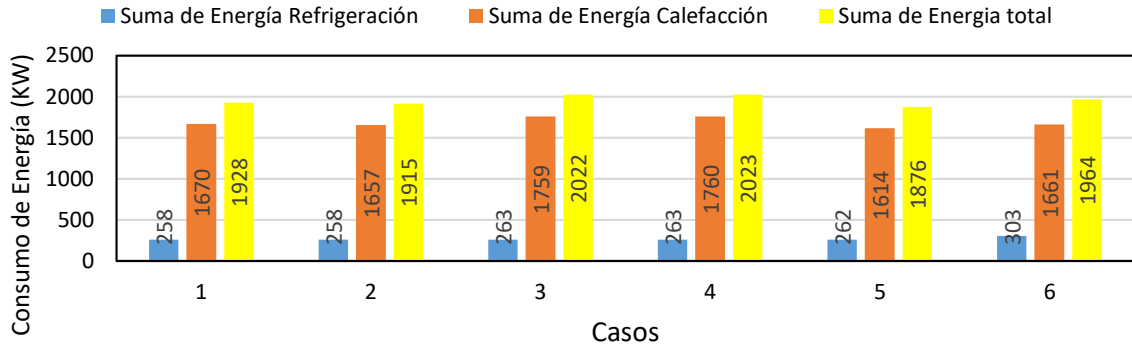


Gráfico 91: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Tinogasta.

Para esta localidad ubicada en Catamarca observamos que la energía de refrigeración es baja en comparación a las otras localidades. Donde es mayor es en la calefacción, siendo ampliamente superior al otro tipo de energía que requiere. Nos da como resultado una demanda que ronda los 200 KW. Vemos a continuación la ciudad de San Carlos, en Mendoza.

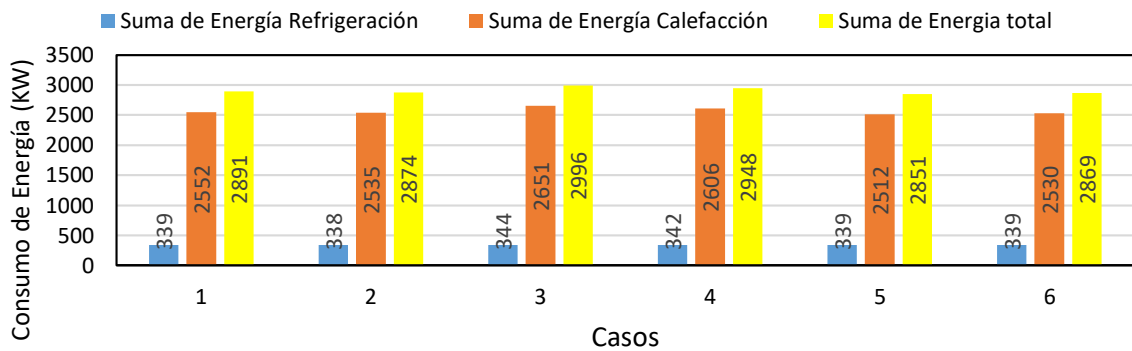


Gráfico 92: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad San Carlos.

En esta localidad observamos que tanto la energía de calefacción como la de refrigeración aumentan en comparación a la anterior. Lo que deriva en mayor consumo de energía total. Continuamos con Tandil, en la provincia de Buenos Aires.

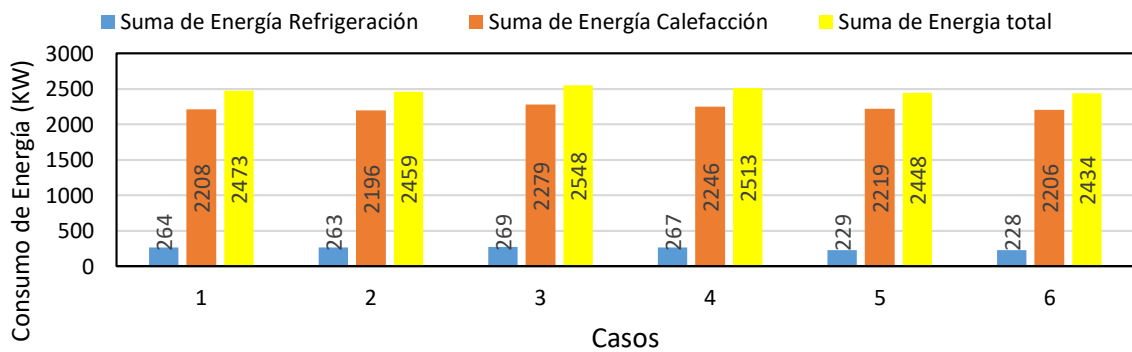


Gráfico 93: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Tandil.

La energía de calefacción es diez veces superior a la de refrigeración, como ocurre en los últimos casos analizados. En comparación a San Carlos, podemos afirmar que el consumo es menor de ambos tipos. El principal motivo de esto es que, para los meses más críticos, la ciudad mencionada anteriormente registra climas más extremos, ya sea en altas o bajas temperaturas. Esto solicita más cantidad de energía.

Continuamos nuestro análisis en la zona costera del país con Mar Del Plata.

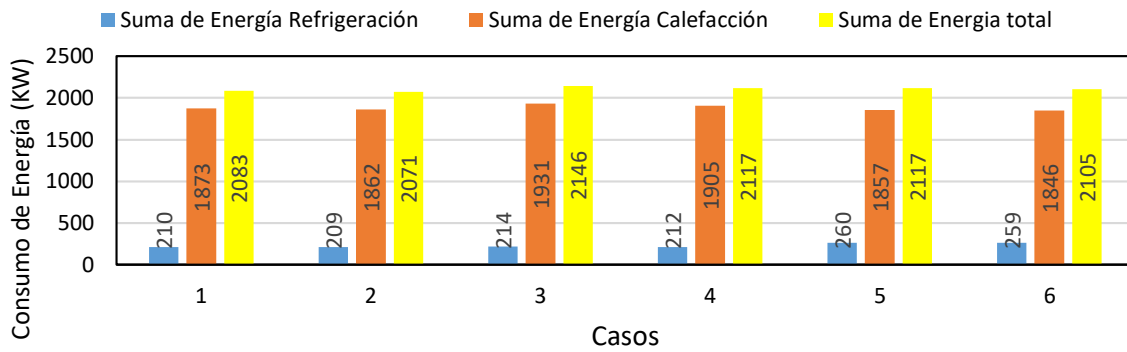


Gráfico 94: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Mar Del Plata.

El comportamiento se alinea con la tendencia de la zona, siendo en este caso ambos valores de exigencia menores al visto para la localidad anterior. Dando con resultado menor consumo total.

Pasamos a la zona 5.

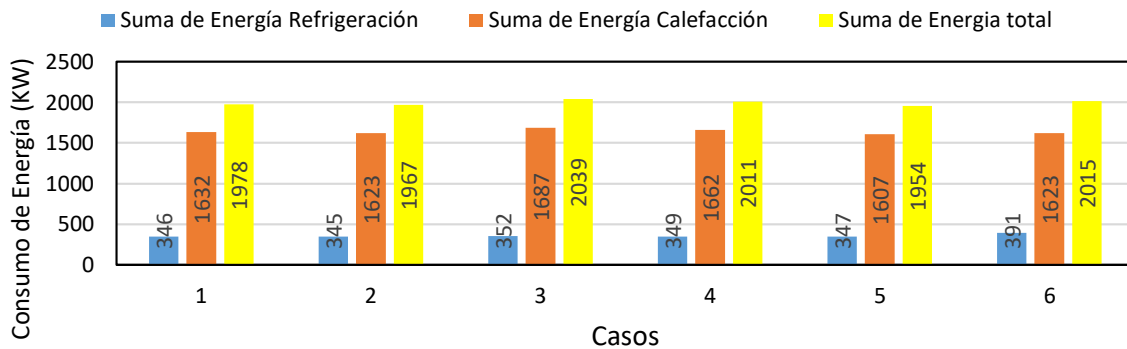


Gráfico 95: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Pico.

Como ocurrió anteriormente, esta localidad se alinea a los de la zona anterior pese a pertenecer a otra. Los valores totales de ambas energías son inclusive un poco menores que estos, esto debido al aporte de ganancia de energía por la radiación solar que irradia esta zona.

Seguimos nuestro análisis desplazándonos a Puerto de San Julián.

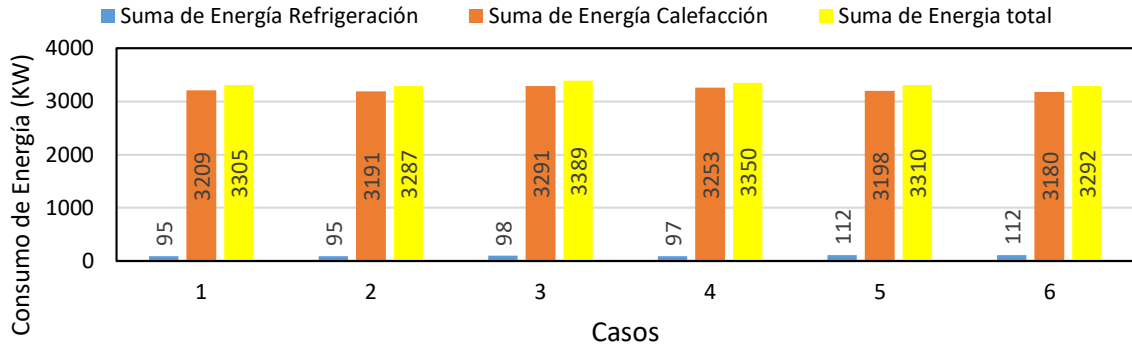


Gráfico 96: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Puerto San Julián.

La energía de refrigeración es muy baja en este caso, siendo en la gran mayoría menor a los 100 WH. En cambio, la de refrigeración supera los valores de 3000, siendo ya una demanda bastante más considerable que los otros casos.

Seguimos con la zona 6 de nuestro país.

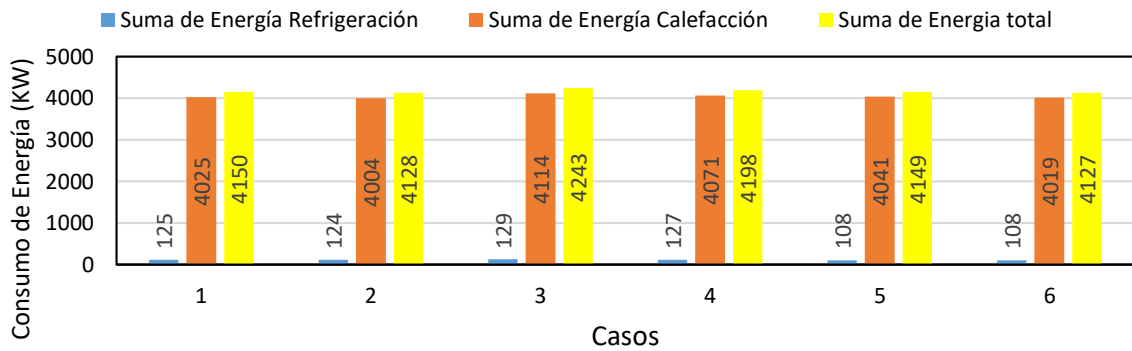


Gráfico 97: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Bariloche.

Para esta localidad vemos que aumenta la exigencia energética en consideración al caso anterior. Tanto para la calefacción como para la refrigeración.

Vemos la última localidad de nuestro análisis.

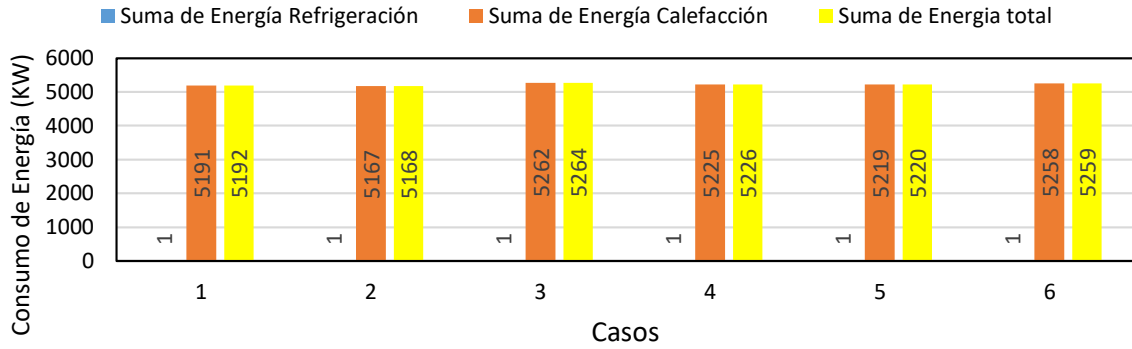


Gráfico 98: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Alfonsina. Localidad Ushuaia.

En esta la energía de refrigeración es casi nula, no superando ni siquiera la cantidad de un KW para esto. En cambio, la de calefacción vuelve a ser máxima generando que se requiera mucha más energía total para acondicionar la vivienda que gran parte de las localidades que analizamos.

Para seguir nuestro análisis, observaremos lo que ocurre en la vivienda Milagros para cada una de las localidades. Recordemos que esta tiene una relación perímetro área cubierta inferior a las otras dos, como también menor superficie vidriada. Comenzaremos con la ciudad de Iguazú.

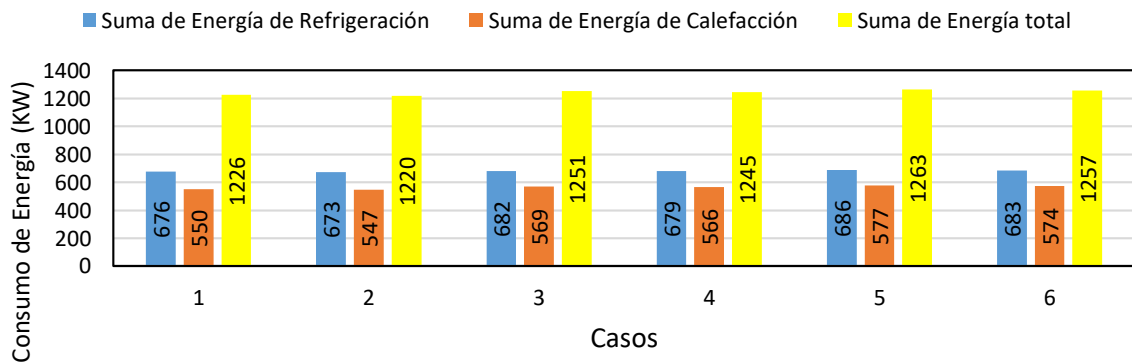


Gráfico 99: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Sáenz Peña.

En este caso la energía de refrigeración vuelve a ser superior que la de calefacción, como ocurrió en la otra vivienda con el mismo tipo de techo. Aunque este caso la energía solicitada es menor, ya que al tener menos superficie expuesta lo disminuye las pérdidas.

Pasamos a ver la localidad de Iguazú.

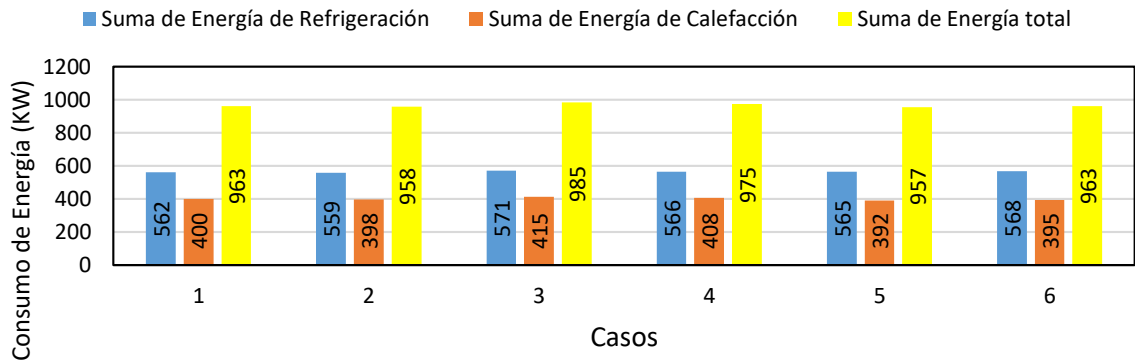


Gráfico 100: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Iguazú.

En esta localidad ocurre de manera similar a lo mencionado anteriormente, siendo en este caso inclusive menor la ganancia de temperatura en los meses cálidos. Dando como resultado menor consumo energético. Continuamos nuestro análisis con la localidad de Tartagal.

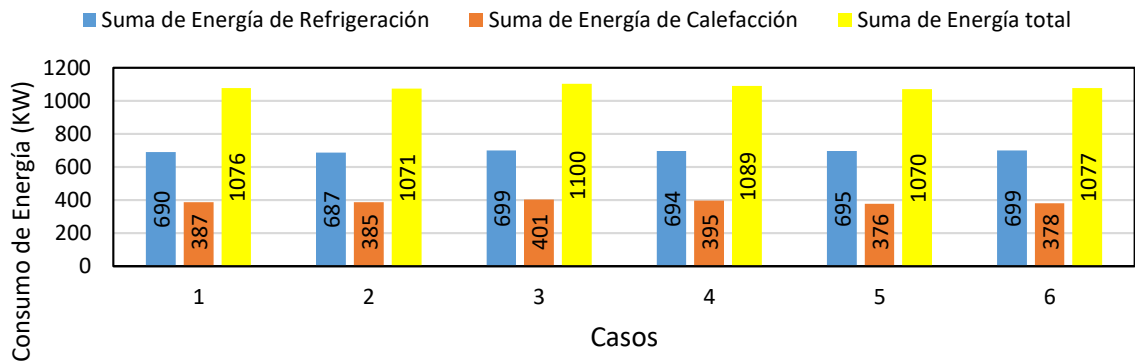


Gráfico 101: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Tartagal.

Como venía ocurriendo, aumenta la energía de refrigeración, pero decae la de calefacción en relación a las otras localidades vistas. Seguiremos el análisis en la ciudad de Santa Fe.

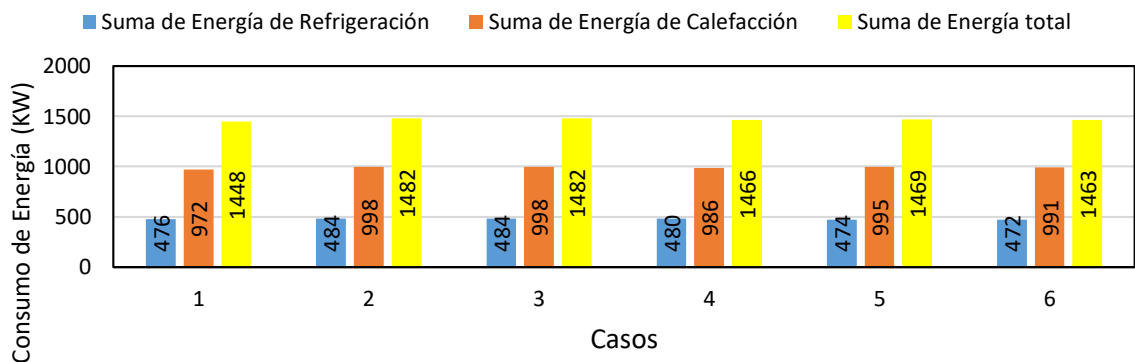


Gráfico 102: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Santa Fe.

Para esta localidad, vuelvo a repetirse que la calefacción es superior a la refrigeración, manteniendo una relación entre ambas energías del doble una de otra. En comparación a la vivienda Alfonsina para esta localidad, se observa un aumento en la cantidad de energía requerida para calefaccionar. Esto responde a que al ser menor la superficie expuesta, sumado a la menor superficie de ventanas con la que cuenta la vivienda, da como resultada una menor la ganancia por la irradiación solar para calefaccionar naturalmente.

Pasamos a la ciudad de Córdoba.

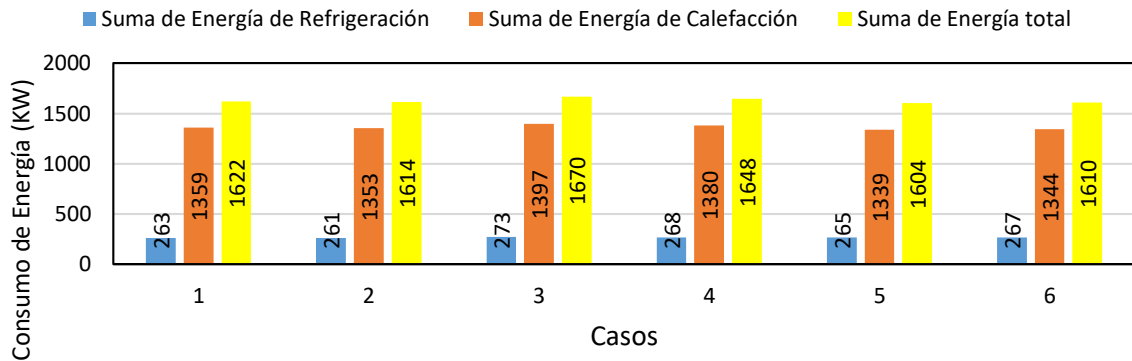


Gráfico 103: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Córdoba.

Se acentúa en esta localidad la diferencia de calefacción con respecto a la de refrigeración. Además, con respecto a la otra vivienda también ocurre que la calefacción es superior. Analizaremos la capital del país a continuación.

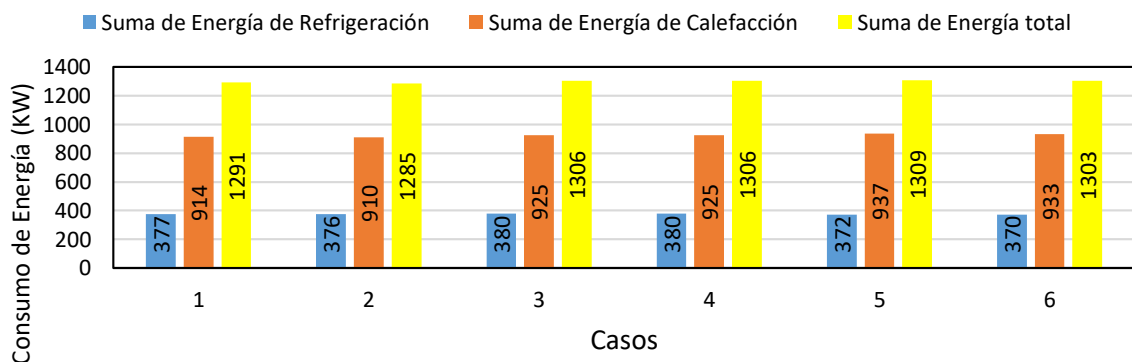


Gráfico 104: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad CABA.

Vemos que en este caso también predomina la energía de calefacción sobre la de refrigeración, ocurre la disminución de la refrigeración y aumento de la calefacción por lo ya mencionado.

Pasamos a la zona 4, comenzando por Tinogasta.

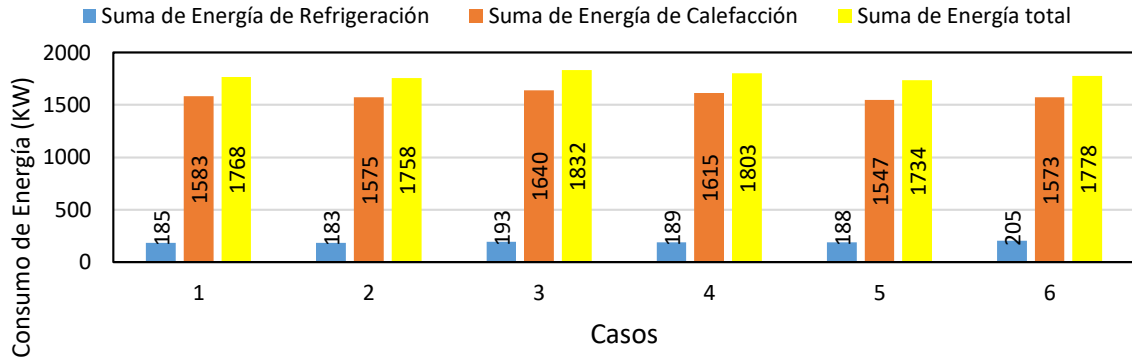


Gráfico 105: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Tinogasta.

Vemos gran disminución de la energía de refrigeración y a la vez el aumento de la calefacción, comenzando a haber una diferencia notable entre ambas. Pasamos a analizar la localidad de San Carlos.

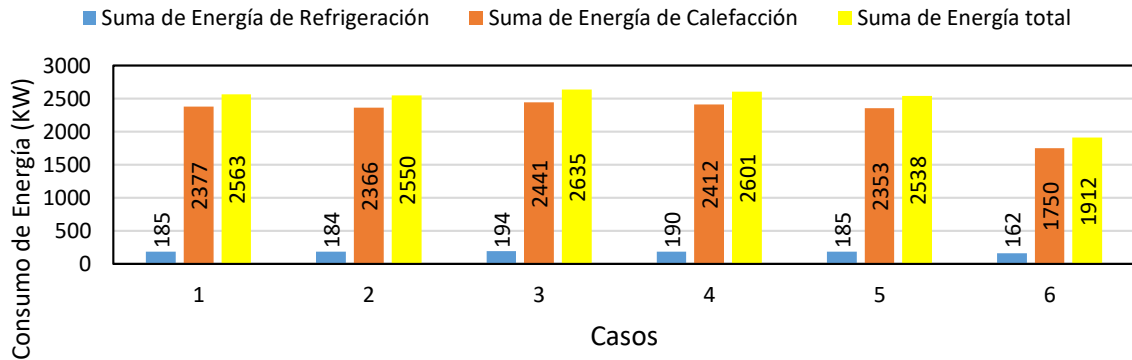


Gráfico 106: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad San Carlos.

En esta vemos una mayor diferencia entre ambas energías, tal como ocurría anteriormente en la otra vivienda. Se repite la tendencia al comparar los resultados con la vivienda Alfonsina donde la calefacción es mayor y la refrigeración menor. Pasamos a Tandil.

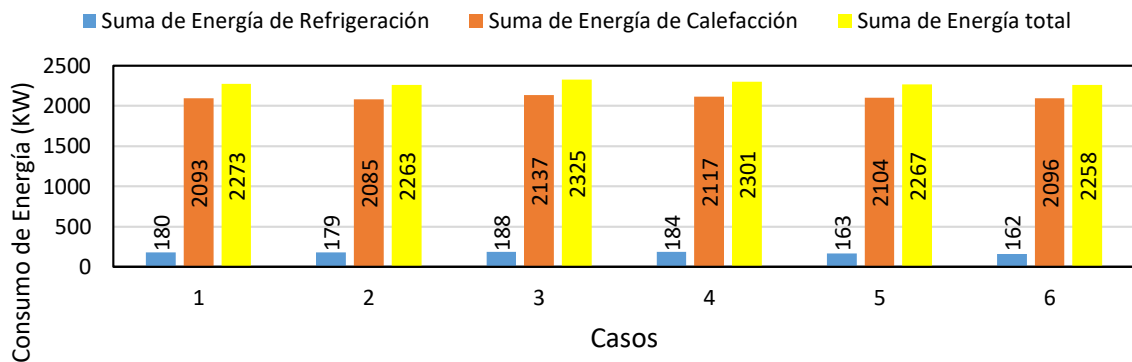


Gráfico 107: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Tandil.

Al igual que para las otras configuraciones, volvemos a observar baja consumo de energía para refrigerar y alta para calefaccionar, siendo notable la diferencia entre ambas. Pasamos a Mar Del Plata.

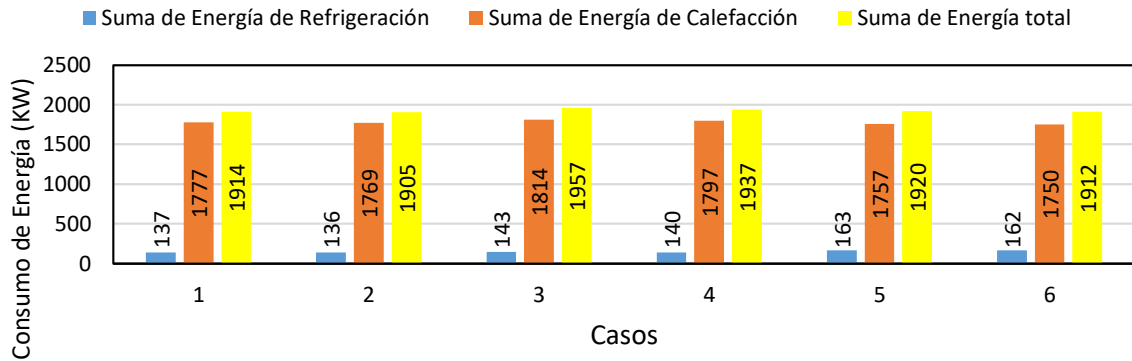


Gráfico 108: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Mar Del Plata.

Cae el consumo de ambas energías en relación a la localidad anterior. Sigue habiendo una gran diferencia entre ambos tipos de energía, predominando la de calefacción. Ocurre lo mismo que ya se mencionó en relación a la otra vivienda.

Analizamos ahora la zona 5.

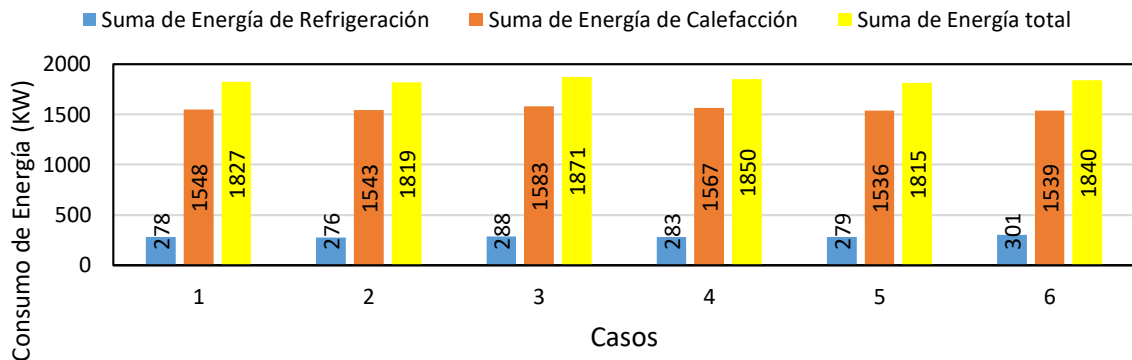


Gráfico 109: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Pico.

Se aprecia un mayor consumo de energía de refrigeración con respecto a las localidades de la zona 4, también el consumo de calefacción es inferior a las viviendas de dicha zona. Podemos observar que sigue predominando la energía para calefaccionar sobre el otro tipo. Continuamos nuestro análisis con la localidad ubicada en Santa Cruz.

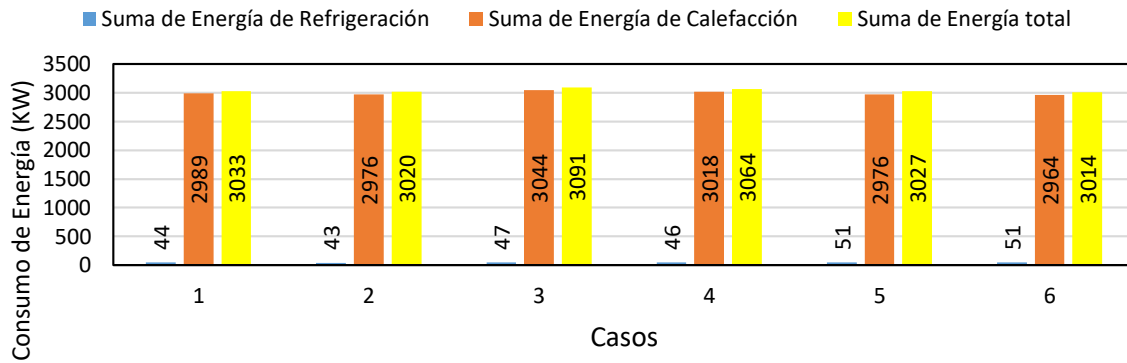


Gráfico 110: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Puerto San Julián.

En esta localidad vemos como ya la refrigeración es casi nula, y empieza a ser muy elevada la calefacción, encontrando valores de energía total superior al resto de localidades.

Analizamos Bariloche, perteneciente a la última zona.

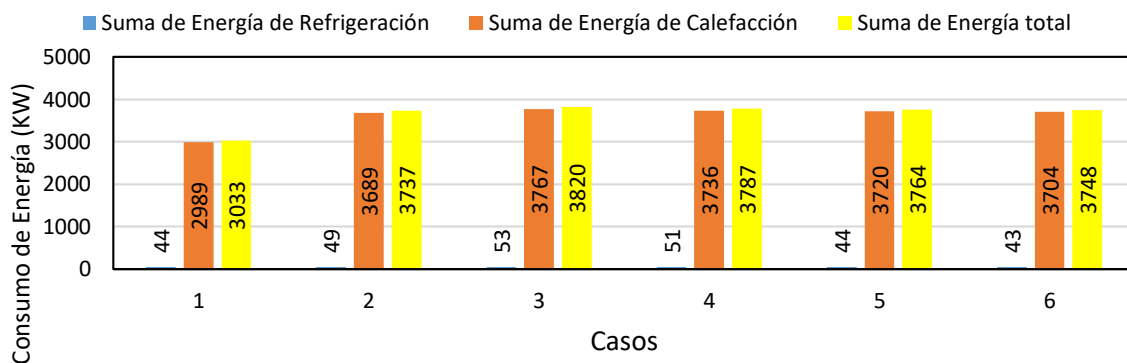


Gráfico 111: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Bariloche.

La refrigeración es muy baja, con valores que rondan los 50 KW. Mientras que la calefacción toma gran importancia, teniendo valores muy elevados. Se distingue el primer caso como el mejor, el cual tiene resultados más óptimos con una diferencia considerable con respecto a los demás. Seguimos nuestro análisis en la ciudad de Ushuaia.

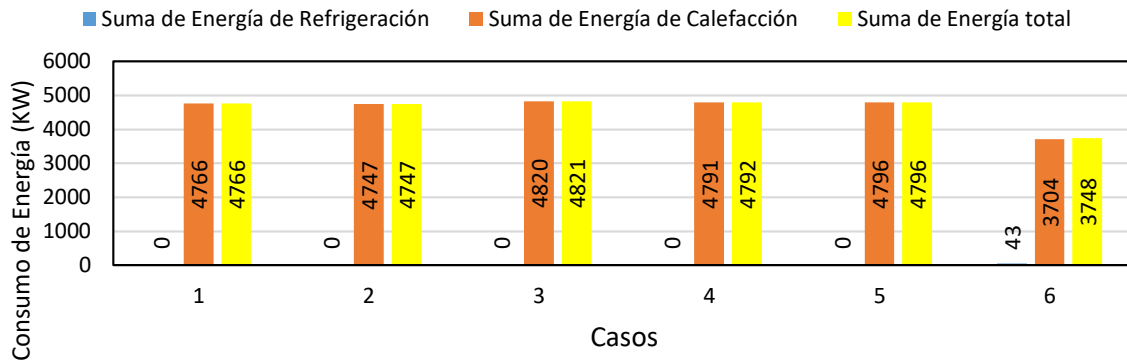


Gráfico 112: Energía consumida para cada combinación de casos con uso. Vivienda Milagros. Localidad Ushuaia.

Vuelve a ser la localidad que más energía consumo de todas, siendo la única que se utiliza la calefacción.

Vemos que, en el segundo modelado, los resultados se comportan con mayor concordancia a la realidad. Siendo el uso de energía mixto en la mayoría de regiones y con valores más acorde a lo que realmente se consumió en cada una de las regiones.

El análisis comparativo entre las dos pruebas realizadas permitió profundizar en el impacto del factor de uso sobre el comportamiento energético de una vivienda. En la primera simulación, que considera la casa vacía sin ocupación ni carga interna asociada, se mantuvieron las características físicas de la envolvente sin contemplar el uso real de los espacios. Los resultados reflejaron una tendencia que, si bien es útil para estudiar el desempeño térmico básico de la envolvente, no representa con precisión las condiciones reales de ocupación.

La incorporación del factor de uso en la segunda prueba en la que se consideró la ocupación y las ganancias térmicas internas, reflejó un escenario mucho más alineado con la realidad. Los resultados muestran un consumo de energía más acorde a lo que realmente sucede en una vivienda habitada, donde los sistemas de climatización responden únicamente cuando los espacios están ocupados. Este comportamiento, que representa mejor la realidad diaria de los usuarios, indica que el consumo energético no depende solo de las características constructivas, sino también de cómo se utilizan los espacios. Este hallazgo pone de relieve ciertas consideraciones que en muchos análisis son pasados por alto, como los propuestos por el reglamento IRAM, que suelen evaluar la eficiencia energética de la envolvente de las viviendas basándose únicamente en sus características físicas, sin considerar el impacto del factor de uso. Este hallazgo resalta la importancia de un estudio dinámico de la vivienda, que permita evaluar no solo las características físicas de la envolvente, sino también el impacto del uso real de los espacios en el consumo energético.

Podemos concluir que el análisis de la eficiencia energética de la envolvente debe integrar tanto los factores físicos como los patrones de uso reales. Solo así se podrán tomar decisiones más acertadas en el diseño de viviendas que se adapten mejor a las condiciones reales de los ocupantes y de su entorno.

En cuanto a la eficiencia energética de las diferentes combinaciones que se probaron en cada vivienda, no generaron reducciones significativas en el consumo de energía. Observamos que todos los modelos compartían un mismo paquete de techo y, en general, un factor SHGC similar, lo que

sugiere que estos elementos podrían ser los principales determinantes en la reducción de la temperatura interna de la vivienda.

Por otro lado, las variaciones en los paquetes de muros, no resultaron en cambios notables en el uso energético. Esto se debe, en parte, a que todos los paquetes contaban con un buen nivel de aislamiento térmico, lo cual mantuvo su eficiencia en términos de consumo energético sin importar las variaciones realizadas.

7. COMPARATIVA DE MÉTODOS COMPUTACIONALES CON METODOLOGÍA DE REGLAMENTO IRAM

A continuación, presentaremos una comparación entre los métodos estadísticos y estáticos que actualmente utiliza el reglamento IRAM para estimar el consumo energético, en contraste con los métodos dinámicos, específicamente a través de herramientas de simulación computacional, como lo es EnergyPlus.

Es importante señalar que el reglamento IRAM no define un método específico para calcular el consumo energético anual de una vivienda. En cambio, establece un procedimiento que determina la demanda energética máxima requerida para alcanzar condiciones de confort en una zona térmica, ya sea para calefacción o refrigeración. Este enfoque permite luego la selección de un equipo de climatización capaz de satisfacer dicha demanda. Por ello, se ha decidido aplicar esta metodología de cálculo y compararla con los valores obtenidos a través de métodos computacionales dinámicos, buscando evaluar la precisión y aplicabilidad de ambos enfoques

Para poder comparar los resultados obtenidos por ambos métodos lo que haremos es escoger una sola vivienda, y calcular el consumo máximo de energía de refrigeración y de calefacción para la hora más solicitada del año por ambos métodos. Este análisis lo haremos en dos localidades de diferente clima, como son la localidad de Santa Fe y la de Ushuaia con el fin de poder ver cuál es la precisión en zonas dispares entre sí.

Para el cálculo según el reglamento, utilizaremos las fórmulas y planillas que este proporciona para evaluar la demanda energética. En cuanto al análisis con software, identificaremos la hora de mayor consumo del año tanto para calefacción como para refrigeración en cada zona térmica equipada con sistemas HVAC, específicamente en las habitaciones y en la cocina-comedor. Este enfoque comparativo nos permitirá observar cómo cada método representa las condiciones de carga máxima en los distintos espacios de la vivienda.

El análisis se realizará en la vivienda modelo “Alfonsina” para las ciudades de Santa Fe y Ushuaia. En ambos casos, la construcción estará compuesta por una combinación de elementos de envolvente específica: el paquete de muro 12, el paquete de techo 6, y ventanas con un factor U de 2.23. La principal diferencia entre ambas localidades será el valor del coeficiente de ganancia solar (SHGC): se empleará un valor de 0.3 en Santa Fe y de 0.9 en Ushuaia para ajustar las características de absorción solar según el clima de cada región.

Comenzamos determinando el tipo energía necesaria para calefacción según el reglamento IRAM. Esto se hace a partir de la cantidad de calor por pérdidas o carga total de calefacción que los equipos de calefacción deben aportar (en kcal/h) se determina a partir de:

$$Q_T = Q_t + Q_e + Q_{ae}$$

Donde Q_t es la cantidad de calor a compensar por pérdidas de transmisión (kcal/h), Q_e es la cantidad de calor a compensar por ingreso de aire frío por infiltraciones y/o ventilación no controlada (kcal/h) y Q_{ae} es la cantidad de calor a compensar por aire a menor temperatura del caudal de aire por requisitos de ventilación administrada por renovación (kcal/h).

A continuación, se adjuntan las planillas correspondientes para cada localidad y ambiente de la vivienda:

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE INVIERNO								
EDIFICIO:		VIVIENDA ALFONSINA						
LOCAL:		ESTAR/COMEDOR				PLANTA:	PB	
T.INT °C	22	CAUD.CIRC.	AIRE EXT.	CAUD.A EXT.	MEJORAMIENTOS			
T.EXT °C	-2.6	m ³ /min	%	m ³ /min	Zd %	Zh %	Zc %	
DT (°C)	24.6	50.00	20	10.00	15	-5	0	
DESIG	ORIEN	DIMENSI*2 ONES (m)		AREA	K	Dt	q 0	
NA	TA	Ancho	Alto	m ²	kcal / h	°C	kcal / h	
CION	CION	(m)	(m)		m ² °C			
PARED EXT	E	3.47	2.65	9.20	0.45	25	102	
PARED EXT	S	3.41	2.65	9.04	0.45	25	100	
PARED EXT	N	7.12	2.65	18.87	0.45	25	209	
PARED INT		2.57	2.65	6.81	1.63	12	137	
PARED INT		0.80	2.65	2.12	1.63	12	43	
PARED INT		1.72	2.65	4.56	1.63	12	91	
PARED INT		1.94	2.65	5.14	1.63	12	103	
VENTANA	N	1.25	0.80	1.00	2.23	25	55	
VENTANA	N	1.60	2.05	3.28	2.23	25	180	
VENTANA	N	0.80	0.80	0.64	2.23	25	35	
VENTANA	N	0.45	0.45	0.20	2.23	25	11	
VENTANA	E	1.60	0.80	1.28	2.23	25	70	
VENTANA	S	1.20	2.05	2.46	2.23	25	135	
VENTANA	S	1.20	2.05	2.46	2.23	25	135	
PUERTA	N	0.80	2.05	1.64	3.00	25	121	
PISO		3.47	7.09	24.60	0.50	12	151	
TECHO		3.47	7.09	24.60	0.42	25	254	
CALOR TOTAL		SUMATORIA DE q0 = Q0						1932
kcal/h		CALOR TOTAL DE TRANSMISION Qt (kcal/h)						2125
QT	6307	CALOR TOTAL POR AIRE EXTERIOR QAE(kcal/h)						4182

Tabla 67: Planilla Balance Térmico Invierno para Estar/Comedor. Localidad Santa Fe.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE INVIERNO								
EDIFICIO:		VIVIENDA ALFONSINA						
LOCAL:		DORMITORIO 1				PLANTA:	PB	
T.INT °C	22	CAUD.CIRC.	AIRE EXT.	CAUD.A EXT.	MEJORAMIENTOS			
T.EXT °C	-2.6	m ³ /min	%	m ³ /min	Zd %	Zh %	Zc %	
DT (°C)	24.6	25.00	20	5.00	15	-5	0	
DESIG	ORIEN	DIMENSI*2 ONES (m)		AREA	K	Dt	q 0	
NA	TA	Ancho	Alto	m ²	kcal / h	°C	kcal / h	
CION	CION	(m)	(m)		m ² °C			
PARED EXT	E	3.40	2.65	9.01	1.62	25	365	
PARED EXT	S	2.92	2.65	7.74	3.38	25	643	
PARED EXT	O	3.40	2.65	9.01	1.62	25	359	
PARED INT		2.92	2.65	7.74	2.30	12	214	
VENTANA	O	1.60	0.80	1.28	2.23	25	70	
VENTANA	O	0.45	0.45	0.20	2.23	25	11	
VENTANA	E	0.45	0.45	0.20	2.23	25	11	
VENTANA	E	0.30	0.30	0.09	2.23	25	5	
VENTANA	E	0.80	0.80	0.64	2.23	25	35	
PUERTE INT		0.80	2.05	1.64	2.23	12	44	
PISO		2.68	3.40	9.11	0.50	12	55	
TECHO		2.68	7.09	19.00	0.42	25	196	
CALOR TOTAL		SUMATORIA DE q0 = Q0						2008
kcal/h		CALOR TOTAL DE TRANSMISION Qt (kcal/h)						2209
QT	4300	CALOR TOTAL POR AIRE EXTERIOR QAE(kcal/h)						2091

Tabla 68: Planilla Balance Térmico Invierno para Dormitorio 1. Localidad Santa Fe.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE INVIERNO								
EDIFICIO:	VIVIENDA ALFONSINA							
LOCAL:	DORMITORIO 2					PLANTA:	PB	
T.INT °C	22	CAUD.CIRC.	AIRE EXT.	CAUD.A EXT.	MEJORAMIENTOS			
T.EXT °C	-2.6	m ³ /min	%	m ³ /min	Zd %	Zh %	Zc %	
DT (°C)	24.6	22.00	20	4.40	15	-5	0	
DESIG	ORIEN	DIMENSI ONES (m)		AREA	K	Dt	q 0	
NA	TA	Ancho	Alto	m ²	kcal / h	°C	kcal / h	
CION	CION	(m)	(m)		m ² °C			
PARED EXT	E	3.40	2.65	9.01	1.62	25	365	
PARED EXT	S	2.92	2.65	7.74	3.38	25	643	
PARED EXT	O	3.40	2.65	9.01	1.62	25	359	
PARED INT		2.92	2.65	7.74	2.30	12	214	
VENTANA	O	1.60	0.80	1.28	2.23	25	70	
VENTANA	O	0.45	0.45	0.20	2.23	25	11	
VENTANA	E	0.45	0.45	0.20	2.23	25	11	
VENTANA	E	0.30	0.30	0.09	2.23	25	5	
VENTANA	E	0.80	0.80	0.64	2.23	25	35	
PUERTE INT		0.80	2.05	1.64	2.23	12	44	
PISO		2.68	3.40	9.11	0.50	12	55	
TECHO		2.68	7.09	19.00	0.42	25	196	
CALOR TOTAL		SUMATORIA DE q0 = Q0						2008
kcal/h		CALOR TOTAL DE TRANSMISION Qt (kcal/h)						2209
QT	4049	CALOR TOTAL POR AIRE EXTERIOR QAE(kcal/h)						1840

Tabla 69: Planilla Balance Térmico Invierno para Dormitorio 2. Localidad Santa Fe.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE INVIERNO								
EDIFICIO:	VIVIENDA ALFONSINA							
LOCAL:	ESTAR/COMEDOR					PLANTA:	PB	
T.INT °C	22	CAUD.CIRC.	AIRE EXT.	CAUD.A EXT.	MEJORAMIENTOS			
T.EXT °C	-13.8	m ³ /min	%	m ³ /min	Zd %	Zh %	Zc %	
DT (°C)	35.8	50.00	20	10.00	15	-5	0	
DESIG	ORIEN	DIMENSI*2 ONES (m)		AREA	K	Dt	q 0	
NA	TA	Ancho	Alto	m ²	kcal / h	°C	kcal / h	
CION	CION	(m)	(m)		m ² °C			
PARED EXT	E	3.47	2.65	9.20	0.45	36	148	
PARED EXT	S	3.41	2.65	9.04	0.45	36	146	
PARED EXT	N	7.12	2.65	18.87	0.45	36	304	
PARED INT		2.57	2.65	6.81	1.63	18	199	
PARED INT		0.80	2.65	2.12	1.63	18	62	
PARED INT		1.72	2.65	4.56	1.63	18	133	
PARED INT		1.94	2.65	5.14	1.63	18	150	
VENTANA	N	1.25	0.80	1.00	2.23	36	80	
VENTANA	N	1.60	2.05	3.28	2.23	36	262	
VENTANA	N	0.80	0.80	0.64	2.23	36	51	
VENTANA	N	0.45	0.45	0.20	2.23	36	16	
VENTANA	E	1.60	0.80	1.28	2.23	36	102	
VENTANA	S	1.20	2.05	2.46	2.23	36	196	
VENTANA	S	1.20	2.05	2.46	2.23	36	196	
PUERTA	N	0.80	2.05	1.64	3.00	36	176	
PISO		3.47	7.09	24.60	0.50	18	220	
TECHO		3.47	7.09	24.60	0.42	36	370	
CALOR TOTAL		SUMATORIA DE q0 = Q0						2811
kcal/h		CALOR TOTAL DE TRANSMISION Qt (kcal/h)						3093
QT	9179	CALOR TOTAL POR AIRE EXTERIOR QAE(kcal/h)						6086

Tabla 70: Planilla Balance Térmico Invierno para Cocina. Localidad Ushuaia.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE INVIERNO								
EDIFICIO:	VIVIENDA ALFONSINA							
LOCAL:	DORMITORIO 1					PLANTA:	PB	
T.INT °C	22	CAUD.CIRC.	AIRE EXT.	CAUD.A EXT.	MEJORAMIENTOS			
T.EXT °C	-13.8	m ³ /min	%	m ³ /min	Zd %	Zh %	Zc %	
DT (°C)	35.8	25.00	20	5.00	15	-5	0	
DESIG	ORIEN	DIMENSIONES (m)		AREA	K	Dt	q0	
NA	TA	Ancho	Alto	m ²	kcal / h	°C	kcal / h	
CION	CION	(m)	(m)		m ² °C			
PARED EXT	E	3.40	2.65	9.01	1.62	36	525	
PARED EXT	S	2.92	2.65	7.74	3.38	36	942	
PARED EXT	O	3.40	2.65	9.01	1.62	36	525	
PARED INT		2.92	2.65	7.74	2.30	18	320	
VENTANA	O	1.60	0.80	1.28	2.23	36	103	
VENTANA	O	0.45	0.45	0.20	2.23	36	16	
VENTANA	E	0.45	0.45	0.20	2.23	36	16	
VENTANA	E	0.30	0.30	0.09	2.23	36	7	
VENTANA	E	0.80	0.80	0.64	2.23	36	51	
PUERTE INT		0.80	2.05	1.64	2.23	18	66	
PISO		2.92	3.40	9.93	0.50	18	89	
TECHO		2.92	3.40	9.93	0.42	36	150	
CALOR TOTAL	SUMATORIA DE q0 = Q0						2812	
kcal/h	CALOR TOTAL DE TRANSMISION Qt (kcal/h)						3093	
QT	6136	CALOR TOTAL POR AIRE EXTERIOR QAE(kcal/h)						3043

Ilustración 20: Planilla Balance Térmico Invierno para Dormitorio 1. Localidad Ushuaia.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE INVIERNO								
EDIFICIO:	VIVIENDA ALFONSINA							
LOCAL:	DORMITORIO 2					PLANTA:	PB	
T.INT °C	22	CAUD.CIRC.	AIRE EXT.	CAUD.A EXT.	MEJORAMIENTOS			
T.EXT °C	-13.8	m ³ /min	%	m ³ /min	Zd %	Zh %	Zc %	
DT (°C)	35.8	22.00	20	4.40	15	-5	0	
DESIG	ORIEN	DIMENSIONES (m)		AREA	K	Dt	q0	
NA	TA	Ancho	Alto	m ²	kcal / h	°C	kcal / h	
CION	CION	(m)	(m)		m ² °C			
PARED EXT	E	3.40	2.65	9.01	1.62	36	525	
PARED EXT	S	2.92	2.65	7.74	3.38	36	942	
PARED EXT	O	3.40	2.65	9.01	1.62	36	525	
PARED INT		2.92	2.65	7.74	2.30	18	320	
VENTANA	O	1.60	0.80	1.28	2.23	36	103	
VENTANA	O	0.45	0.45	0.20	2.23	36	16	
VENTANA	E	0.45	0.45	0.20	2.23	36	16	
VENTANA	E	0.30	0.30	0.09	2.23	36	7	
VENTANA	E	0.80	0.80	0.64	2.23	36	51	
PUERTE INT		0.80	2.05	1.64	2.23	18	66	
PISO		2.68	3.40	9.11	0.50	18	82	
TECHO		2.68	7.09	19.00	0.42	36	287	
CALOR TOTAL	SUMATORIA DE q0 = Q0						2942	
kcal/h	CALOR TOTAL DE TRANSMISION Qt (kcal/h)						3236	
QT	5914	CALOR TOTAL POR AIRE EXTERIOR QAE(kcal/h)						2678

Tabla 71: Planilla Balance Térmico Invierno para Dormitorio 2. Localidad Ushuaia.

Proseguimos a realizar el cálculo de las cargas de acondicionamiento (Q_T) de verano. Las mismas surgen de la suma de las ganancias de calor externo e interno total del local (Q_{TLoc}) y la ganancia de calor total por ventilación (Q_{ae}):

$$Q_T = Q_{TLoc} + Q_{ae}$$

La carga de calor por aire nuevo o ventilación (Q_{ae}) se compone del calor sensible (Q_{sae}) y del calor latente (Q_{lae}). El calor sensible depende del caudal de aire que ingresa y de su temperatura, mientras que el calor latente está relacionado con el caudal de aire y la humedad relativa del mismo al momento de ingresar.

La carga total del local (Q_{TLoc}) está compuesta por las ganancias exteriores (Q_{TE}) e interiores (Q_{TI}) del local.

Las cargas externas están compuestas por la cantidad de calor que gana el elemento por condiciones externas (Q_{te}), la cantidad de calor que gana el elemento por local no acondicionado (Q_{TI}) y la cantidad de calor que pasa por el vidrio (Q_{Tv}), todas en kcal/h.

Las ganancias por condiciones externas se estiman a partir de la ecuación fundamental de la transmisión del calor: $Q_{te} = K A (\Delta t)$

Donde A es el área transversal del elemento en m², K es el coeficiente de transmitancia total en kcal/h·m²·°C y Δt es la diferencia equivalente de temperatura en °C, la cual se obtiene de tablas según la hora de análisis, la orientación del muro, la latitud donde se encuentra la vivienda y el valor de K .

El valor de ganancia por un local no acondicionado es el mismo, solo que el Δt representa el valor la diferencia entre la temperatura de confort del local acondicionado con la del no acondicionado, el cual es 3 grados menor a la temperatura exterior de diseño.

Por último, Las cargas externas por la superficie vidriada se estima a partir de la cantidad de calor por transmisión y la cantidad de calor por radiación solar.

Las cargas internas son las generadas por los a través de calor latente por los electrodomésticos e iluminación, como así también, por las personas que están en el recinto en cuestión.

Se adjuntan a continuación las planillas que determinan el valor para cada uno de los locales.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE VERANO													
EDIFICIO	VIVIENDA ALFONSINA	HORA	LATTITUD	TBS ext(°C)	39.0	HR ext(%)	74	he exterior	28.0				
TORRE ADMINISTRATIVA		14	30	TBS int(°C)	25.0	HR int(%)	50	he interior	10.0				
PISO	PB	LOCAL:	ESTAR/COMEDOR		DT (°C)	14.0				DG (g/kg)	18.0		
L	Tipo	LADOS		AREA	AREA	KP	Dte	TRANSMISION		Coef.	Intens.	RADIACION	
A	Espes.	PARED		TOTAL	PARED	(kcal/hm ² °C)	°C	Y EFECTO SOLAR		Prot.	Solar	SOLAR	
D	Orient	VIDRIO			AREA	KV	Dt			Vidrio	(kcal/hm ² °C)	VENTANA	
O		A (m)	B (m)	(m ²)	VIDRIO	(kcal/hm ² °C)	°C	(kcal/h)		C	I	(kcal/h)	
A	P.Ext	7.12	2.65	18.9	13.7	0.45	6.0	37					
	N	1.25	0.80		1.0	2.23		31		0.30	222	67	
		1.60	2.05		3.3	2.23		102		0.30	222	218	
		0.80	0.80		0.6	2.23		20		0.30	222	43	
		0.45	0.45		0.2	2.23		6		0.30	222	13	
	P.Ext	3.41	2.65	9.0	4.1	0.45	8.0	15					
B	S	1.20	2.05		2.5	2.23		77		0.30	38	28	
		1.20	2.05		2.5	2.23		77		0.30	38	28	
C	P.Ext	3.47	2.65	9.2	7.9	0.45	12.0	43					
	E	1.60	0.80		1.3	2.23		40		0.30	35	13	
D	P.Int	0.80	2.65	2.1	2.1	1.63	11.0	38					
					0.0			0				0	
F	P.Int	1.72	2.65	4.6	4.6	1.63	11.0	82					
					0.0			0				0	
G	P.Int	1.94	2.65	5.1	5.1	1.63	11.0	92					
					0.0			0				0	
TECHO		3.47	7.09	24.6	24.6	0.42	17.0	176					
PISO		3.47	7.09	24.6	24.6	0.50	0.0	0					
TOTALES TRANSM. Y EFECTO SOLAR				(kcal/h)	TRANSMISION			836		E.SOL.VENT		410	
SUB TOTAL CARGA EXTERIOR				(kcal/h)	1246	QLI		Personas	(factor)		35	140	
Porcentaje pérdida conductos(%)				5	Latente		Otras fuentes		(kcal/h)				
TOTAL CARGA EXTERIOR				(kcal/h)	1308	Interior		QLI: CALOR LATENTE INT.		140			
QSI	Personas	(factor)	55	FCS		0.93	Ti °C	15.0	%Caud.	15			
		(cantidad)	4	220	QE		Caudal de aire exterior		(m3/min)	2.0			
Calor	Iluminación	(Watt)	49	42	Calor		Calor sens.aire exterior		(kcal/h)	476			
Sens.	Motores	(HP)		0	Aire		Calor latent. aire exterior		(kcal/h)	1512			
Inter.	Disipaciones varias (kcal/h)			258	Exterior		QE:CAL.TOTAL AExt.		(kcal/h)	1988			
TOTAL CALOR SENSIBLE INTERIOR (QSI)				QT y QST (frig/h),TONELADAS Y CAUDAL									
TOTAL QSI (kcal/h)				1828	QT	3956		TR	1	QST	2304		
TOTAL QSI (Kw/h)				2.1	QT(Kw/h)	4.6		CAUDAL	m3/min	11			

Tabla 72: Planilla Balance Térmico Verano para Estar/Comedor. Localidad Santa Fe.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE VERANO												
EDIFICIO	VIVIENDA ALFONSINA		HORA	LATITUD	TBS ext(°C)	39.0	HR ext(%)	74	he exterior	28.0		
TORRE ADMINISTRATIVA			14	30	TBS int(°C)	25.0	HR int(%)	50	he interior	10.0		
PISO	PB	LOCAL: ESTAR/COMEDOR			DT (°C)	14.0				DG (g/kg)	18.0	
L	Tipo	LADOS		AREA	AREA	KP	Dte	TRANSMISION		Coef.	Intens.	RADIACION
A	Espes.	PARED		TOTAL	PARED	(kcal/hm ² °C)	°C	Y EFECTO SOLAR		Prot.	Solar	SOLAR
D	Orient	VIDRIO		(m2)	AREA	KV	Dt			Vidrio	(kcal/hm ²)	VENTANA
O		A (m)	B (m)		VIDRIO	(kcal/hm ² °C)	°C	(kcal/h)		C	I	(kcal/h)
A	P.Ext	3.40	2.65	9.0	8.1	0.45	10.0	36				
		0.45	0.45		0.2	2.23		6		0.30	38	2
	E	0.30	0.30		0.1	2.23		3		0.30	38	1
		0.80	0.80		0.6	2.23		20		0.30	38	7
	P.Ext	3.40	2.65	9.0	7.5	0.45	8.0	27				
B	O	1.60	0.80		1.3	2.23		40		0.30	276	106
		0.45	0.45		0.2	2.23		6		0.30	276	17
C	P.Ext	2.92	2.65	7.7	7.7	0.45	2.0	7				
	S				0.0			0				
D	P.Int	2.92	2.65	7.7	7.7	1.63	11.0	139				
					0.0			0				0
TECHO		3.40	2.92	9.9	9.9	0.42	17.0	71				
PISO		3.40	2.92	9.9	9.9	0.50	0.0	0				
TOTALES TRANSM. Y EFECTO SOLAR					(kcal/h)	TRANSMISION		355	E.SOL.VENT		133	
SUB TOTAL CARGA EXTERIOR					(kcal/h)	488	QLI	Personas (factor)		35	70	
Porcentaje pérdida conductos(%)					5		Latente	Otras fuentes (kcal/h)				
TOTAL CARGA EXTERIOR					(kcal/h)	512	Interior	QLI: CALOR LATENTE INT.	70			
QSI	Personas	(factor)	55			FCS	0.90	Ti °C	15.0	%Caud.	15	
		(cantidad)	2	110		QE	Caudal de aire exterior (m3/min)		1.0			
Calor	Iluminación	(Watt)	20	17		Calor	Calor sens.aire exterior		(kcal/h) 238			
Sens.	Motores	(HP)	0			Aire	Calor latent. aire exterior		(kcal/h) 756			
Inter.	Disipaciones varias	(kcal/h)	0			Exterior	QE:CAL.TOTAL AExt.		(kcal/h) 994			
TOTAL CALOR SENSIBLE INTERIOR (QSI)					QT y QST (frig/h),TONELADAS Y CAUDAL							
	TOTAL QSI (kcal/h)				639	QT	1703		TR	1	QST	877
	TOTAL QSI (Kw/h)				0.7	QT(Kw/h)	2.0	CAUDAL	m3/min		4	

Tabla 73: Planilla Balance Térmico Verano para Dormitorio 1. Localidad Santa Fe.

PLANILLA PARA CALCULO DE CARGAS DE VERANO												
EDIFICIO	VIVIENDA ALFONSINA		HORA	LATITUD	TBS ext(°C)	39.0	HR ext(%)	74	he exterior	28.0		
TORRE ADMINISTRATIVA			14	30	TBS int(°C)	25.0	HR int(%)	50	he interior	10.0		
PISO	PB	LOCAL: ESTAR/COMEDOR			DT (°C)	14.0				DG (g/kg)	18.0	
L	Tipo	LADOS		AREA	AREA	KP	Dte	TRANSMISION		Coef.	Intens.	RADIACION
A	Espes.	PARED		TOTAL	PARED	(kcal/hm ² °C)	°C	Y EFECTO SOLAR		Prot.	Solar	SOLAR
D	Orient	VIDRIO		(m2)	AREA	KV	Dt			Vidrio	(kcal/hm ²)	VENTANA
O		A (m)	B (m)		VIDRIO	(kcal/hm ² °C)	°C	(kcal/h)		C	I	(kcal/h)
A	P.Ext	3.40	2.65	9.0	8.1	0.45	8.0	29				
		0.45	0.45		0.2	2.23		6		0.30	276	17
	O	0.30	0.30		0.1	2.23		3		0.30	276	7
		0.80	0.80		0.6	2.23		20		0.30	276	53
	P.Ext	3.40	2.65	9.0	7.5	0.45	10.0	34				
B	E	1.60	0.80		1.3	2.23		40		0.30	38	15
		0.45	0.45		0.2	2.23		6		0.30	38	2
C	P.Ext	2.92	2.65	7.7	7.7	0.45	2.0	7				
	S				0.0			0				
D	P.Int	2.92	2.65	7.7	7.7	1.63	11.0	139				
					0.0			0				0
TECHO		3.40	2.68	9.1	9.1	0.42	17.0	65				
PISO		3.40	2.68	9.1	9.1	0.50	0.0	0				
TOTALES TRANSM. Y EFECTO SOLAR					(kcal/h)	TRANSMISION		349	E.SOL.VENT		94	
SUB TOTAL CARGA EXTERIOR					(kcal/h)	443	QLI	Personas (factor)		35	70	
Porcentaje pérdida conductos(%)					5		Latente	Otras fuentes (kcal/h)				
TOTAL CARGA EXTERIOR					(kcal/h)	465	Interior	QLI: CALOR LATENTE INT.	70			
QSI	Personas	(factor)	55			FCS	0.89	Ti °C	15.0	%Caud.	15	
		(cantidad)	2	110		QE	Caudal de aire exterior (m3/min)		1.0			
Calor	Iluminación	(Watt)	18	16		Calor	Calor sens.aire exterior		(kcal/h) 238			
Sens.	Motores	(HP)	0			Aire	Calor latent. aire exterior		(kcal/h) 756			
Inter.	Disipaciones varias	(kcal/h)	0			Exterior	QE:CAL.TOTAL AExt.		(kcal/h) 994			
TOTAL CALOR SENSIBLE INTERIOR (QSI)					QT y QST (frig/h),TONELADAS Y CAUDAL							
	TOTAL QSI (kcal/h)				591	QT	1655		TR	1	QST	829
	TOTAL QSI (Kw/h)				0.7	QT(Kw/h)	1.9	CAUDAL	m3/min		3	

Tabla 74: Planilla Balance Térmico Verano para Dormitorio 2. Localidad Santa Fe.

Para la localidad de Ushuaia el reglamento determina que no es necesario realizar instalación de sistemas de refrigeración.

A continuación, presentaremos la solicitud de energía máxima en el año, expresada en kilocalorías, la unidad empleada por el reglamento IRAM. Para cada vivienda, mostraremos los valores obtenidos del software junto a los resultados calculados según el reglamento, incluyendo la diferencia entre ambos. Este análisis comparativo permitirá evaluar las variaciones entre los métodos y así extraer conclusiones sobre la precisión y eficacia de cada enfoque en la estimación de la demanda energética.

Comenzamos con la ciudad de Santa Fe:

Santa Fe				
Zona térmica	Energía de Refrigeración EnergyPlus	Energía de Refrigeración IRAM	Energía de Calefacción EnergyPlus	Energía de Calefacción IRAM
Estar/Comedor	1034	3956	1480	6037
Habitación 1	713	1703	1375	4300
Habitación 2	694	1655	1354	4049

Tabla 75: Máximas solicitudes para vivienda en Santa Fe.

Para Ushuaia tenemos lo siguiente:

Ushuaia				
Zona térmica	Energía de Refrigeración EnergyPlus	Energía de Refrigeración IRAM	Energía de Calefacción EnergyPlus	Energía de Calefacción IRAM
Estar/Comedor	124	-	3764	9173
Habitación 1	0	-	3538	6136
Habitación 2	0	-	3503	5914

Tabla 76: Máximas solicitudes para vivienda en Ushuaia.

Con base en los resultados de estas pruebas, podemos concluir que los métodos estadísticos, como los empleados por la normativa IRAM, tienden a ser más conservadores y presentan una mayor variabilidad en los resultados. Esto se debe a que estos sistemas suelen utilizar valores genéricos y supuestos amplios para estimar la capacidad de calefacción y refrigeración, sin considerar las particularidades dinámicas de cada ambiente. En cambio, el uso de simulaciones computacionales, como las realizadas en EnergyPlus, permite obtener datos más precisos y ajustados a las condiciones reales de la vivienda y su entorno. Esto no solo mejora la precisión de los resultados, sino que también facilita la toma de decisiones informadas, orientadas a seleccionar sistemas energéticamente eficientes y adecuados a las necesidades específicas de cada caso.

8. ANÁLISIS FINANCIERO

Entender los aspectos económicos involucrados en un proyecto de ingeniería civil es fundamental, y más aún cuando se trata de edificaciones diseñadas bajo un enfoque de eficiencia energética. Justificar este enfoque puede requerir un análisis más detallado en comparación con el de una construcción tradicional, ya que incluye no solo los costos iniciales, sino también los ahorros y beneficios a largo plazo en términos de energía y sostenibilidad.

Las viviendas energéticamente eficientes tienen un enorme potencial para generar beneficios significativos para sus propietarios, el entorno y la sociedad. Entre los principales aspectos donde se reflejan estos beneficios se encuentran la reducción del consumo de energía, el uso eficiente del agua, la mejora en la calidad del aire interior, la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y menores costos operativos y de mantenimiento. Además, este tipo de edificaciones suele contribuir a la salud y bienestar de sus ocupantes, así como a la reducción de la huella ambiental.

La capacidad para cuantificar, expresar y sustentar estos beneficios en un análisis económico es crucial. Cualquier proyecto de construcción eficiente, para ser sostenible, debe también ser económicamente viable. El análisis económico no solo permitirá evaluar la inversión inicial, sino que también deberá incluir los ahorros energéticos a largo plazo y los posibles incentivos o subsidios disponibles por adoptar tecnologías sustentables.

Por lo tanto, el objetivo de esta sección será realizar un análisis económico comparativo entre dos viviendas similares: una diseñada bajo los principios de la envolvente que mejores resultados trae energéticamente hablando y la otra construida de abaratar los costos lo máximo posible.

Este análisis no solo se enfocará en los costos de construcción, sino también en los beneficios a corto plazo en términos de ahorro energético. **Adicionalmente, se llevará a cabo la comparación en todas las localidades estudiadas, para evaluar cómo las condiciones climáticas y energéticas de cada región afectan los resultados económicos.** Así, será posible establecer con claridad las ventajas y desventajas económicas de cada tipología, proporcionando una visión completa de los beneficios que una vivienda eficiente puede ofrecer tanto a los propietarios como al medio ambiente.

Para realizar el análisis se llevará en cuenta los siguientes factores:

Inversión inicial: La inversión inicial es la cantidad de dinero que se requiere para poner en marcha el proyecto, cubriendo los costos iniciales. Para esto solo llevaremos en cuenta el costo de construcción por metro cuadrado de las paredes con los distintos paquetes constructivos tanto para el techo como para los muros. También el valor de utilizar cierto tipo de vidrio y el posible costo adicional que se deba hacer por modificar el vidrio para mejorarlo su factor de ganancia solar.

Ahorro energético anual: El ahorro energético se calcula restando el consumo energético de una vivienda con mejoras aplicadas del consumo de una vivienda base. Este ahorro es uno de los beneficios clave de las medidas de eficiencia energética y será fundamental para el análisis financiero.

Costo de las fuentes energéticas: Los costos operativos de la vivienda están estrechamente ligados a la matriz energética utilizada. En nuestro país, la energía se genera a partir de fuentes tanto

renovables como no renovables, lo que impacta su costo. En este análisis, se considerarán las tarifas de energía eléctrica y gas natural para determinar los costos operativos de las diferentes versiones de la vivienda estudiada.

A la hora de evaluar la viabilidad de un proyecto, los parámetros más utilizados son el **Valor Actual Neto (VAN)** y la **Tasa Interna de Retorno (TIR)**. Estos indicadores permiten trasladar todos los costos derivados del proyecto a un plano de comparación normalizado, evaluando los beneficios de ambos enfoques en condiciones uniformes de competencia.

El **VAN** es un indicador financiero que se utiliza para determinar la viabilidad de un proyecto. Consiste en la suma de los flujos netos de caja actualizados (ingresos menos costos), descontados al presente mediante una tasa de interés elegida, y comparados con la inversión inicial. En resumen, el VAN indica cuánto se ganará o perderá con la inversión una vez que todos los flujos futuros se hayan traído al presente.

La fórmula para calcular el **VAN** es la siguiente:

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+k)^t}$$

Donde:

- Ft son los flujos de caja en cada periodo t.
- I_0 es la inversión realizada en el momento inicial (t=0).
- n es el número de periodos de tiempo.
- k es la tasa de descuento o tipo de interés exigido a la inversión.

Los criterios de decisión son los siguientes:

- **VAN > 0**: El proyecto generará beneficios a la tasa de descuento seleccionada.
- **VAN = 0**: El proyecto no generará ni pérdidas ni beneficios, siendo su realización indiferente.
- **VAN < 0**: El proyecto generará pérdidas y debe ser rechazado.

El **VAN** tiene la ventaja de ser un método fácil de calcular y proporcionar predicciones útiles sobre los efectos de una inversión a largo plazo. Sin embargo, una de sus limitaciones es la necesidad de especificar una tasa de descuento adecuada.

La **TIR** es la tasa de interés que iguala a cero el **VAN** de un proyecto. Es decir, representa la tasa de rendimiento interna que obtiene una inversión a lo largo del tiempo. En términos financieros, la **TIR** es la tasa que hace que el valor presente de los flujos de caja esperados sea igual a la inversión inicial.

La fórmula para calcular la **TIR** es similar a la del **VAN**, pero en este caso se resuelve la tasa de descuento:

$$VAN = 0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+TIR)^t}$$

Los criterios de selección para la **TIR** son los siguientes:

- **TIR > k:** El proyecto será aceptado, ya que la tasa de rendimiento interno es superior a la tasa mínima de rentabilidad exigida.
- **TIR = k:** El proyecto no genera beneficios ni pérdidas adicionales. Puede realizarse si mejora la posición competitiva.
- **TIR < k:** El proyecto debe ser rechazado.

En este análisis, la **TIR** se expresará como un porcentaje y permitirá evaluar qué tan rentable es el proyecto en relación con la tasa de descuento seleccionada.

8.1. Compuo de las viviendas.

El análisis económico se llevará a cabo en seis localidades, una por cada zona climática, con el fin de evaluar en cuáles de ellas resulta rentable la inversión en una vivienda eficiente. Sin embargo, el análisis de la variación del consumo energético se realizará en todas las localidades, para poder apreciar el ahorro energético en cada una de ellas. Las localidades seleccionadas para realizar el análisis económico son las de Sáenz Peña, Santa Fe, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Tinogasta, el Puerto de San Julián y Ushuaia.

Distinguiremos dos tipos de viviendas. La primera, llamada "eficiente," es la opción más costosa, pero ofrece los mejores resultados energéticos. Para los modelos Alfonsina y Milagros, la configuración incluirá el paquete de muros número 12, el techo número 6 y ventanas herméticas triples (VHT). En el caso de Aimé, se empleará el mismo paquete de muros y ventanas, pero el techo será el número 3, adecuado para su estructura liviana. La selección de estos componentes se basó en su rendimiento óptimo en todas las localidades.

La segunda opción, denominada "económica," prioriza la reducción de costos en la selección de materiales. En este caso, se empleará el paquete de muro número 7 junto con el techo número 5 y ventanas simples de 4 mm para los modelos Alfonsina y Milagros. Para Aimé, se utilizará el mismo paquete de muros y ventanas, con el techo tipo 3 debido a su estructura liviana.

Es importante destacar que todos los precios de los materiales mencionados corresponden al mes de **octubre del 2024**.

A continuación, se muestra el costo de la construcción de cada una de estas envolventes en la ciudad de Sáenz Peña, Chaco.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	84.602	\$17,757.92	\$1,502,355.55
2	Revoque grueso	m2	84.602	\$7,767.42	\$657,139.27
3	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$14,218.45	\$834,051.43
4	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$18,468.96	\$1,083,385.50
5	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$69,631.63	\$4,084,577.49
6	Vidrio transparente 4mm	m2	29.463	\$30,384.18	\$895,209.10
				Total	\$9,056,718.33

Tabla 77: Compuo vivienda económica Aimé para Sáenz Peña.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	84.602	\$7,767.42	\$657,139.27
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	84.602	\$38,400.17	\$3,248,731.18
3	Placa EPS 50mm	m2	84.602	\$13,953.39	\$1,180,484.70
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	84.602	\$6,361.62	\$538,205.78
5	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$14,218.45	\$834,051.43
6	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$18,468.96	\$1,083,385.50
7	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$69,631.63	\$4,084,577.49
8	Triple vidriado hermético	m2	29.463	\$257,345.59	\$7,582,173.12
				Total	\$19,208,748.47

Tabla 78: Computo vivienda eficiente Aimé para Sáenz Peña.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	71.441	\$17,757.92	\$1,268,643.56
2	Revoque grueso	m2	71.441	\$7,767.42	\$554,912.25
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.6639	\$7,137.65	\$425,860.04
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$69,324.99	\$4,136,199.27
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.6639	\$15,292.06	\$912,383.94
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.6639	\$8,754.67	\$522,337.76
7	Aislación hidráulica	m2	59.6639	\$5,645.79	\$336,849.85
8	Vidrio transparente 4mm	m2	15.479	\$30,384.18	\$470,316.72
				Total	\$8,627,503.39

Tabla 79: Computo vivienda económica Alfonsina para Sáenz Peña.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	71.441	\$7,767.42	\$554,912.25
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	71.441	\$38,400.17	\$2,743,346.54
3	Placa EPS 50mm	m2	71.441	\$13,953.39	\$996,844.13
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	71.441	\$6,361.62	\$454,480.49
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.6639	\$16,421.94	\$979,796.99
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.6639	\$19,947.16	\$1,190,125.36
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$69,324.99	\$4,136,199.27

8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.6639	\$15,292.06	\$912,383.94
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.6639	\$8,754.67	\$522,337.76
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.6639	\$5,645.79	\$336,849.85
11	Triple vidriado hermético	m2	15.479	\$257,345.59	\$3,983,452.39
				Total	\$16,810,728.97

Tabla 80 : Computo vivienda eficiente Alfonsina para Sáenz Peña.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	69.4	\$17,757.92	\$1,232,852.47
2	Revoque grueso	m2	69.4	\$7,767.42	\$539,257.02
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.4	\$7,137.65	\$424,210.52
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4	\$69,324.99	\$4,120,178.27
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.4	\$15,292.06	\$908,849.94
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.4	\$8,754.67	\$520,314.55
7	Aislación hidráulica	m2	59.4	\$5,645.79	\$335,545.11
8	Vidrio transparente 4mm	m2	11.1	\$30,384.18	\$335,897.11
				Total	\$8,417,105.00

Tabla 81: Computo vivienda económica Milagro para Sáenz Peña.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	69.4255	\$7,767.42	\$539,257.02
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	69.4255	\$38,400.17	\$2,665,951.00
3	Placa EPS 50mm	m2	69.4255	\$13,953.39	\$968,721.08
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	69.4255	\$6,361.62	\$441,658.65
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.4328	\$16,421.94	\$976,001.88
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.4328	\$19,947.16	\$1,185,515.57
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4328	\$69,324.99	\$4,120,178.27
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.4328	\$15,292.06	\$908,849.94
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.4328	\$8,754.67	\$520,314.55
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.4328	\$5,645.79	\$335,545.11
11	Triple vidriado hermético	m2	11.055	\$257,345.59	\$2,844,955.50

Total	\$15,506,948.56
-------	-----------------

Tabla 82: Computo vivienda eficiente Milagro para Sáenz Peña.

Seguimos el armado de los cómputos de la envolvente en Santa Fe.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo Neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	84.602	\$19,171.86	\$1,621,977.70
2	Revoque grueso	m2	84.602	\$7,246.47	\$613,065.85
3	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$21,244.50	\$1,246,198.12
4	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$62,722.40	\$3,679,283.44
5	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$13,174.14	\$772,792.42
6	Vidrio transparente 4mm	m2	29.463	\$33,543.05	\$988,278.88
				Total	\$8,921,596.42

Tabla 83: Computo vivienda económica Aimé para Santa Fe.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo Neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	84.602	\$7,246.47	\$613,065.85
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	84.602	\$38,185.95	\$3,230,607.74
3	Placa EPS 50mm	m2	84.602	\$13,274.10	\$1,123,015.41
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	84.602	\$5,978.65	\$505,805.75
5	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$21,244.50	\$1,246,198.12
6	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$62,722.40	\$3,679,283.44
7	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$13,174.14	\$772,792.42
8	Triple vidriado hermético	m2	29.463	\$257,192.34	\$7,577,657.91
				Total	\$18,748,426.64

Tabla 84: Computo vivienda eficiente Aimé Santa Fe.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	71.441	\$19,171.86	\$1,369,656.85
2	Revoque grueso	m2	71.441	\$7,246.47	\$517,695.06
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.6639	\$7,845.40	\$468,087.16

4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$75,821.63	\$4,523,814.15
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.6639	\$15,696.84	\$936,534.69
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.6639	\$9,264.40	\$552,750.24
7	Aislación hidráulica	m2	59.6639	\$5,830.19	\$347,851.87
8	Vidrio transparente 4mm	m2	15.479	\$33,543.05	\$519,212.87
				Total	\$9,235,602.90

Tabla 85: Computo vivienda económica Alfonsina Santa Fe.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	71.441	\$7,246.47	\$517,695.06
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	71.441	\$38,185.95	\$2,728,042.45
3	Placa EPS 50mm	m2	71.441	\$13,274.10	\$948,314.98
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	71.441	\$5,978.65	\$427,120.73
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.6639	\$16,127.77	\$962,245.66
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.6639	\$18,964.25	\$1,131,481.12
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$75,821.63	\$4,523,814.15
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.6639	\$15,696.84	\$936,534.69
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.6639	\$9,264.40	\$552,750.24
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.6639	\$5,830.19	\$347,851.87
11	Triple vidriado hermético	m2	15.479	\$257,192.34	\$3,981,080.23
				Total	\$17,056,931.18

Tabla 86: Computo vivienda eficiente Alfonsina Santa Fe.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	69.4	\$19,171.86	\$1,331,015.97
2	Revoque grueso	m2	69.4	\$7,246.47	\$503,089.80
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.4	\$7,845.40	\$466,274.09
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4	\$75,821.63	\$4,506,291.77

5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.4	\$15,696.84	\$932,907.15
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.4	\$9,264.40	\$550,609.23
7	Aislación hidráulica	m2	59.4	\$5,830.19	\$346,504.52
8	Vidrio transparente 4mm	m2	11.1	\$33,543.05	\$370,818.42
				Total	\$9,007,510.95

Tabla 87: Computo vivienda económica Milagros para Santa Fe.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	69.4255	\$7,246.47	\$503,089.80
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	69.4255	\$38,185.95	\$2,651,078.67
3	Placa EPS 50mm	m2	69.4255	\$13,274.10	\$921,561.03
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	69.4255	\$5,978.65	\$415,070.77
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.4328	\$16,127.77	\$958,518.53
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.4328	\$18,964.25	\$1,127,098.48
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4328	\$75,821.63	\$4,506,291.77
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.4328	\$15,696.84	\$932,907.15
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.4328	\$9,264.40	\$550,609.23
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.4328	\$5,830.19	\$346,504.52
11	Triple vidriado hermético	m2	11.055	\$257,192.34	\$2,843,261.32
				Total	\$15,755,991.27

Tabla 88: Computo vivienda eficiente Milagros Santa Fe.

Vemos que los precios son un poco más elevados con respecto a la localidad analizada anteriormente. Esto se debe principalmente a que la mano de obra es un poco más costosa en la ciudad de Santa Fe.

Seguimos el análisis para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	84.602	\$23,006.23	\$1,946,373.07
2	Revoque grueso	m2	84.602	\$8,555.83	\$723,840.33

3	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$25,554.40	\$1,499,015.99
4	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$78,527.88	\$4,606,429.74
5	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$15,175.18	\$890,173.02
6	Vidrio transparente 4mm	m2	29.463	\$41,928.81	\$1,235,348.53
				Total	\$10,901,180.68

Tabla 89: Computo vivienda económica Aimé para CABA.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	84.602	\$23,006.23	\$1,946,373.07
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	84.602	\$47,732.44	\$4,038,259.89
3	Placa EPS 50mm	m2	84.602	\$16,592.63	\$1,403,769.68
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	84.602	\$7,093.77	\$600,147.13
5	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$25,554.40	\$1,499,015.99
6	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$78,527.88	\$4,606,429.74
7	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$15,175.18	\$890,173.02
8	Triple vidriado hermético	m2	29.463	\$321,490.42	\$9,472,072.24
				Total	\$24,456,240.77

Tabla 90: Computo vivienda eficiente Aimé CABA.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	71.441	\$23,006.23	\$1,643,588.08
2	Revoque grueso	m2	71.441	\$8,555.83	\$611,237.05
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.6639	\$9,572.39	\$571,126.12
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$94,777.04	\$5,654,767.84
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.6639	\$20,091.96	\$1,198,764.69
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.6639	\$11,117.28	\$663,300.28
7	Aislación hidráulica	m2	59.6639	\$6,529.81	\$389,593.93
8	Vidrio transparente 4mm	m2	15.479	\$41,928.81	\$649,016.05
				Total	\$11,381,394.04

Tabla 91: Computo vivienda económica Alfonsina CABA.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		

1	Revoque grueso	m2	71.441	\$8,555.83	\$611,237.05
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	71.441	\$47,732.44	\$3,410,053.25
3	Placa EPS 50mm	m2	71.441	\$16,592.63	\$1,185,394.08
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	71.441	\$7,093.77	\$506,786.02
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.6639	\$20,159.71	\$1,202,806.92
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.6639	\$23,705.31	\$1,414,351.25
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$94,777.04	\$5,654,767.84
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.6639	\$20,091.96	\$1,198,764.69
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.6639	\$11,117.28	\$663,300.28
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.6639	\$6,529.81	\$389,593.93
11	Triple vidriado hermético	m2	15.479	\$321,490.42	\$4,976,350.21
				Total	\$21,213,405.52

Tabla 92: Computo vivienda eficiente Alfonsina CABA.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	69.4	\$23,006.23	\$1,597,219.02
2	Revoque grueso	m2	69.4	\$8,555.83	\$593,992.78
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.4	\$9,572.39	\$568,913.94
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4	\$94,777.04	\$5,632,864.86
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.4	\$20,091.96	\$1,194,121.44
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.4	\$11,117.28	\$660,731.08
7	Aislación hidráulica	m2	59.4	\$6,529.81	\$388,084.89
8	Vidrio transparente 4mm	m2	11.1	\$41,928.81	\$463,522.99
				Total	\$11,099,451.01

Tabla 93: Computo vivienda económica Milagros para CABA.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	69.4255	\$8,555.83	\$593,992.78
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	69.4255	\$47,732.44	\$3,313,848.51
3	Placa EPS 50mm	m2	69.4255	\$16,592.63	\$1,151,951.63
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	69.4255	\$7,093.77	\$492,488.53
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.4328	\$20,159.71	\$1,198,148.01

6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.4328	\$23,705.31	\$1,408,872.95
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4328	\$94,777.04	\$5,632,864.86
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.4328	\$20,091.96	\$1,194,121.44
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.4328	\$11,117.28	\$660,731.08
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.4328	\$6,529.81	\$388,084.89
11	Triple vidriado hermético	m2	11.055	\$321,490.42	\$3,554,076.59
				Total	\$19,589,181.28

Tabla 94: Compuo vivienda eficiente Milagros CABA.

Se aprecia que esta ciudad es inclusive más costosa que las otras dos, ya que construir en la capital en general aumenta los costos de la logística y la ejecución.

Pasamos ahora a analizar Tinogasta, correspondiente a la zona 4.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	84.602	\$21,879.57	\$1,851,055.38
2	Revoque grueso	m2	84.602	\$8,023.24	\$678,782.15
3	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$25,554.40	\$1,499,015.99
4	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$78,527.88	\$4,606,429.74
5	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$15,175.18	\$890,173.02
6	Vidrio transparente 4mm	m2	29.463	\$47,522.38	\$1,400,151.88
				Total	\$10,925,608.17

Tabla 95: Compuo vivienda económica Aimé para Tinogasta.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	84.602	\$8,023.24	\$678,782.15
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	84.602	\$48,918.34	\$4,138,589.40
3	Placa EPS 50mm	m2	84.602	\$16,950.73	\$1,434,065.66
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	84.602	\$7,324.56	\$619,672.43
5	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$25,554.40	\$1,499,015.99
6	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$78,527.88	\$4,606,429.74
7	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$15,175.18	\$890,173.02
8	Triple vidriado hermético	m2	29.463	\$335,726.43	\$9,891,507.81
				Total	\$23,758,236.19

Tabla 96: Computo vivienda eficiente Aimé Tinogasta.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	71.441	\$21,879.57	\$1,563,098.36
2	Revoque grueso	m2	71.441	\$8,023.24	\$573,188.29
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.6639	\$9,187.78	\$548,178.79
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$91,687.91	\$5,470,458.29
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.6639	\$19,128.85	\$1,141,301.79
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.6639	\$10,836.33	\$646,537.71
7	Aislación hidráulica	m2	59.6639	\$6,872.68	\$410,050.89
8	Vidrio transparente 4mm	m2	15.479	\$47,522.38	\$735,598.92
				Total	\$11,088,413.05

Tabla 97: Computo vivienda económica Alfonsina Tinogasta.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	71.441	\$8,023.24	\$573,188.29
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	71.441	\$48,918.34	\$3,494,775.13
3	Placa EPS 50mm	m2	71.441	\$16,950.73	\$1,210,977.10
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	71.441	\$7,324.56	\$523,273.89
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.6639	\$21,173.20	\$1,263,275.69
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.6639	\$24,198.24	\$1,443,761.37
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$91,687.91	\$5,470,458.29
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.6639	\$19,128.85	\$1,141,301.79
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.6639	\$10,836.33	\$646,537.71
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.6639	\$6,872.68	\$410,050.89
11	Triple vidriado hermético	m2	15.479	\$335,726.43	\$5,196,709.41
				Total	\$21,374,309.57

Tabla 98: Computo vivienda eficiente Alfonsina Tinogasta.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	69.4	\$21,879.57	\$1,519,000.09

2	Revoque grueso	m2	69.4	\$8,023.24	\$557,017.45
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.4	\$9,187.78	\$546,055.49
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4	\$91,687.91	\$5,449,269.22
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.4	\$19,128.85	\$1,136,881.12
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.4	\$10,836.33	\$644,033.43
7	Aislación hidráulica	m2	59.4	\$6,872.68	\$408,462.62
8	Vidrio transparente 4mm	m2	11.1	\$47,522.38	\$525,359.91
				Total	\$10,786,079.32

Tabla 99: Computo vivienda económica Milagros para Tinogasta.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	69.4255	\$8,023.24	\$557,017.45
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	69.4255	\$48,918.34	\$3,396,180.21
3	Placa EPS 50mm	m2	69.4255	\$16,950.73	\$1,176,812.91
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	69.4255	\$7,324.56	\$508,511.24
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.4328	\$21,173.20	\$1,258,382.56
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.4328	\$24,198.24	\$1,438,169.16
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4328	\$91,687.91	\$5,449,269.22
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.4328	\$19,128.85	\$1,136,881.12
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.4328	\$10,836.33	\$644,033.43
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.4328	\$6,872.68	\$408,462.62
11	Triple vidriado hermético	m2	11.055	\$335,726.43	\$3,711,455.68
				Total	\$19,685,175.59

Tabla 100: Computo vivienda eficiente Milagros Tinogasta.

En la localidad recién analizada podemos observar que los valores son similares a los que obtuvimos para la localidad de CABA.

Analizamos ahora las localidades que se encuentran más al sur del país, comenzando con el Puerto de San Julián.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	84.602	\$51,698.32	\$4,373,781.27
2	Revoque grueso	m2	84.602	\$14,215.65	\$1,202,672.42

3	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$39,709.94	\$2,329,377.14
4	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$133,478.28	\$7,829,809.21
5	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$24,490.62	\$1,436,614.87
6	Vidrio transparente 4mm	m2	29.463	\$94,635.87	\$2,788,256.64
				Total	\$19,960,511.55

Tabla 101: Computo vivienda económica Aimé para Puerto de San Julián.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	84.602	\$14,215.65	\$1,202,672.42
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	84.602	\$81,146.15	\$6,865,126.58
3	Placa EPS 50mm	m2	84.602	\$29,865.73	\$2,526,700.49
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	84.602	\$12,406.10	\$1,049,580.87
5	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$39,709.94	\$2,329,377.14
6	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$133,478.28	\$7,829,809.21
7	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$24,490.62	\$1,436,614.87
8	Triple vidriado hermético	m2	29.463	\$514,384.67	\$15,155,315.53
				Total	\$38,395,197.12

Tabla 102: Computo vivienda eficiente Aimé Puerto de San Julián.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	71.441	\$51,698.32	\$3,693,379.68
2	Revoque grueso	m2	71.441	\$14,215.65	\$1,015,580.25
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.6639	\$16,862.50	\$1,006,082.51
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$189,554.08	\$11,309,535.67
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.6639	\$32,147.14	\$1,918,023.75
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.6639	\$18,899.39	\$1,127,611.32
7	Aislación hidráulica	m2	59.6639	\$11,442.17	\$682,684.49
8	Vidrio transparente 4mm	m2	15.479	\$94,635.87	\$1,464,868.63
				Total	\$22,217,766.30

Tabla 103: Computo vivienda económica Alfonsina Puerto de San Julián.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		

1	Revoque grueso	m2	71.441	\$14,215.65	\$1,015,580.25
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	71.441	\$81,146.15	\$5,797,162.10
3	Placa EPS 50mm	m2	\$71.44	\$29,865.73	\$2,133,637.62
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	\$71.44	\$12,406.10	\$886,304.19
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.6639	\$38,303.47	\$2,285,334.40
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.6639	\$40,289.04	\$2,403,801.25
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$189,554.08	\$11,309,535.67
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.6639	\$32,147.14	\$1,918,023.75
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.6639	\$18,899.39	\$1,127,611.32
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.6639	\$11,442.17	\$682,684.49
11	Triple vidriado hermético	m2	15.479	\$514,384.67	\$7,962,160.31
				Total	\$37,521,835.35

Tabla 104: Computo vivienda eficiente Alfonsina Puerto de San Julián.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	69.4	\$51,698.32	\$3,589,181.72
2	Revoque grueso	m2	69.4	\$14,215.65	\$986,928.61
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.4	\$16,862.50	\$1,002,185.59
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4	\$189,554.08	\$11,265,729.73
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.4	\$32,147.14	\$1,910,594.54
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.4	\$18,899.39	\$1,123,243.67
7	Aislación hidráulica	m2	59.4	\$11,442.17	\$680,040.20
8	Vidrio transparente 4mm	m2	11.1	\$94,635.87	\$1,046,199.54
				Total	\$21,604,103.59

Tabla 105: Computo vivienda económica Milagros para Puerto de San Julián.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	69.4255	\$14,215.65	\$986,928.61
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	69.4255	\$81,146.15	\$5,633,612.04
3	Placa EPS 50mm	m2	69.4255	\$29,865.73	\$2,073,443.24
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	69.4255	\$12,406.10	\$861,299.70
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.4328	\$38,303.47	\$2,276,482.47

6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.4328	\$40,289.04	\$2,394,490.46
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4328	\$189,554.08	\$11,265,729.73
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.4328	\$32,147.14	\$1,910,594.54
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.4328	\$18,899.39	\$1,123,243.67
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.4328	\$11,442.17	\$680,040.20
11	Triple vidriado hermético	m2	11.055	\$514,384.67	\$5,686,522.53
				Total	\$34,892,387.17

Tabla 106: Computo vivienda eficiente Milagros Puerto de San Julián.

En este caso, podemos observar cómo se encarecen todas las construcciones, ya que tanto la mano de obra como los materiales, que enfrentan mayores dificultades para ser transportados, incrementan considerablemente su valor a medida que nos desplazamos hacia el sur del país.

Realizamos el computo de la última localidad con la que trabajaremos.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	84.602	\$54,698.32	\$4,627,587.27
2	Revoque grueso	m2	84.602	\$13,836.38	\$1,170,585.42
3	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$40,497.99	\$2,375,603.99
4	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$123,275.91	\$7,231,340.23
5	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$25,577.71	\$1,500,383.35
6	Vidrio transparente 4mm	m2	29.463	\$101,928.81	\$3,003,128.53
				Total	\$19,908,628.79

Tabla 107: Computo vivienda económica Aimé para Ushuaia.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	84.602	\$13,836.38	\$1,170,585.42
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	84.602	\$73,694.06	\$6,234,664.86
3	Placa EPS 50mm	m2	84.602	\$26,027.15	\$2,201,948.94
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	84.602	\$9,227.80	\$780,690.34
5	Placa acanaladas de EPS 800mm	m2	58.6598	\$40,497.99	\$2,375,603.99
6	Chapa H°G°N°25 sobre estructura metálica	m2	58.6598	\$123,275.91	\$7,231,340.23
7	Chapa H°G°N°25	m2	58.6598	\$25,577.71	\$1,500,383.35
8	Triple vidriado hermético	m2	29.463	\$518,235.63	\$15,268,776.37

Total	\$36,763,993.50
-------	-----------------

Tabla 108: Computo vivienda eficiente Aimé Ushuaia.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	71.441	\$54,698.32	\$3,907,702.68
2	Revoque grueso	m2	71.441	\$13,836.38	\$988,484.82
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.6639	\$16,862.50	\$1,006,082.51
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$151,677.56	\$9,049,674.77
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.6639	\$32,146.94	\$1,918,011.81
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.6639	\$18,324.68	\$1,093,321.88
7	Aislación hidráulica	m2	59.6639	\$10,470.14	\$624,689.39
8	Vidrio transparente 4mm	m2	15.479	\$101,928.81	\$1,577,756.05
				Total	\$20,165,723.91

Tabla 109: Computo vivienda económica Alfonsina Ushuaia.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	71.441	\$13,836.38	\$988,484.82
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	71.441	\$73,694.06	\$5,264,777.34
3	Placa EPS 50mm	m2	71.441	\$26,027.15	\$1,859,405.62
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	71.441	\$9,227.80	\$659,243.26
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.6639	\$31,399.53	\$1,873,418.42
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.6639	\$35,767.74	\$2,134,042.86
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.6639	\$151,677.56	\$9,049,674.77
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.6639	\$32,146.94	\$1,918,011.81
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.6639	\$18,324.68	\$1,093,321.88
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.6639	\$10,470.14	\$624,689.39
11	Triple vidriado hermético	m2	15.479	\$518,235.63	\$8,021,769.32
				Total	\$33,486,839.49

Tabla 110: Computo vivienda eficiente Alfonsina Ushuaia.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		

1	Ladrillo cerámico huecos 12x18x33 cm	m2	69.4	\$54,698.32	\$3,797,458.22
2	Revoque grueso	m2	69.4	\$13,836.38	\$960,597.60
3	Revoque interior a la cal aplicado	m2	59.4	\$16,862.50	\$1,002,185.59
4	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4	\$151,677.56	\$9,014,622.09
5	Pendiente de Hormigón de cascotes	m2	59.4	\$32,146.94	\$1,910,582.66
6	Carpeta de nivelación (concreto)	m2	59.4	\$18,324.68	\$1,089,087.04
7	Aislación hidráulica	m2	59.4	\$10,470.14	\$622,269.74
8	Vidrio transparente 4mm	m2	11.1	\$101,928.81	\$1,126,822.99
				Total	\$19,523,625.92

Tabla 111: Computo vivienda económica Milagros para Ushuaia.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CÓMPUTOS		Costo neto Unitario	Costo neto Total
		Unidad	Cantidad		
1	Revoque grueso	m2	69.4255	\$13,836.38	\$960,597.60
2	Ladrillo cerámico hueco 18x18x33cm	m2	69.4255	\$73,694.06	\$5,116,246.96
3	Placa EPS 50mm	m2	69.4255	\$26,027.15	\$1,806,947.90
4	Placa de Yeso 12.5mm	m2	69.4255	\$9,227.80	\$640,644.63
5	Placa de yeso 25mm	m2	59.4328	\$31,399.53	\$1,866,161.99
6	Placa de poliestireno Expandido 80mm	m2	59.4328	\$35,767.74	\$2,125,776.94
7	Losa de viguetas y forjados de EPS con 5 cm de HA	m2	59.4328	\$151,677.56	\$9,014,622.09
8	Pendiente de Hormigón de cascotes 10cm	m2	59.4328	\$32,146.94	\$1,910,582.66
9	Carpeta de nivelación (concreto) 3cm	m2	59.4328	\$18,324.68	\$1,089,087.04
10	Aislación hidráulica 4mm	m2	59.4328	\$10,470.14	\$622,269.74
11	Triple vidriado hermético	m2	11.055	\$518,235.63	\$5,729,094.89
				Total	\$30,882,032.43

Tabla 112: Computo vivienda eficiente Milagros Ushuaia.

Los resultados obtenidos para esta localidad son similares a los que se obtuvieron en la anterior, esto debido a que ambos se encuentran en zonas australes de nuestro país.

Se presenta la siguiente tabla a modo de resumen y comparativa de cada uno de los valores, donde el color verde representa las viviendas eficientes mientras que el rojo las económicas:

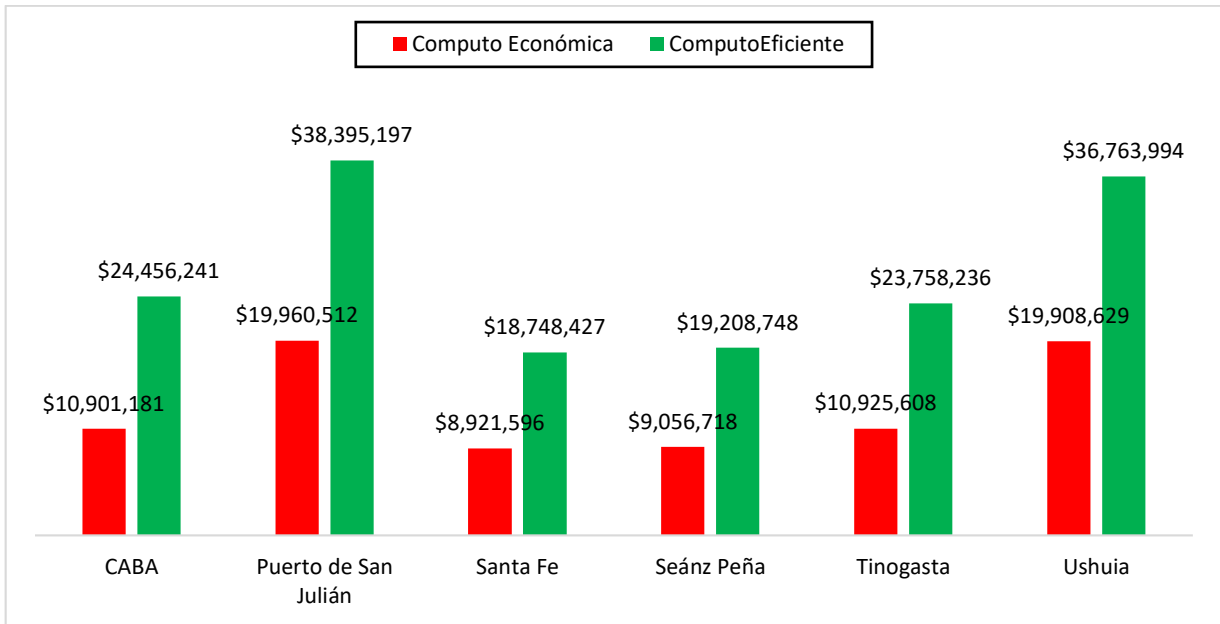


Tabla 113: Comparativa de los cálculos para la vivienda Aimé.

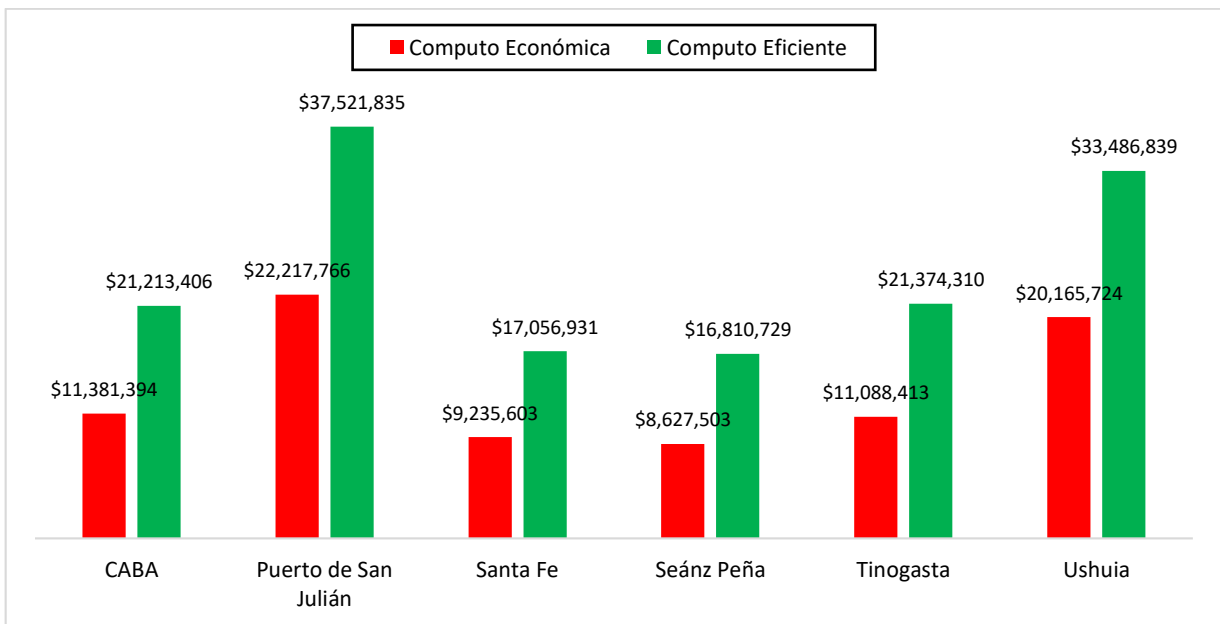


Tabla 114: Comparativa de los cálculos para la vivienda Alfonsina.

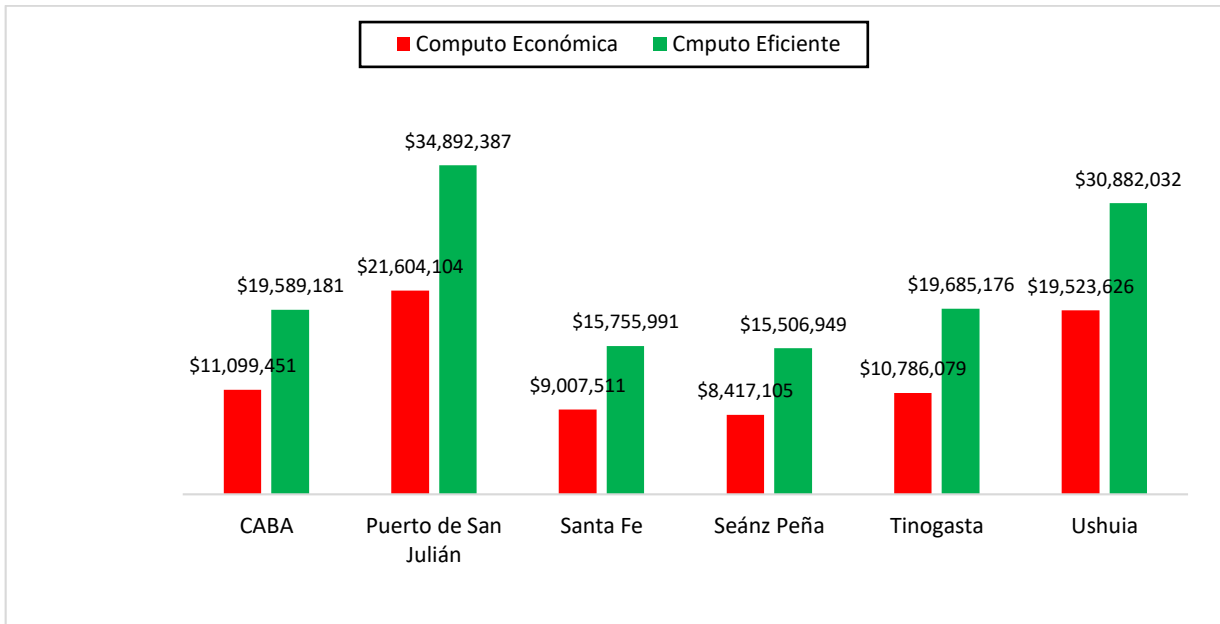


Tabla 115: Comparativa de los cómputos para la vivienda Milagro.

A continuación, se presenta el modelado de las viviendas, aplicando los paquetes seleccionados para llevar a cabo el análisis financiero. Aunque el análisis de la rentabilidad no se haga en todas las localidades, se consideró de oportuno enseñar los resultados de ahorro energético que se obtienen en cada localidad al usar una envolvente más costosa pero eficiente energéticamente.

Este modelado sigue el mismo enfoque que se utilizó para el segundo modelo de las viviendas, ya que, como concluimos previamente, representa el escenario más realista. Posteriormente, se realizó la simulación en cada una de las localidades para obtener el consumo energético anual, tanto de refrigeración como de calefacción. Los resultados de energía obtenidos para cada tipología de vivienda se ilustran en las gráficas que siguen, permitiendo observar y comparar los requerimientos energéticos anuales de cada caso.

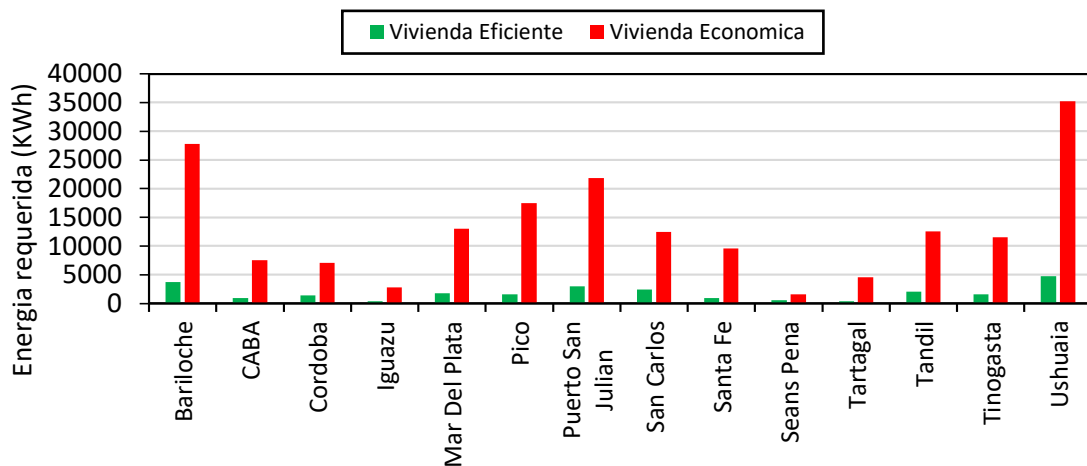


Gráfico 113: Comparación energía para calefacciones en vivienda Milagros.

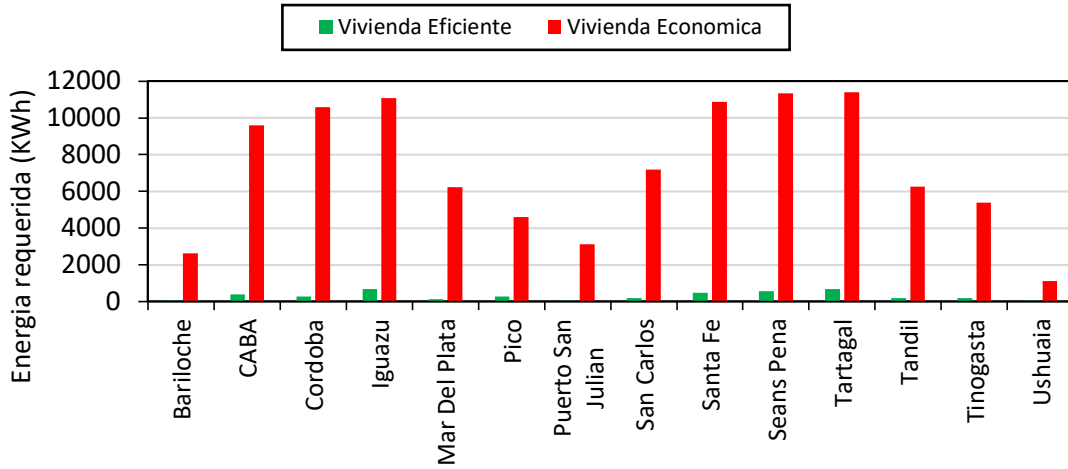


Gráfico 114: Comparación energía para refrigerar en vivienda Milagros.

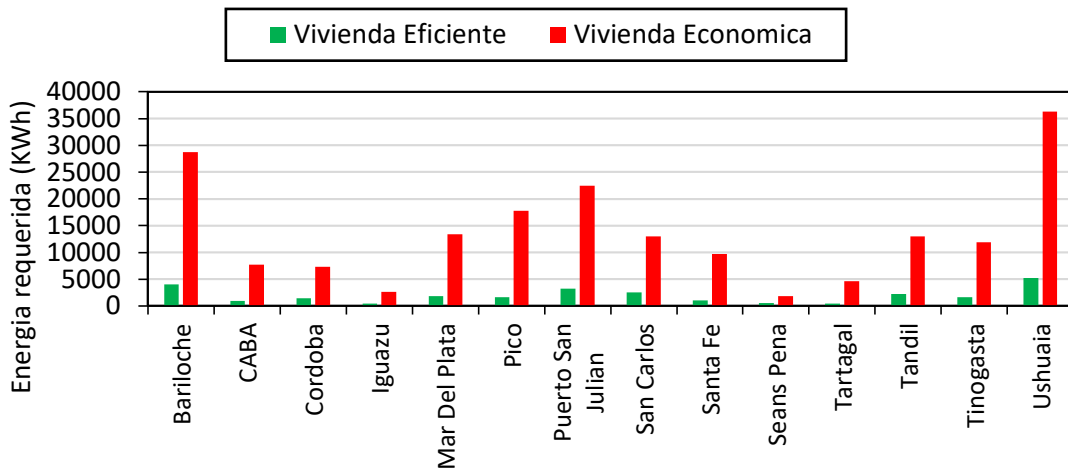


Gráfico 115: Comparación energía para calefacciones en vivienda Alfonsina.

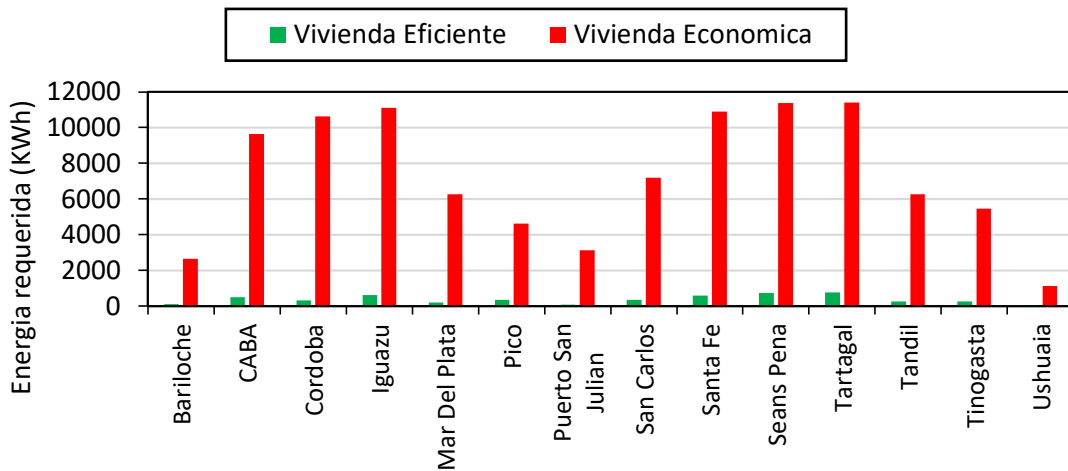


Gráfico 116: Comparación energía para refrigerar en vivienda Alfonsina.

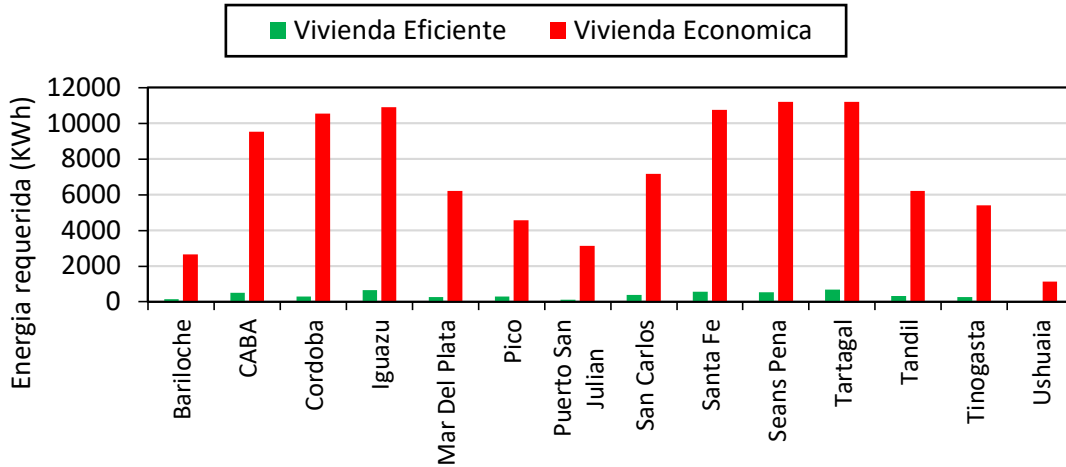


Gráfico 117: Comparación energía para calefacciones en vivienda Aimé.

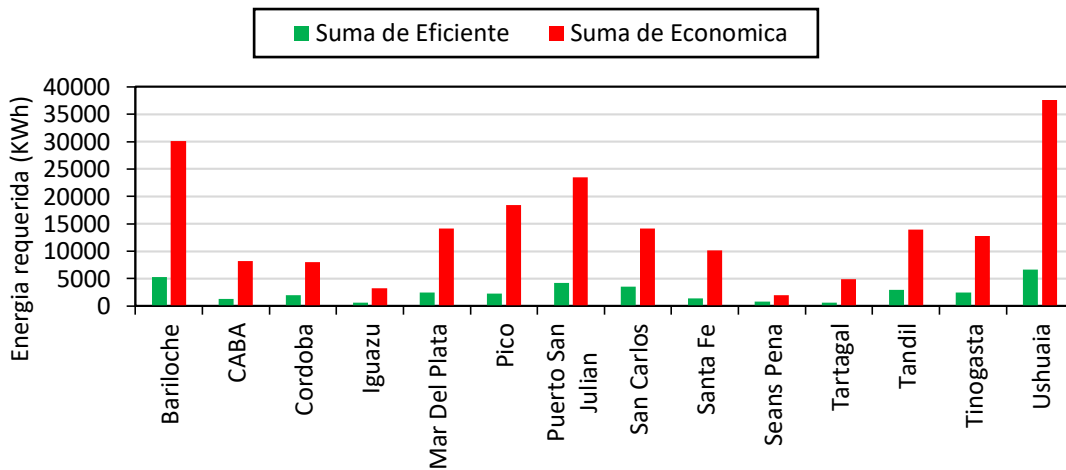


Gráfico 118: Comparación energía para refrigerar en vivienda Aimé

Para el futuro análisis hay considerar, es que los resultados que mostrados anteriormente son de energía útil necesaria, es decir que para obtener la energía secundaria que se utiliza hay que afectar esos valores por el rendimiento medio ponderado de los sistemas activos de calefacción y refrigeración. Por lo que para obtener los valores de energía secundaria debemos hacer el siguiente calculo:

$$Es = \frac{Eu}{\eta}$$

Donde:

- *Es* es la enegia secundaria
- *Eu* es la energía util obtenida del software.
- η Es el factor de rendimiento util ponderado, le cual varia según el equipo que se use

Para la refrigeración utilizaremos un aire acondicionado Split, de etiqueta A mientras que para la calefacción el equipo será una estufa de tiro balanceado con etiqueta A. Según Secretearía de

Energía de la Nación, la cual asigna valores medios en función a normativa vigente asociada a registros de ventas, establece los coeficientes de performance son 3.60 y 0.71 respectivamente.

8.2. Análisis del costo energía.

Hasta el momento tenemos definido qué cantidad de energía consume cada una de las tipologías según la región. El siguiente paso es calcular el valor económico de este consumo energético, empleando las tarifas de los servicios correspondientes. Dado que las tarifas varían según la localidad, el proveedor y el nivel de ingresos de los tomaremos en cuenta los siguientes criterios para establecer los valores:

- Como la energía eléctrica varía según la cantidad de kW consumidos, se decidió tomar, para todos los casos, el valor del kW cuando se superan los 300.
- Si bien pueden existir otros consumos de gas, como el utilizado para cocinar, se considerará que en un año solamente se usa el obtenido en nuestro estudio. Esto es para la determinación de la tarifa base según la categoría correspondiente al consumo.
- Los usuarios se encuentran divididos en tres categorías residenciales según el esquema de segmentación vigente desde 2022. Los usuarios de altos ingresos (N1) están contemplados para pagar el costo pleno de la energía, los de ingresos bajos (N2) con tarifa social y los de ingresos medios (N3) con un tope de consumo subsidiado. Se optó por tomar los precios correspondientes a los usuarios N2.
- Los valores considerados son sin impuestos.
- Como la medición del consumo de gas natural es en metros cúbicos, es necesario ajustar nuestros resultados obtenidos según el poder calorífico. Para la red de nuestro país, el valor más representativo es que 1 m³ equivale a 9.3 kW.
- Los valores de las tarifas que se utilizan son los correspondientes a octubre del 2024.

Para las localidades que no cuenten con gas en red, se utilizará el equivalente necesario de gas envasado.

Se enseñan a continuación un resumen de las tarifas obtenidas con el posterior análisis económico:

Localidad	Cuota servicio	Precio	Proveedor
Sáenz Peña	\$2,277.81	\$153.23	SECHEEP
Santa Fe	\$1,192.15	\$114.79	EPESF
CABA	\$1,838.77	\$94.34	EDENOR
Tinogasta	\$19,202.50	\$109.31	ECSAPEM
Puerto San Julián	\$11,400.00	\$32.10	SPSE Santa Cruz
Ushuaia	\$1,702.61	\$83.11	Dirección Provincial de Energía de Tierra del Fuego

Tabla 116: Cuadro tarifario luz según localidad.

Localidad	Cargo fijo		Precio m3	Proveedor
Sáenz Peña	R1	\$2,442.62	\$177.87	Gasnea S.A.
Santa Fe	R1	\$1,886.94	\$109.75	Litoral Gas S.A.
	R3.2	\$10,000.40		
CABA	R1	\$2,386.46	\$183.40	Metrogas S.A.
	R3.1	\$13,336.75		
Tinogasta	R1	\$2,589.86	\$164.62	ECOGAS
	R3.3	\$23,725.76		
Puerto San Julián	R1	\$7,744.23	\$117.66	Camuzzi Gas
	R3.4	\$24,039.29		
Ushuaia	R2.2	\$14,918.35	\$105.27	Camuzzi Gas
	R3.4	\$24,039.29		

Tabla 117: Cuadro tarifario gas natural según localidad.

Para realizar el análisis y calcular tanto la Tasa Interna de Retorno (TIR) como el Valor Actual Neto (VAN), se elaboró una tabla que muestra el desarrollo anual de la inversión de 30 años. Las mismas se enseñan en el Anexo, en este trabajo se mostrará los resultados obtenidos en cada una.

El valor de la inversión inicial aparece como un monto negativo, reflejando la diferencia en el costo de construcción entre las viviendas "económicas" y las "eficientes". El beneficio anual es constante para cada localidad y representa el ahorro en gastos de consumo energético que ofrecen las viviendas eficientes en comparación con las económicas.

El beneficio total muestra el balance entre el costo inicial y el ahorro acumulado en los 00 años que se proyecta la inversión, de aquí podemos identificar el momento en que el ahorro total supera la inversión inicial y se alcanza el punto de equilibrio. Esto nos permitirá visualizar en qué año se recupera la inversión inicial.

Finalmente, presentan los valores de TIR y VAN. Estos indicadores financieros permitirán determinar la viabilidad económica de la inversión; un VAN positivo y una TIR superior al costo de capital indicarían que la inversión es rentable y favorable a largo plazo. Los mismos se calcularon con una Tasa Mínima de Rentabilidad del 1%, para un periodo de 30 años.

Localidad	Inversión Inicial	Beneficio Anual	Beneficio Total	VAN	TIR
Sáenz Peña	-\$10,152,030.13	\$523,451.58	\$317,001.52	\$3,323,817.41	3%
Santa Fe	-\$9,826,830.23	\$570,961.62	\$1,592,402.20	\$4,859,782.87	4%
CABA	-\$13,555,060.09	\$557,809.93	\$947,998.02	\$832,411.64	1%
Tinogasta	-\$12,832,628.03	\$659,767.55	\$362,723.06	\$4,152,931.20	3%
Puerto San Julián	-\$16,803,481.96	\$558,207.03	-\$5,639,341.41	-\$1,282,234.54	0%
Ushuaia	-\$16,855,364.71	\$620,761.33	-\$4,440,138.06	-\$826,670.65	1%

Tabla 118: Análisis de inversión para vivienda Aimé.

Localidad	Inversión Inicial	Beneficio Anual	Beneficio Total	VAN	TIR
Sáenz Peña	-\$8,183,225.59	\$506,384.16	\$1,944,457.52	\$4,837,018.76	5%
Santa Fe	-\$7,821,328.29	\$570,150.23	\$3,581,676.41	\$6,824,695.66	6%
CABA	-\$9,832,011.48	\$558,955.22	\$1,347,092.89	\$4,547,863.08	4%
Tinogasta	-\$10,285,896.52	\$665,511.76	\$3,024,338.68	\$6,821,224.55	5%
Puerto San Julián	-\$15,304,069.05	\$566,141.98	-\$3,981,229.39	-\$686,378.16	1%
Ushuaia	-\$13,321,115.58	\$631,176.49	-\$697,585.76	\$2,938,715.97	2%

Tabla 119: Análisis de inversión para vivienda Alfonsina.

Localidad	Inversión Inicial	Beneficio Anual	Beneficio Total	VAN	TIR
Sáenz Peña	-\$7,089,843.56	\$523,451.58	\$3,379,188.09	\$6,355,685.30	6%
Santa Fe	-\$6,748,480.32	\$570,961.62	\$4,670,752.11	\$7,907,654.07	7%
CABA	-\$8,489,730.27	\$557,809.93	\$2,666,468.27	\$5,847,589.67	5%
Tinogasta	-\$8,899,096.27	\$659,767.55	\$4,296,254.82	\$8,047,517.10	6%
Puerto San Julián	-\$13,288,283.58	\$558,207.03	-\$2,124,143.03	\$1,106,693.57	2%
Ushuaia	-\$11,358,406.51	\$620,761.33	\$1,056,820.15	\$4,615,862.22	4%

Tabla 120: Análisis de inversión para vivienda Milagros.

De este análisis podemos concluir que, en términos de rentabilidad, los beneficios resultan bastante bajos. Esto se debe principalmente a que el estudio se basa en el ahorro energético considerando las tarifas actuales, las cuales están subsidiadas. Para realizar un análisis más completo y evaluar el verdadero ahorro, sería necesario considerar el costo real de producción y transporte de la energía hacia cada una de las localidades analizadas.

Además, los ahorros en el consumo energético hubiera que agregarle los incentivos o subsidios para tecnologías sostenibles, los cuales dejamos afuera de este análisis. Todo esto transforman esta inversión inicial en un ahorro significativo para los propietarios. Este retorno no solo contribuye al bienestar económico de las personas al reducir sus gastos mensuales, sino que también fomenta la sostenibilidad al disminuir el impacto ambiental de cada vivienda.

A esto hay que sumarle que, a nivel comunitario, un aumento en las construcciones eficientes puede aliviar la presión sobre las redes de energía, reduciendo la demanda en períodos de alta carga y potenciando la estabilidad de los sistemas energéticos. Este tipo de proyectos ofrece, en última instancia, una sinergia entre economía y ecología, mostrando que la inversión en eficiencia energética es un camino viable y necesario para una construcción más responsable y rentable.

Por último, es importante destacar que este análisis se ha centrado en la envolvente y algunos aspectos específicos de la misma. Una evaluación más detallada y exhaustiva, en la que se lleven en cuenta la combinación de otros tipos de aspectos adicionales como el diseño geométrico, podría

revelar oportunidades adicionales para reducir aún más el consumo energético, haciendo que la inversión sea más rentable de lo ya considerado.

Otro aspecto a considerar es que la vivienda más desfavorable resultó ser Aimé, la cual cuenta con la mayor superficie vidriada. Esto se debe a la significativa diferencia en el rendimiento térmico entre los vidrios simples y los triples vidrios herméticos. Sería posible reducir costos si se emplearan otros tipos de vidrio que, aunque no sean tan efectivos como los analizados, puedan ofrecer resultados similares en términos de consumo energético.

Existen muchas otras medidas que podrían contribuir a mejorar la eficiencia energética de las viviendas, como la incorporación de sistemas de generación de energía propia o el uso de electrodomésticos más eficientes. Sin embargo, el alcance de este estudio se centró únicamente en analizar ciertos aspectos de la envolvente térmica. En particular, se trabajó con la resistencia térmica del techo y los muros, así como con el U-Factor y el coeficiente de ganancia solar de las ventanas.

Esta limitación en el número de variables de decisión fue necesaria para mantener la viabilidad del análisis dentro del marco de tiempo y recursos disponibles. Aun así, esta elección permitió obtener conclusiones relevantes sobre la importancia de estos elementos específicos en el desempeño energético de las viviendas.

En futuras investigaciones, sería enriquecedor ampliar el estudio para incluir un mayor número de variables de decisión. Esto podría incluir, por ejemplo, la consideración de sistemas pasivos y activos de acondicionamiento térmico, o el impacto de elementos como toldos, cortinas y vegetación cercana. Además, sería interesante explorar cómo estas medidas interactúan entre sí, lo que podría revelar estrategias de diseño más eficientes y adaptadas a cada contexto climático y económico.

Por último, incorporar otros tipos de edificaciones, como viviendas multifamiliares o edificios de uso mixto, podría proporcionar una perspectiva más completa sobre la aplicación de medidas de eficiencia energética a escala urbana o regional. Esto contribuiría a generar recomendaciones más integrales para la mejora del sector habitacional en distintas partes del país.

Este trabajo, por lo tanto, invita a futuras investigaciones a profundizar en esta temática, explorando qué combinaciones de factores pueden aplicarse para reducir la brecha en la inversión inicial entre las diferentes opciones de construcción, sin comprometer significativamente el rendimiento energético.

9. RECOMENDACIONES Y PROPUESTAS DE MEJORAS.

En la **Zona I (Muy Cálida)**, se recomienda utilizar colores claros en paredes exteriores y techos para disminuir el coeficiente de absorción solar de las superficies opacas y reflejar el calor. La envolvente no debe ser excesivamente aislante, por lo que la resistencia total del paquete constructivo no debe superar los $6 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Se sugiere orientar el eje mayor de la vivienda hacia el sur, minimizar las ventanas hacia el este y oeste para reducir la carga térmica, y fomentar la ventilación cruzada aprovechando los vientos dominantes. Es importante evitar ventanas demasiado grandes para limitar el ingreso de energía solar, emplear aleros para proporcionar sombra y utilizar vidrios con bajo coeficiente de ganancia solar mediante tratamientos específicos.

En la **Zona II (Cálida)**, se mantienen las recomendaciones de la Zona I. El aislamiento térmico, los colores claros y la ventilación cruzada siguen siendo fundamentales, con especial atención a minimizar las ventanas hacia el este y oeste. Las orientaciones favorables son norte y sur, mientras que este y oeste son desfavorables debido al alto ingreso solar. En cuanto a las ventanas y el paquete constructivo, los valores recomendados son similares a la Zona I, aunque en localidades con inviernos más fríos, como Santa Fe, se puede aprovechar la energía solar para calefacción. En estos casos, se sugiere un valor de ganancia solar del vidrio cercano a 0.5.

En la **Zona III (Templada Cálida)**, debido a las grandes amplitudes térmicas, se prioriza una alta inercia térmica. Las superficies deben tener una absorción solar moderada, utilizando colores intermedios que equilibren la ganancia solar en invierno y el control térmico en verano. Se recomienda orientar la vivienda hacia el norte para maximizar el aporte solar en invierno y reducirlo en verano, complementando con aleros de hasta 1 metro de profundidad. La envolvente debe ser más aislante, con una resistencia térmica óptima entre 7 y $9 \text{ m}^2\cdot\text{K}/\text{W}$. Las ventanas deben tener un tamaño intermedio, con una relación óptima pared/cristal de 0.6, y vidrios de baja conductividad térmica y un SHGC (coeficiente de ganancia solar) cercano a 0.5, para equilibrar el confort térmico.

En la **Zona IV (Templada Fría)**, se adoptan estrategias similares a la Zona III, aunque con mayor énfasis en la orientación hacia el noreste para maximizar la ganancia solar. Las ventanas deben tener un SHGC alto, idealmente alrededor de 0.7, y máxima resistencia térmica. La envolvente también debe ser lo más aislante posible. La relación ventana/pared sigue siendo similar, pero con aleros más pequeños, de aproximadamente 0.5 metros de profundidad, para permitir un mayor ingreso de luz solar durante los meses más fríos.

En la **Zona V (Fría)**, se prioriza el aislamiento térmico extremo en paredes, techos y suelos, buscando resistencias térmicas máximas. Las ventanas deben ser pequeñas en orientaciones sur para minimizar pérdidas, mientras que, en las orientaciones norte, este y oeste se prefieren ventanas grandes para aprovechar al máximo las ganancias solares. Los vidrios deben permitir una alta transmisión de energía solar (SHGC elevado), evitando sombras o aleros sobre ellos. La orientación ideal para la mayor superficie vidriada es el noroeste, aunque oeste, este y norte también son opciones favorables.

Finalmente, en la **Zona VI (Muy Fría)**, las recomendaciones de la Zona V se intensifican. En estas áreas extremas, es esencial maximizar la resistencia térmica de todos los elementos constructivos y diseñar para minimizar pérdidas y optimizar las ganancias solares.

10. CONCLUSIÓN.

El presente proyecto final tuvo como premisa reducir el consumo interno de energía en viviendas residenciales, manteniendo condiciones de confort sin necesidad de inyectar energía adicional. El objetivo principal fue lograrlo mediante el diseño de la envolvente, considerando aspectos como los materiales a utilizar, el diseño geométrico de las ventanas y la superficie cubierta, así como la orientación de la vivienda.

Para identificar las variables de la envolvente con mayor impacto en la construcción, se llevó a cabo un análisis de sensibilidad detallado. Este análisis se realizó en todas las zonas climáticas del país, incluyendo varias localidades dentro de algunas zonas para evaluar cómo las condiciones externas afectan el confort térmico.

Se optó por el modelo BESTEST debido a su simplicidad, lo que facilitó la obtención de resultados claros y aplicables. A partir de los resultados del análisis, se identificaron las variables más influyentes y aquellas más factibles de intervenir. Entre estas, se priorizó el trabajo con los paquetes constructivos de los muros y el techo, así como el tipo de cristal o vidrio empleado en las ventanas, debido a su alta incidencia y facilidad de intervención.

Para esto, se consideraron únicamente paquetes constructivos y materiales actualmente utilizados en la construcción en el país, evitando plantear escenarios poco viables en la práctica. Con la selección de materiales y las alternativas tecnológicas disponibles en el mercado, se utilizó un optimizador para evaluar todas las combinaciones posibles de los elementos seleccionados. Este proceso permitió analizar cómo interactúan entre sí y determinar qué soluciones constructivas son más convenientes según la zona climática.

Los resultados obtenidos fueron estudiados mediante pruebas en viviendas modelo Procrear previamente seleccionadas. En este análisis, se evidenció que las propiedades teóricas de la envolvente deben estar alineadas con la realidad de su uso; al prescindir de estos factores, los resultados obtenidos tienden a ser poco realistas. Esto subraya la importancia de considerar todos los aspectos relacionados con la construcción, además de las propiedades físicas de los materiales.

A partir de los resultados finales obtenidos en el uso de estas viviendas, se llevó a cabo una comparación con la normativa vigente, lo que permitió evidenciar diferencias con métodos dinámicos. Se constató que, al realizar un ensayo estático, los resultados a menudo resultan ser conservadores.

Además, a través de los diferentes ensayos mencionados, se observa cómo la norma presenta limitaciones en su asesoramiento sobre técnicas constructivas eficientes, ya que esta busca establecer un criterio general para todas las localidades independientemente de las condiciones externas. Actualmente, se centra únicamente en el valor de K (inversamente proporcional a la resistencia térmica, R), limitando así la evaluación de la efectividad de una vivienda a la magnitud de este valor. Se persigue, por ende, que el valor de K sea lo más elevado posible. Sin embargo, el análisis de la resistencia de muros y techos en el estudio de sensibilidad demostró que, en zonas más cálidas, un alto valor de K puede convertirse en un aspecto contraproducente. Asimismo, se identificaron otras variables que tienen una influencia notable en el confort térmico, siendo tan determinantes como el valor de K , las cuales a menudo son pasadas por alto por la normativa vigente.

Otro factor que se buscó explorar es el económico. Para cada zona y tipo de vivienda, se realizó un cómputo comparativo de los costos asociados a la construcción de una vivienda bajo parámetros de eficiencia energética, confrontándolo con la elección de materiales más económicos dentro de los paquetes previamente seleccionados para nuestro estudio. El objetivo era comparar la rentabilidad de optar por paquetes que sean energéticamente eficientes y evaluar el ahorro anual que esto podría representar en contraste con aquellos que requieren una inversión inicial menor.

Para esto, se realizó un análisis económico-financiero de la combinación seleccionada, considerando un horizonte temporal de 30 años. Los indicadores de Valor Actual Neto (VAN) y Tasa Interna de Retorno (TIR) mostraron que la inversión genera valor en todos los escenarios analizados

En cuanto a la TIR, los valores observados fueron generalmente bajos, oscilando entre el 1% y el 10%, dependiendo de la zona climática y el tipo de vivienda. Cabe destacar que, en nuestro país, la presencia de numerosos subsidios y las facilidades para acceder a los recursos energéticos dificultan reflejar el verdadero ahorro en los análisis basados exclusivamente en boletas y tarifas energéticas.

Para obtener una evaluación más precisa de la rentabilidad de estas construcciones, es necesario considerar los costos de producción y transporte de la energía hacia las viviendas en cada zona climática. Esto permitiría calcular el ahorro real derivado de la implementación de construcciones más eficientes y su impacto económico a largo plazo.

Por último, es importante destacar que el análisis económico realizado se centró únicamente en algunos componentes específicos de la envolvente, como los materiales de muros, techos y los vidrios de las ventanas. Aunque este enfoque es limitado, los resultados ya evidencian mejoras significativas tanto en términos de eficiencia energética como de rentabilidad económica en comparación con no implementar ningún tipo de optimización.

El trabajo demuestra que, al aumentar la eficiencia energética de la envolvente, se reduce de manera considerable el consumo de energía en kWh. Esto no solo se traduce en un menor impacto ambiental al disminuir las emisiones asociadas al consumo energético, sino también en un ahorro económico significativo para los usuarios, ya que los costos operativos de climatización se reducen considerablemente.

Además, el análisis sugiere que los beneficios podrían incrementarse aún más si se amplía el alcance del estudio para incluir otros elementos, como sistemas de aislamiento adicionales, diseño eficiente de sombras, o incluso detalles arquitectónicos que favorezcan un mejor comportamiento térmico. Estas medidas tienen el potencial de potenciar aún más la reducción del consumo energético y, por ende, incrementar los ahorros económicos.

Cabe destacar que, aunque el horizonte temporal del análisis se limitó a 30 años, la vida útil de una vivienda generalmente supera este período. Por lo tanto, los ahorros proyectados podrían extenderse considerablemente más allá del tiempo analizado, generando acumulativos económicos y energéticos aún mayores a lo largo del ciclo de vida completo de la construcción.

En este contexto, este estudio resalta la importancia de seguir investigando e implementando estrategias de eficiencia energética, no solo como una medida de ahorro económico, sino también como una herramienta clave para promover la sostenibilidad y reducir la dependencia de recursos energéticos no renovables.

En cuanto a los requisitos de evaluación como proyecto, se destaca que, al haberse utilizado materiales existentes, de elaboración madura y suficientemente implementados en el mercado, que no alteran el esquema de trabajo de los posibles inversores, el proyecto se constituye como técnicamente **factible**.

Por último, a partir de los análisis realizados, podemos concluir que es crucial llevar a cabo un estudio más detallado sobre cómo las variables interactúan entre sí. Aislar los comportamientos y el funcionamiento de las variables de manera individual puede llevar a la pérdida de la comprensión de la interacción que realmente existe entre ellas. Esto podría resultar en la omisión de oportunidades o en la percepción de que ciertos factores no tienen una incidencia significativa, cuando, en realidad, es la combinación adecuada de estos factores la que realmente potencia su efecto.

Por todo lo expuesto, este estudio abre la puerta a futuras investigaciones que puedan profundizar en los múltiples factores que afectan la eficiencia energética en las edificaciones. No se trata únicamente de mejorar la envolvente térmica; otros elementos, como el diseño y la eficiencia de las instalaciones, los equipos de climatización, ventilación e iluminación, y las estrategias de gestión energética, también son fundamentales para lograr la eficiencia energética. Abordar de manera integral estos factores permitirá desarrollar soluciones más completas y adaptativas, contribuyendo así a reducir el consumo energético y a promover un entorno construido más sostenible.

11. BIBLIOGRAFÍA.

- U.S. Department of Energy. (2024). "Energy Plus™ Version 24.1.0 Documentation: Engineering Reference". The Board of Trustees of the University of Illinois, The Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, managed by UT-Battelle, Alliance for Sustainable Energy, LLC, and other contributors.
- U.S. Department of Energy. (2024). "Energy Plus™ Version 24.1.0 Documentation: Input Output Reference". The Board of Trustees of the University of Illinois, The Regents of the University of California through the Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, Oak Ridge National Laboratory, managed by UT-Battelle, Alliance for Sustainable Energy, LLC, and other contributors.
- Malcolm Orme, Martin W. Liddament & Andrew Wilson. (1998) "Numerical Data for Air Infiltration and Natural Ventilation Calculations." IEA Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme, Annex V Air Infiltration and Ventilation Centre.
- Ministerio de Energía y Minería, Secretaría de Estado de la Energía Provincia de Santa Fe, CNAE, INTI & IRAM (2016). "Procedimiento de cálculo del índice de prestaciones energéticas (IPE)". Presidencia de la Nación, Secretaría de Estado de la Energía, Provincia de Santa Fe.
- Ministerio de Energía y Minería Presidencia de la Nación – Secretaria de Estado de la Energía Provincia de Santa Fe (2017) "Curso de capacitación de certificadores energéticos".
- Secretaría de Vivienda (2016) *Guía para el cálculo de transmitancia térmica*. Buenos Aires.
- Norma IRAM N° 11549 (2002) *Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario* (1ª ed.).
- Norma IRAM N° 11625 (versión año 2000) - Verificación del riesgo de condensación de vapor de agua.
- Norma IRAM N° 11900 (versión año 2010) – Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios.
- Norma IRAM N° 11601 (versión año 2002) – Aislamiento térmico de edificios/Métodos de cálculo.
- Norma IRAM N° 11603 (2012) *Aislamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina* (1ª ed.).
- Norma IRAM N° 11604 (2001) *Aislamiento térmico de edificios. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor*
- Norma IRAM N° 11605 (1996) *Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en viviendas. Valores máximos admisibles de Transmitancia Térmica "K"* (1ª ed.).
- Hill, D. R. (2019) "Energy Efficiency Financing: A review of risks and uncertainties".

- F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2007) *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (6ª ed.). John Wiley & Sons.
- Çengel, Y. A. (2003) *Heat Transfer: A Practical Approach* (2ª ed.). Nueva York: McGraw-Hill.
- Azqueta, P. (2014) *Manual práctico del aislamiento térmico en la construcción: EPS-Poliestireno Expandido. De acuerdo a la Ley 13059 de la provincia de Buenos Aires y su Decreto Reglamentario 103*. Buenos Aires.
- Gonzalo, G. E. en colaboración con Viviana María Nota (2015) *Manual de arquitectura bioclimática y sustentable*. Buenos Aires.
- Balance Energético Nacional de la República Argentina. Ministerio de Energía y Minería. Presidencia de la Nación (2018) "Balance energético Nacional de la República Argentina".
- Orme, M., Liddament, M. W., & Wilson, A. (1998) *Numerical Data for Air Infiltration and Natural Ventilation Calculations*.
- Demarchi, M. C. (2023) Optimización basada en simulación de la eficiencia energética de edificios.