



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Modelado y análisis térmico en viviendas MEVIR

Autor: Ing. Lucía Garín Yamgotchian

Programa de Posgrado en Ingeniería de la Energía

Facultad de Ingeniería

Universidad de la República

Montevideo – Uruguay

Junio de 2021



UNIVERSIDAD
DE LA REPUBLICA
URUGUAY



Modelado y análisis térmico en viviendas MEVIR

Tesis de Maestría presentada al Programa de Posgrado en Ingeniería de la Energía, Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República, como parte de los requisitos necesarios para la obtención del título de Magíster en Ingeniería de la Energía

Directores de tesis:

Dr. Italo Bove

Dr. Ing. Pedro Galione

INTEGRANTES DEL TRIBUNAL DE DEFENSA DE TESIS

Dr. Ing. Federico Favre

Dra. Silvana Flores Larsen

Mg. Arq. María Noel López Salgado

Esta tesis va dedicada a mi abuela María, quien ya tantas décadas atrás transmitía en la familia la importancia de la educación. A mis padres, quienes desde chica me inculcaron los valores que hoy traigo y me enseñaron a siempre luchar y seguir adelante. Y muy especialmente a mi esposo Luis, que siempre me apoya y acompaña en todo lo que emprendo, dándome la fuerza necesaria en cada pequeño y gran paso.

Agradecimientos

A la Facultad de Ingeniería de la UDELAR y la SCAPA-E por la posibilidad de cursar esta Maestría y por el apoyo recibido durante todo el posgrado. A MEVIR, por permitir tomar sus viviendas como modelo de estudio para esta tesis y poner a disposición los datos necesarios para creación del modelo. A todos los integrantes del IMPII que colaboraron con sus conocimientos sobre distintos aspectos teóricos cuando se precisó colaboración. Por último y más importante: a mis dos tutores que me acompañaron durante todo el proceso de este trabajo, colaborando en cada etapa, enseñándome y apoyándome

Resumen

La eficiencia energética en edificaciones viene cobrando cada vez mayor importancia tanto a nivel mundial como nacional. El consumo final energético del sector residencial en Uruguay ha venido creciendo y representó en 2018 el 18% del consumo final de nuestro país. Se busca que este crecimiento – con apoyo de normativas y políticas nacionales – pueda darse en forma sostenible y responsable, planteándose el desafío de que aspectos de sustentabilidad y eficiencia en el confort térmico puedan ser tenidos en cuenta al momento de diseñar las construcciones. Dado que las edificaciones tienen una larga vida útil y un importante potencial consumo energético, las decisiones tomadas al momento de diseñar y construir pueden tener consecuencias que perduren por décadas.

El objetivo de esta tesis es realizar un análisis termo-energético enfocado en la eficiencia energética de una tipología constructiva de vivienda de interés social (centrado en la envolvente), ver cómo inciden a nivel energético los distintos aspectos de diseño y construcción, así como también evaluar distintas medidas de eficiencia y mejoras planteadas.

Como ejemplo para el estudio de esta tesis se considera una de las tipologías constructivas de mayor uso de MEVIR al momento, institución que en sus más de 50 años de vida ha brindado por encima de 30.000 soluciones habitacionales en todo el país.

A través del análisis mencionado, se busca identificar medidas de mejora y proponer aquellas que se considera podrían ser incorporadas y/o evaluadas por las instituciones para mejorar el confort de los destinatarios de las viviendas que se construyen, población que se encuentra en su mayoría en estado de vulnerabilidad, por lo cual es vital poder generarles todas las herramientas posibles que potencien su calidad de vivienda y de vida.

La metodología adoptada para la evaluación del comportamiento térmico y energético de la vivienda de estudio en este trabajo es el método de simulación térmica. Se utiliza la herramienta CYPETHERM Eplus cuyo motor de cálculo es el EnergyPlus (versión 8.7), el cual es ampliamente utilizado a nivel internacional y permite realizar análisis energéticos y determinar cargas térmicas partiendo de una descripción del edificio. El proceso consiste en, inicialmente, el ingreso de la geometría seleccionada, así como los materiales constructivos, datos de variables meteorológicas (a través de los Años Meteorológicos Típicos disponibles, para las ciudades de Salto y Montevideo), ocupación de la vivienda, perfiles de uso, permeabilidad a las infiltraciones de elementos de la envolvente, entre otros aspectos. Asimismo, se definen los rangos de confort considerados adecuados para la evaluación del nivel de confort. Todas las simulaciones se realizan manteniendo la vivienda en régimen de fluctuación libre, es decir, sin ningún medio de acondicionamiento térmico para mantener la vivienda dentro del confort.

En primer lugar se presentan los resultados de confort interior para la vivienda modelo base, para los dos emplazamientos considerados. A continuación, para identificar las estrategias más adecuadas para la

vivienda de estudio, se realiza en primera instancia un *análisis de sensibilidad* de distintos parámetros de interés, incluyendo tanto factores externos/climáticos, como factores de uso, así como también mejoras propias a nivel constructivo de la vivienda. Este análisis se complementa con un *análisis de orientaciones*, centrado en evaluar cómo se ve afectado el confort de la vivienda de estudio en función de la orientación de la misma. Finalmente se presentan las propuestas de mejora para los dos modelos base de partida (Salto y Montevideo), tanto para la versión de orientación original como para la orientación más desfavorable de las cuatro estudiadas en el análisis de orientaciones.

Evaluando las distintas propuestas de mejora se concluye que las principales medidas – es decir, aquellas que generan una mayor mejora en el confort para las viviendas – resultan el cambio de la solución de cubierta por una placa de poliestireno expandido, la incorporación de persianas en las aberturas del living-comedor y la reubicación de aberturas, favoreciendo su presencia en la fachada que apunta al norte y evitando la fachada hacia el sur. Esta última propuesta en particular resulta más efectiva para Montevideo, donde el desconfort por temperaturas elevadas es muy bajo. De todas formas, no resulta en el global contraproducente para la vivienda en Salto dado que a pesar de que en este caso sí se evidencia un aumento de desconfort durante el período caluroso, el mismo es compensado por una mayor reducción del desconfort durante el período frío. Es importante destacar que esto ocurre así dado que estas aberturas cuentan con elementos de protección, y se parte del supuesto de un perfil de uso optimizado de los mismos, que se demostró aprovecha ya al máximo la ganancia solar en invierno y protege a su vez el control de ingreso de energía solar durante el período caluroso.

Respecto a la cubierta de poliestireno expandido – estrategia de reducir la transmitancia térmica de la cubierta a la mitad – se destaca genera una gran impacto para ambas localidades así como también para las orientaciones más y menos favorable, llegando a reducir el desconfort hasta un 25%. El cambio de la ubicación en fachada de aberturas, tuvo un mayor impacto en la localidad de Montevideo, llegando incluso a ser la estrategia que mayor reducción de desconfort produjo para la vivienda de Montevideo con orientación más desfavorable (reducción del orden del 20%). La incorporación de elementos de protección para las aberturas del living, por el contrario, tuvo un mayor impacto para la vivienda emplazada en Salto, alcanzando una reducción también mayor al 20%. De todas formas se trata de una estrategia que genera una mejora importante para todos los casos pero condicionado a un perfil de uso adecuado de estos elementos de protección. Se destaca la importancia del rol del usuario y su incidencia en la mejora de confort de la vivienda.

Por último, se llega a que la orientación de la vivienda tiene una alta incidencia en el confort, alcanzando variaciones mayores al 40% entre los resultados obtenidos para las distintas orientaciones. Esto se da tanto para Salto como para Montevideo. Se concluye que para la vivienda de orientación más desfavorable es necesario aplicar medidas que conllevan una inversión económica para alcanzar un confort equiparable al de la vivienda con orientación original. La conclusión principal a la que se arriba con esto, entonces, es la importancia de adoptar como medida de mejora la elección adecuada de la orientación de la vivienda al

proyectar su implantación, siempre que se pueda optar por la misma. En caso contrario, donde esta venga dada, la estrategia asociada estará en la elección adecuada de la ubicación de las aberturas, en función de la orientación dada.

Palabras clave: *simulación energética de edificio, eficiencia energética, confort térmico, vivienda de interés social*

Abstract

Energy efficiency in buildings has become increasingly important at both international and national level. Final energy consumption in the Uruguayan residential sector has grown, and represented 18% of final consumption of this country in 2018. It is intended that this growth - with the support of national regulations and policies - can take place in a sustainable and responsible manner, posing the challenge that aspects of sustainability and efficiency in thermal comfort can be taken into account when designing buildings. Given that buildings have a long lifetime and significant potential energy consumption, decisions made when designing and constructing those buildings can have consequences that last for decades.

The objective of this thesis is to carry out a thermo-energetic analysis focused on the energy efficiency of a constructive building type of social housing (centered on the envelope), to see how the different aspects of design and construction affect thermal and energy comfort, as well as evaluate different efficiency measures and improvement proposals.

For the study of this thesis, it is considered one of the most widely used building type at the moment of MEVIR, an institution that in its more than 50 years of life has provided over 30,000 housing solutions throughout the country.

The aforementioned analysis seeks to identify improvement measures and propose those that are considered worth to be introduced and / or evaluated by institutions in order to improve comfort of houses' final users, a population that is mostly in state of vulnerability, for which it is vital to be able to generate all the possible tools that enhance their quality of housing and life.

The methodology adopted for the evaluation of the thermal and energy performance of the house under study in this work is the thermal simulation method. CYPETHERM Eplus is used, software which has EnergyPlus as calculation engine: a tool widely used internationally and that allows energy analysis and determination of thermal loads based on a description of the building. The process consists of, initially, enter the selected geometry, as well as the construction materials, data of meteorological variables (through the Typical Meteorological Years available, for the cities of Salto and Montevideo), occupation of the house, user profiles, permeability to infiltration of elements of the envelope, among other aspects. Likewise, the comfort ranges that are suitable for evaluating the comfort level are defined. All the simulations are carried out keeping the house in a free fluctuation regime, that is, without any means of thermal conditioning to keep the house within comfort ranges.

In the first place, the results of interior comfort for the base model house are presented, for the two sites considered. Next, in order to identify the most appropriate strategies for the building object of study, a sensitivity analysis of different parameters of interest is carried out in the first instance, including both external / climatic factors, as well as usage factors and construction improvements. This analysis is complemented with an orientation analysis, focused on evaluating how the comfort of the house is affected

depending on its orientation. Finally, the improvement proposals for the two starting base models (Salto and Montevideo) are presented, both for the original orientation version and for the most unfavorable orientation of the four studied in the orientation analysis.

After evaluating the different improvement proposals, it is concluded that the main measures - that is, those that generate a greater improvement in comfort for homes - result in the change of the roof solution for an expanded polystyrene sheet, the incorporation of blinds in the openings in the living-dining room and the relocation of openings, favoring their presence on the north-facing façade and avoiding the south-facing façade. This last proposal in particular is more effective in Montevideo, where the discomfort due to high temperatures is very low. In any case, it does not result counterproductive in the overall for Salto since, although in this case there is evidence of an increase in discomfort during hot periods, it is offset by a greater reduction in discomfort during cold periods. It is important to notice that this is the case given that these openings have protection elements, and it is assumed that they have an optimized usage profile, which has already been shown to make the most of solar gain in winter and, in turn, protects the control of solar energy input during hot periods.

Regarding the expanded polystyrene sheet insulation - a strategy that reduces thermal transmittance of the roof by half - it stands out that it generates a great impact for both locations, as well as for the most and least favorable orientations, reducing discomfort by up to 25%. The change in the location of the openings façade had a greater impact on the town of Montevideo, even becoming the strategy that produced the greatest reduction in discomfort for the house located in Montevideo with the most unfavorable orientation (reduction in the order of 20%). Incorporating protection elements (blinds) for living-room' openings, on the contrary, had a greater impact for the dwelling located in Salto, reaching a reduction also greater than 20%. In any case, it is a strategy that generates an important improvement for all cases, but conditioned to an adequate usage profile of these protection elements. The importance of the role of users and its incidence in improving house-comfort is to be highlighted.

Finally, house-orientation has a high incidence on its comfort, reaching variations greater than 40% between the results obtained for the different orientations. This is true for both Salto and Montevideo. It is concluded that for houses with the most unfavorable orientation it is necessary to apply measures that entail an economic investment in order to achieve a comfort comparable to that of the correspondent house with original orientation. The main conclusion reached with this, then, is the importance of adopting as an improvement measure the appropriate choice of house-orientation when planning its implementation, provided that it can be chosen. Otherwise, where this is given, the associated strategy will be in the appropriate choice of the location of the openings, depending on the orientation given for the house.

Keywords: *building energy simulation, energy efficiency, thermal comfort, social housing*

Tabla de contenidos

Agradecimientos	viii
Resumen	ix
Abstract	xii
Índice de Figuras	xvi
Índice de Tablas	xviii
Capítulo 1. Introducción	1
Capítulo 2. Antecedentes y estado del arte	3
2.1 Uruguay	4
2.1.1 Normativa vigente y plan de desarrollo en Uruguay.....	5
2.1.2 Líneas de acción para el desarrollo de la eficiencia energética en edificaciones.....	9
2.1.3 Estudios académicos en Uruguay: trabajo de investigación FADU	14
2.1.4 Premio nacional de eficiencia energética.....	20
2.2 Normativas de otros países y criterios considerados a nivel mundial.	23
2.2.1 Chile	23
2.2.2 Argentina	27
2.2.3 Brasil	32
2.2.4 España.....	34
Capítulo 3. Metodología	37
3.1. Elección herramientas para la simulación	37
3.1.1. EDEE.....	37
3.1.2 Energy Plus	38
3.2. Creación del modelo caso base de vivienda (hipótesis y consideraciones)	43
3.2.1 Emplazamiento	44
3.2.2 Aspectos constructivos y caracterización de los elementos que componen la envolvente, piso y elementos interiores.....	45
3.2.3 Permeabilidad al aire de la envolvente del edificio.....	52
3.2.4 Puentes térmicos lineales.....	53
3.2.5 Cargas internas	54
3.2.6 Ventilación e infiltraciones	58
3.2.7 Condiciones operacionales y confort interior	61
Capítulo 4. Presentación de los datos, Análisis, Discusión	63

4.1 Presentación de casos base.....	63
4.1.1 Caso Base - Salto.....	63
4.1.2 Caso Base - Montevideo.....	70
4.2 Análisis de sensibilidad.....	76
4.2.1 Selección de parámetros y rango de variación	76
4.2.2 Resultados del análisis de sensibilidad.....	81
4.3 Análisis Orientaciones	100
4.3.1 Orientaciones 0°, 90°, 180° y 270° - Caso base	101
4.3.2 Orientaciones 0°, 90°, 180° y 270° - Análisis de sensibilidad	106
4.3.3 Evaluación cambio de fachada para ventanas dormitorios	112
Capítulo 5. Propuestas de mejoras.....	117
5.1 Mejoras para caso base en Salto (S.1).....	117
5.2 Mejoras para orientación más desfavorable _caso Salto (S.S.1)	127
5.3 Mejoras para caso base en Montevideo (M.1)	133
5.4 Mejoras para orientación más desfavorable _caso Montevideo.....	146
Capítulo 6. Conclusiones y perspectivas	155
Referencias Bibliográficas	160
ANEXOS	163
Anexo 1: Definiciones y conceptos.....	163
Anexo 2: Plano tipología Tambores 3 dormitorios aislada	167
Anexo 3: Tablas para cálculo de cargas internas (ASHRAE, 2009)	168
APÉNDICES.....	169
Apéndice 1: Valores de permeabilidad adoptados para aberturas	169
Apéndice 2: Permeabilidad de fachadas y cubiertas.....	170
Apéndice 3: Balances energéticos anuales para Casos Base.....	172

Índice de Figuras¹

Figura 1 – Consumo final energético por sector - Uruguay, 2018. Fuente: (MIEM-DNE, 2018)	5
Figura 2 – Reducción de consumo por sector – 2012-2024. Fuente: (MIEM-DNE, 2015).....	6
Figura 3 – Zonas de carta de Givoni en función de las estrategias de diseño.....	16
Figura 4 - Demanda de energía calculada para el acondicionamiento térmica de una vivienda típica de albañilería en las distintas zonas térmicas de Chile. Fuente: (González Cáceres, y otros, 2014)	25
Figura 5 – Adopción de punto cardinal norte para el modelo base de partida	45
Figura 6 – Corte esquemático de muros exteriores. Fuente: MEVIR (Expo Prado 2019).....	47
Figura 7 - Corte esquemático y caracterización térmica de cubierta.....	50
Figura 8 – Temperaturas máximas, promedio y mínimas (interiores y exteriores) en Salto.	64
Figura 9 – Horas al año fuera del rango de confort _ Salto.....	67
Figura 10 –Grados-hora al año fuera del rango de confort _ Salto.....	68
Figura 11 – Grados-hora al año donde $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ - % mensual _ Salto.....	69
Figura 12 – Grados-hora al año donde $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ - % mensual _ Salto.....	70
Figura 13 – Temperaturas mensuales máximas, promedio y mínimas (interiores y exteriores) en Montevideo.	71
Figura 14 – Horas al año fuera del rango de confort _ Montevideo.	74
Figura 15 – Grados-hora al año fuera del rango de confort _ Montevideo.	74
Figura 16 – Grados-hora al año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ - % mensual _ Montevideo.	75
Figura 17 – Grados-hora al año con $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ - % mensual _ Montevideo.	76
Figura 18 – Porcentaje de grados-hora año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario a).	83
Figura 19 – Porcentaje de grados-hora.año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario b).	85
Figura 20 - Porcentaje de grados-hora.año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario c).	86
Figura 21 - Porcentaje de grados-hora.año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario d).....	88
Figura 22 – Porcentaje grados-hora año $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario e).	89
Figura 23 – Porcentaje grados-hora.año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario d+e).	91
Figura 24 – Porcentaje grados-hora año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario f).	93
Figura 25 – Porcentaje grados-hora. año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario g).	94
Figura 26 – Temperaturas máximas, promedio y mínimas (interiores y exteriores) en Salto para escenario sin persianas activas.	96
Figura 27 – Porcentaje grados-hora.año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario h).....	97
Figura 28 – Porcentaje grados-hora año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario i).	98
Figura 29 – Porcentaje grados-hora año con $T > 27\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – Escenario j).	99
Figura 30 – Convención de rotaciones establecida. Por simplicidad, se presenta sin rotar, pero se rota la dirección en la que apunta el Norte (N), en sentido contrario a la rotación de la vivienda.	101
Figura 31 – Grados-hora.año fuera del rango de confort – SALTO.	102
Figura 32 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – SALTO.	103

¹ Cuando no se aclara la fuente de una figura o una tabla la misma es elaboración propia.

Figura 33 – Grados-hora.año fuera del rango de confort – MONTEVIDEO.....	103
Figura 34 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – MONTEVIDEO.....	103
Figura 35 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia fachada – Salto ..	108
Figura 36 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia fachada – Mdeo.	108
Figura 37 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia cubierta – Salto..	108
Figura 38 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia cubierta – Mdeo.	108
Figura 39 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Activación persianas – Salto.....	109
Figura 40 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Activación persianas – Montevideo.	109
Figura 41 – Porcentaje horas al año fuera del rango de confort por escenarios – Salto.....	125
Figura 42 - Porcentaje grados-hora al año fuera del rango de confort por escenarios – Salto.	126
Figura 43 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Orientaciones 0° y 270° _ Salto..	127
Figura 44 – % horas al año fuera del rango de confort _ Salto 270°.....	129
Figura 45 – % grados-hora al año fuera del rango de confort _ Salto 270°.....	129
Figura 46 – Reubicación aberturas – M.8.....	143
Figura 47 - Vista 3D con abertura A7 en la fachada sur (izquierda) vs. propuesta de mejora con abertura A7 en la fachada este (derecha).....	143
Figura 48 – Porcentaje horas al año fuera del rango de confort por escenarios – Montevideo.	144
Figura 49 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort por escenarios – Montevideo.	144
Figura 50 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Orientación 270° - Montevideo.	146
Figura 51 – Porcentaje horas al año fuera del rango de confort por escenarios –Montevideo – Orientación 270°.	149
Figura 52 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort por escenarios – Montevideo – Orientación 270°.	150
Figura 53 – Zonificación por grados días de infiltración y clases de infiltración para Estados Unidos y Canada. Fuente: (ASHRAE, 2004)	166

Índice de Tablas²

Tabla 1 – Valores máximos de transmitancia para cerramientos exteriores.....	8
Tabla 2 – Factor de hueco (Fh) y transmitancia en vanos vidriados. Fuente: (DINAVI - MVOTMA, 2011) ..	8
Tabla 3 – Clasificación de sistemas constructivos según sus propiedades de permeabilidad al aire.	26
Tabla 4 – Valores máximos de transmitancia térmica U (W/m ² .K) para condiciones de verano.....	28
Tabla 5 – Valores máximos de transmitancia térmica (W/m ² .K) para condiciones de invierno.	29
Tabla 6 – Clasificación de las variables incidentes en IPE. Fuente: (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020)	31
Tabla 7 – Valores de transmitancia térmica (W/m ² .K), capacidad térmica (kJ/m ² .K) y absorción a la radiación para muros y techos de acuerdo a la NBR 15.575/2013.	33
Tabla 8 – Áreas (en m ²) de los distintos elementos que componen la envolvente de la vivienda seleccionada como modelo.....	46
Tabla 9 – Detalle de caracterización de cada capa de los muros exteriores.....	47
Tabla 10 – Caracterización térmica de muros exteriores.....	47
Tabla 11 - Detalle de caracterización de cada capa de los muros interiores.	48
Tabla 12 - Caracterización térmica de muros interiores.	48
Tabla 13 - Detalle de caracterización de cada capa de los muros interiores.	49
Tabla 14 - Caracterización térmica de suelo en contacto con terreno.	49
Tabla 15 - Detalle de caracterización de cada capa de la cubierta.	49
Tabla 16 – Datos aberturas modelo base.....	51
Tabla 17 – Transmitancia de hueco y factor solar de abertura.....	51
Tabla 18 – Valores de permeabilidad al aire adoptados para cada abertura.	53
Tabla 19 – Porcentaje de ocupación por hora para una vivienda residencial, unifamiliar, de acuerdo a UNIT-ISO 17772-1.	55
Tabla 20 - Porcentaje de ocupación por hora por recinto del modelo base, basado en la UNIT-ISO 17772-1.....	56
Tabla 21 – Perfil de uso (por hora) correspondiente a cargas de iluminación para una vivienda residencial, unifamiliar, de acuerdo a UNIT-ISO 17772-1.....	57
Tabla 22 - Perfil de uso (por hora) correspondiente a cargas de equipamiento para una vivienda residencial, unifamiliar, de acuerdo a UNIT-ISO 17772-1.	58
Tabla 23 – Porcentaje de ocupación por hora en dormitorios.....	59
Tabla 24 - Porcentaje de ocupación por hora en living-comedor y cocina.	60
Tabla 25 – Resumen de valor mínimo promedio de renovaciones por hora a adoptar para el modelo. ..	60
Tabla 26 – Resumen de temperaturas en Salto.	63
Tabla 27 – Resumen de amplitudes térmicas en Salto.....	65
Tabla 28 – Discomfort en Salto_ Temperatura exterior.....	66
Tabla 29 – Discomfort en Salto_ Temperatura interior.....	67
Tabla 30 – Confort interior vs exterior_ Salto.	67
Tabla 31 – Detalle mensual del discomfort interior en Salto.	69

² Cuando no se aclara la fuente de una figura o una tabla la misma es elaboración propia.

Tabla 32 – Resumen de temperaturas en Montevideo.....	70
Tabla 33 – Amplitudes térmicas en Salto y Montevideo.....	72
Tabla 34 – Resumen de amplitudes térmicas en Montevideo.....	72
Tabla 35 – Disconfort en Montevideo_ Temperatura exterior.....	73
Tabla 36 – Disconfort en Montevideo_ Temperatura interior.....	73
Tabla 37 – Confort interior vs exterior_ Montevideo.....	74
Tabla 38 – Detalle mensual del disconfort interior en Montevideo.....	75
Tabla 39 – Permeabilidad al aire para una presión de referencia de 100 Pa [m ³ /h.m ²].....	78
Tabla 40 – Caracterización térmica fachada escenarios d.1) y d.2).....	78
Tabla 41 – Cuadro resumen de transmitancia y valores de transmitancia térmica lineal (ψ) para puente térmico afectado.....	78
Tabla 42 – Transmitancia cubierta casos e.1) y e.2).....	79
Tabla 43 – Conductividad térmica del terreno casos i.1) e i.2).....	80
Tabla 44 – Temperatura no perturbada del terreno casos j.1) y j.2).....	80
Tabla 45 – Valores de disconfort al año para los casos base tomados como 100% para las comparativas de escenarios de sensibilidad.....	81
Tabla 46 – Resumen de resultados de porcentaje de grados-hora anuales para los distintos escenarios del análisis de sensibilidad.....	82
Tabla 47 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario a).....	83
Tabla 48 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario a).....	83
Tabla 49 – Tabla resumen de temperaturas medias anuales interiores y exteriores de la vivienda – Escenario a).....	84
Tabla 50 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario b).....	84
Tabla 51 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario b).....	85
Tabla 52 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario c).....	86
Tabla 53 – Grados-hora.año fuera del rango de confort – Escenario c).....	86
Tabla 54 – Horas año fuera del rango de confort - Escenario d).....	87
Tabla 55 – Grados-hora fuera del rango de confort – Escenario d).....	87
Tabla 56 – Horas año fuera del rango de confort - Escenario e).....	88
Tabla 57 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario e).....	89
Tabla 58 – Comparativa grados-hora al año fuera del rango de confort con T>27 °C entre Escenarios d) y e).....	90
Tabla 59 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario d+e).....	91
Tabla 60 - Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario d+e).....	91
Tabla 61 – Grados-hora al año fuera del rango de confort – Escenario d)+e).....	92
Tabla 62 – Comparativa del disconfort (medido en grados hora al año) por exceso de temperatura (época calurosa) para los escenarios d), e) y d)+e).....	92
Tabla 63 – Comparativa del disconfort (medido en grados hora al año) por temperaturas inferiores al rango (época fría) para los escenarios d), e) y d)+e).....	92
Tabla 64 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario f).....	93
Tabla 65 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario f).....	93

Tabla 66 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario g).	94
Tabla 67 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario g).	94
Tabla 68 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario h).	96
Tabla 69 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario h).	96
Tabla 70 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario i).	97
Tabla 71 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario i).	97
Tabla 72 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario j).	98
Tabla 73 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario j).	99
Tabla 74 – Resumen de temperaturas medias interiores de la vivienda – escenario j).	100
Tabla 75 – Horas año fuera del rango de confort por orientaciones.	102
Tabla 76 – Grados-hora año fuera del rango de confort por orientaciones.	102
Tabla 77 – Variación grados-hora año fuera del rango de confort entre orientaciones.	102
Tabla 78 – Áreas de envolvente por fachada en función de la orientación, según se observa en Figura 30.	105
Tabla 79 – Porcentaje de grados-hora de desconfort anual respecto al caso base – Salto.	107
Tabla 80 - Porcentaje de grados-hora de desconfort anual respecto al caso base – Montevideo.	107
Tabla 81 – Desconfort para las distintas orientaciones con persianas inactivas.	111
Tabla 82 - Resultados para la localidad de Salto.	112
Tabla 83 - Resultados para la localidad de Montevideo.	113
Tabla 84 – Comparativa original casos base – Salto.	114
Tabla 85 – Comparativa con ajuste ubicación aberturas AM01 – Salto.	114
Tabla 86 – Comparativa original casos base – Montevideo.	115
Tabla 87 - Comparativa con ajuste ubicación aberturas – Montevideo.	115
Tabla 88 – S.1 – Caso base Salto S.1 – desconfort octubre y noviembre.	117
Tabla 89 – Detalle por mes de temperaturas exteriores y horario de activación persianas S.1.	118
Tabla 90 – Confort interior Octubre S.1– S.1.1.	118
Tabla 91 - Confort interior S.1.1 vs S.1.	118
Tabla 92 – Detalle desconfort por mes caso S.1.1.	119
Tabla 93 - Resumen de n° de horas con Tint +27 y Tint>Text según rango horario – caso S.1.1	120
Tabla 94 – Alternativas horario ventilación enero, febrero y diciembre_ Salto.	120
Tabla 95 – Confort interior S.2 vs S.1.1.	121
Tabla 96 – Confort interior S.3.1 vs S.2.	122
Tabla 97 – Confort interior S.3.2 vs S.2.	122
Tabla 98 – Confort interior S.3.3 vs S.2.	123
Tabla 99 – Confort interior S.3.4 vs S.3.3.	124
Tabla 100 – Confort interior S.4 vs S.3.4.	124
Tabla 101 – Síntesis de mejoras para el caso base de Salto.	125
Tabla 102 – Valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores S1 vs S4.	126
Tabla 103 – Confort interior Salto _ Orientaciones 0°y 270°.	127
Tabla 104 – Síntesis de mejoras por escenario en Salto – Orientación 270°.	129

Tabla 105 – Valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores S.S.1 vs S.S.4.	130
Tabla 106 – Comparativa disconfort mejoras para el caso base de Salto – Orientación 0° y 270°.....	131
Tabla 107 – Confort interior S.S.4 vs S.4.	131
Tabla 108 – Confort interior Salto: S.3.3. vs. S.2 y S.S.3. vs. S.S.2.	132
Tabla 109 – Comparativa grados-hora año con T > 27 °C y T <18 °C – M.1.1.....	134
Tabla 110 – Alternativas horario ventilación para el mes de enero – M.2.	135
Tabla 111 – Confort interior M.2 vs M.1.	135
Tabla 112 – Confort interior M.3.1. 2 vs M.2.	136
Tabla 113 – Confort interior M.3.2 vs M2.	136
Tabla 114 – Confort interior M.3.3 vs M.2.	137
Tabla 115 – Confort interior M.4 vs M.3.3.	138
Tabla 116 – Caracterización térmica fachada M.5 vs. M.4.	138
Tabla 117 – Confort interior M.5 vs M.4.	139
Tabla 118 – Caracterización térmica de fachada M.6.	140
Tabla 119 – Confort interior M.6 vs M.5.	140
Tabla 120 – Datos mensuales de activación de persianas y disconfort con T < 18 °C – M.6.	141
Tabla 121 – Comparativa grados-hora con T < 18 °C – M7.	141
Tabla 122 – Horarios de activación de persianas – M.7.3.....	142
Tabla 123 – Confort interior M.7.3 vs M.6.	142
Tabla 124 – Confort interior M.8 vs M.7.3.	143
Tabla 125 – Síntesis de mejoras para el caso base de Montevideo.	144
Tabla 126 – Valores máximos, mínimos y medios interiores de la vivienda – M1 y M8.	146
Tabla 127 – Confort interior orientación 0° vs 270° - Montevideo.	146
Tabla 128 – Perfil de uso óptimo para persianas en período frío – M.M.7.	148
Tabla 129 – Síntesis de mejoras para el caso base de Montevideo – Orientación 270°.....	149
Tabla 130 – Valores máximos, mínimos y medios interiores de la vivienda – M.M.1 y M.M.8.....	150
Tabla 131 – Análisis comparativo – Montevideo_ Orientación 0° vs 270°.	151
Tabla 132 – Confort interior M.M.8 vs M.8.....	152
Tabla 133 – Clasificación de mejoras propuestas según la necesidad de inversión económica.....	153
Tabla 134 – Resumen reducción disconfort anual (medido en grados-hora) distinguiendo entre medidas con y sin inversión económica – Montevideo_ Orientación 0° y 270°.....	154
Tabla 135 – Clases de hermeticidad al aire aceptables para edificios en distintos países.	165

Capítulo 1. Introducción

El objetivo de esta tesis es realizar un análisis termo-energético enfocado en la eficiencia energética de una tipología constructiva de vivienda de interés social (centrado en la envolvente), ver cómo inciden a nivel energético los distintos aspectos de diseño y construcción, así como también cuantificar los ahorros energéticos producto de distintas medidas de eficiencia y mejoras planteadas.

Como ejemplo para el estudio de esta tesis se considera la tipología constructiva del Movimiento de Erradicación de la Vivienda Insalubre Rural (MEVIR), tomándose como referencia la tipología de mayor uso actual (la cual incorpora ya en su génesis aspectos de eficiencia energética).

El objetivo planteado es modelar la envolvente de esta vivienda para finalmente concluir acerca de cuáles son las medidas más efectivas y plausibles de incorporar, de forma de mejorar el confort térmico de la vivienda. Se busca con ello contribuir a la identificación de medidas de mejora de la eficiencia energética en el sector residencial, a nivel de viviendas de interés social. Más específicamente, se busca también proponer mejoras que puedan ser incorporadas y/o evaluadas por las instituciones para mejorar el confort de los destinatarios de las viviendas que se construyen.

Antecedentes

A nivel país se viene trabajando cada vez más en los últimos años en aspectos de eficiencia energética, enmarcado dentro de lo que es el Plan nacional de eficiencia energética 2015-2024.

Las edificaciones, dada su larga vida útil, implican que las consecuencias de las decisiones tomadas en su diseño y construcción perduren durante muchos años. Por tanto son un punto clave para la reducción de la demanda de energía.

En estos últimos años el Ministerio de Industria, Energía y minería (MIEM) viene trabajando en varias líneas de acción al respecto, tratando de avanzar en lo que es un etiquetado de eficiencia energética en viviendas, que sirva como referencia para la toma de decisiones a nivel habitacional. A su vez, en Uruguay se construyen un número importante de viviendas sociales sujetas a subsidios del Estado, el cual realiza una fuerte inversión social para mejorar la calidad de vida de la población más vulnerable.

MEVIR – institución que hace más de 50 años viene trabajando en viviendas de interés social a nivel rural – ha estado trabajando con gran ímpetu en los últimos años en el estudio de tecnologías constructivas, las cuales se vienen incorporando actualmente en nuevas tipologías. Todas esas tecnologías, variantes e incorporaciones, han sido con el fin de mejorar los aspectos térmicos y la eficiencia de sus construcciones, mejorando así la calidad de vivienda que llega a los sectores más críticos y vulnerables.

Metodología / organización de la estructura del texto de la tesis

Este trabajo, además de la presente *Introducción*, está organizado en los siguientes cinco capítulos.

En primer lugar, *capítulo 2. Antecedentes y estado del arte*, se presentan los avances y estudios que hay a nivel nacional acerca de materia de eficiencia energética en edificaciones y acondicionamiento térmico edilicio, así como también una mención más breve de avances a nivel regional e internacional.

En el *capítulo 3* se presenta la *metodología* adoptada para la evaluación del comportamiento térmico y energético de la vivienda de estudio, la cual se realiza a través de simulación computacional. En primera instancia, se presenta la búsqueda y elección del software a utilizar, y en segundo lugar – una vez elegida la herramienta– la creación del modelo teórico, partiendo de la tipología de vivienda seleccionada, sobre el cual se realizara el análisis térmico y energético mediante simulación.

El *capítulo 4. Presentación de los datos, Análisis, Discusión* se estructura en tres secciones. En la primer sección (*4.1 Presentación de casos base*) se presentan los resultados de confort obtenidos para las viviendas modelo (denominadas casos base). La segunda sección *4.2* consiste en la realización de un *análisis de sensibilidad*, donde se evalúa cómo incide y que tan sensible resulta el confort de la vivienda de estudio ante cambio de distintos parámetros de interés, los cuales comprenden tanto factores externos/climáticos, factores de uso, como también mejoras propias a nivel constructivo de la vivienda. Luego, en la sección *4.3*, se realiza un *análisis de orientaciones*, el cual se centra en cómo se ve afectado el confort de la vivienda de estudio en función de la orientación de la misma. Todos los análisis se realizan tanto para Montevideo como para Salto.

A continuación se presenta el *capítulo 5. Propuestas de mejora*, donde se evalúan mejoras para los casos base de ambos emplazamientos, así como también para los casos base con orientación más desfavorable.

Finalmente, en el *capítulo 6* se presentan las conclusiones, que son tanto un resumen de lo visto, destacando las principales propuestas de mejoras así como perspectivas de posible línea de investigación a futuro.

Capítulo 2. Antecedentes y estado del arte

Desde hace varias décadas cada vez viene cobrando más fuerza e importancia a nivel mundial los aspectos de eficiencia energética y sustentabilidad en lo que respecta a edificaciones. Muchos países ya cuentan con reglamentaciones nacionales desde hace más una década.

Uruguay en ámbitos académicos ha trabajado sobre estos temas desde antes de los años noventa. Sin embargo, a nivel nacional – a modo de política de estado – la idea de integrar a los distintos actores y sectores, junto con la idea de uniformizar e integrar los aspectos energéticos en el marco de normativas y pautas cobró fuerza y se plasmó más recientemente, con la implementación de una política energética nacional. Esta política ha sido quizás el puntapié inicial para todos los desarrollos e investigaciones que se han realizado en nuestro país desde entonces. Ha logrado a su vez – a través de diferentes iniciativas que se verán más adelante – comenzar a concientizar a nivel social conceptos de eficiencia y confort en toda la población.

La idea de este capítulo es profundizar sobre todo en los avances, estudios y estado situación del Uruguay en esta temática. De todas formas, para contextualizar y complementar, también se hará una breve mención a ciertos avances en otros países respecto a confort térmico que se considera importante destacar. Se plantea el desarrollar los avances por país como forma de demostrar experiencias de distintos temas vinculados a eficiencia energética en edificaciones.

Algo muy importante a destacar de forma de facilitar la comprensión y lectura de lo que se desarrollará en este capítulo es que los avances en esta área están vinculados estrechamente tanto a normativas como a estudios académicos. Estos se retroalimentan en forma continua: los avances en normativas se dan en general a partir del estado del arte de estudios académicos, y estas nuevas normativas favorecen a su vez el impulso de nuevos estudios académicos. Resulta entonces muy difícil poder separar en cada país lo que son los desarrollos de normativas por un lado y de investigación por otro. Por tal motivo, en este capítulo se expondrán los avances de cada país combinando lo que han sido desarrollos de investigación y normativas, en forma paralela.

En primer lugar se presenta la situación de Uruguay, comenzando con la mención de normativas y exigencias establecidas a la fecha por distintos organismos competentes, así como también exponer el plan de desarrollo para Uruguay planteado para el período actual. A continuación se exponen las distintas líneas de acción para el desarrollo de la eficiencia energética en edificaciones que han tenido lugar en los últimos años. Dentro de estas se hace foco en aquellas que luego servirán como insumo directo para la creación del modelo de vivienda de estudio de esta tesis. Por último se presentan y resumen tres trabajos desarrollados en el país estrechamente vinculados al objeto de este trabajo: una consultoría realizada a solicitud del MIEM por un grupo extranjero para el estudio de medidas de eficiencia energética en el sector residencial, un trabajo de investigación realizado por la facultad de arquitectura acerca de pautas de diseño para optimizar condiciones de confort en el sector residencial, y por último, una consultoría realizada específicamente para

tipologías de viviendas de MEVIR, como soporte para la presentación de la institución al premio de eficiencia energética 2019.

En la segunda parte de este capítulo se desarrollan los avances de distintos países. El apartado referente a Chile se centra en el tema de infiltraciones y hermeticidad, considerando que vale la pena desarrollar este aspecto no tan estudiado en otros países de la región e importante para la creación del modelo de estudio de la tesis. Para ello se hace énfasis en el estudio realizado sobre este tema titulado Manual de Hermeticidad al aire de edificaciones (González Cáceres, y otros, 2014), el cual se considera importante destacar. En Argentina la exposición se enfoca en mostrar el conjunto de normativas de desempeño térmico de edificios que han sido estudiadas, con especial énfasis en el tema de etiquetado de viviendas. En Brasil se destaca dentro de las normativas aquellos aspectos vinculados a viviendas de interés social así como también se hace hincapié en la incorporación de herramientas informáticas para evaluaciones termo-energéticas en viviendas, soporte fundamental para esta tesis. Por último, en España, se destaca dentro de la normativa la limitación tanto de consumo como de demanda energética, así como también la introducción dentro de las exigencias de conceptos tales como energía primaria y uso de renovables.

2.1 Uruguay

Uruguay viene encaminando esfuerzos – como se describe a continuación en esta sección – hacia un programa de alcance nacional y una normativa nacional de edificación en eficiencia energética. De todas formas a la fecha se registran niveles de exigencia distintos según el departamento y las ordenanzas departamentales correspondientes, siendo al momento la más exigente la normativa de Montevideo.

Uno de los primeros en el país en establecer estandarizaciones en exigencias para sus construcciones fue el Banco Hipotecario del Uruguay (BHU) quien exige desde el año 1999 un valor máximo de transmitancia térmica para los cerramientos opacos de $0.85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.

Hasta el momento las exigencias en cuanto a confort térmico y eficiencia energética de viviendas de los distintos organismos competentes se han centrado básicamente en la transmitancia de los elementos de la envolvente (opacos y vidriados) y factor de huecos. Para el caso de las aberturas, por ejemplo, se llega a hacer distinción entre tipos de vidrios y la presencia o no de protecciones solares. No hay sin embargo exigencias a nivel de confort térmico respecto a infiltraciones máximas y permeabilidad de aberturas, como si lo hay en normativas de otros países.

Es importante hacer mención también a la importancia que tiene el sector residencial dentro del consumo final energético en nuestro país. De acuerdo al último Balance Energético Nacional (BEN) publicado en el año 2018 – el cual resume la información relativa a producción, transformación y consumo de energía y tiene como principal objetivo ser un insumo de consulta sobre la evolución de la situación energética del país – el consumo final energético del sector residencial en 2018 representó el 18% del consumo final del país (MIEM-DNE, 2018).

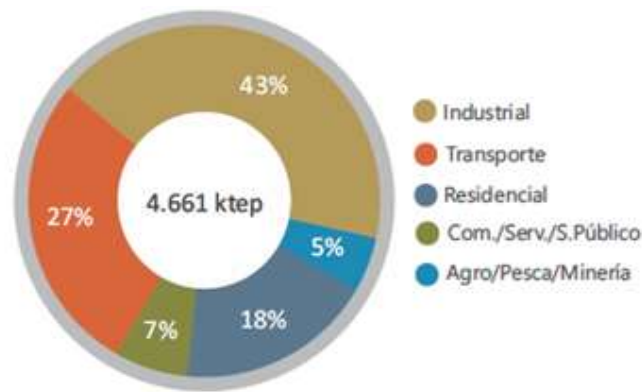


Figura 1 – Consumo final energético por sector - Uruguay, 2018. Fuente: (MIEM-DNE, 2018)³

Según lo reportado en el BEN de 2018 (MIEM-DNE, 2018), para el sector residencial, la principal fuente consumida en 2018 fue la electricidad (46%) seguida en importancia por la leña (35%).

2.1.1 Normativa vigente y plan de desarrollo en Uruguay

En los últimos treinta años en nuestro país ha venido cobrando cada vez más importancia el tema energético. El crecimiento económico sostenido y el mayor acceso han influido en la expansión de la demanda energética en todos los sectores de consumo, volviendo así fundamental poder consolidar ese crecimiento de forma sostenible. Se plantea el desafío de lograr aumentar la oferta energética en forma responsable, disminuyendo a la vez en forma eficiente la demanda (MIEM-DNE, 2020)

Con este marco, en el año 2008 se aprobó por primera vez en el Uruguay una política energética (**Política Energética 2005-2030**) (MIEM-DNE, 2020b) la cual permite a nuestro país contar con estrategias a largo plazo y a nivel nacional en la materia, planteando diversas metas y líneas de acción para el corto, mediano y largo plazo. La política energética vigente hace hincapié en lo multidimensional del tema energético y destaca seis aspectos temáticos a tener en cuenta: el geopolítico, el tecnológico, el económico, el ético el medioambiental y el social. Se plantea como un “poderoso instrumento para desarrollar un país y promover la igualdad social” (Política Energética 2005-2030).

Un año después, en 2009, se aprueba la **ley N° 18.597 de Uso Eficiente de la Energía**⁴. Esta ley declara de interés nacional el uso eficiente de la energía, creando un marco para desarrollar la política de eficiencia energética en el Uruguay y estableciendo – entre otras cosas – la elaboración del Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015-2024, el cual se aprueba en 2015.

Enmarcada en dicha ley (Ley N°18.597) se encuentra también la creación del Fideicomiso Uruguayo de Ahorro y Eficiencia Energética (Fudace), que tiene entre sus cometidos:

³ Las 4.661 toneladas equivalentes de petróleo (ktep) expresadas en el gráfico equivalen a 54,21 GWh

⁴ La misma puede encontrarse online (<https://legislativo.parlamento.gub.uy/temporales/leytemp3192167>)

- Brindar financiamiento para la asistencia técnica en eficiencia energética.
- Promover la eficiencia energética a nivel nacional.
- Financiar proyectos de inversión en eficiencia energética.
- Promover la investigación y desarrollo en eficiencia energética.

En cuanto al **Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015-2024**, éste tiene como objetivo lograr una meta de ahorro de energía acumulada de un 5% al año 2024, en relación al escenario tendencial de aumento de consumo, para lo cual presenta diversos instrumentos a través de los cuales alcanzar dicho objetivo. Este 5% de reducción representa un ahorro equivalente al 45% del consumo total del año base 2012.

Más allá de que la disminución en el consumo de energía se espera en todos los sectores de actividad, el sector residencial es quien representa el mayor peso de la reducción, explicando por sí solo el 42% de la disminución total acumulada al 2024, lo que equivale a un ahorro en el período de 710 ktep (equivalente a 8,26 GWh). En el sector residencial todos los consumos se ven atenuados en el período especialmente los consumos eléctricos y de leña, considerándose el aumento de la participación de la fuente solar (particularmente en el calentamiento de agua sanitaria por medio de colectores solares térmicos) y buscando que cerca del 25% de los hogares que calefaccionen con leña lo hagan con estufas de alto rendimiento.

Esto hace que cobre importancia y se empiece a hacer foco en el sector residencial y en medidas e instrumentos que se dirijan a este público objetivo.

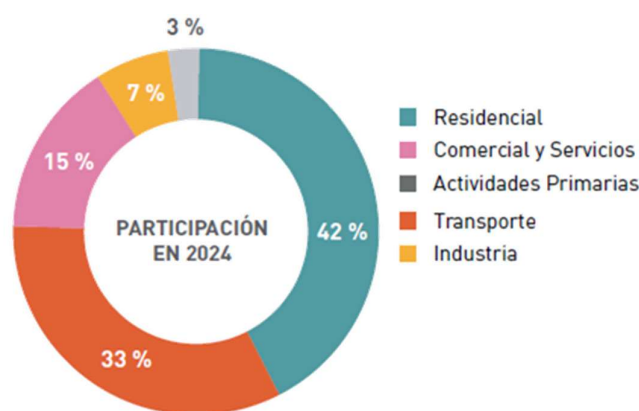


Figura 2 – Reducción de consumo por sector – 2012-2024. Fuente: (MIEM-DNE, 2015)

A su vez, dentro de los instrumentos de alcance general del Plan de Eficiencia Energética – transversales a todos los sectores – se encuentran algunos que refuerzan también las medidas y concientizan sobre las edificaciones, tema central de este trabajo. Estos son: el *Programa de normalización y etiquetado en eficiencia energética* y la *Evaluación del desempeño energético en edificaciones* (MIEM-DNE, 2015).

Este último instrumento es clave, pues hace ver a nivel nacional algo que hasta el momento en nuestro país solo se tenía visto como tal en los niveles más técnicos y académicos de la construcción y es que la larga vida útil y el potencial consumo energético de los edificios “implica que las consecuencias de las decisiones

que se toman en el momento de la construcción perduran durante muchos años” (MIEM-DNE, 2015). Hasta ahora, más allá de poder identificar como una componente no menor al consumo de energía a nivel residencial, no se tomaban medidas que apuntaran a lograr incidir en las decisiones previas a la construcción. Sin embargo, estos momentos son claves y determinantes para poder reducir las demandas de consumo, pero manteniendo las condiciones de confort térmico. A su vez, para los sectores más vulnerables – como es el caso del público objetivo de viviendas de interés social – implica poder brindar condiciones dignas de confort térmico sin que se precise para ello incurrir en altos costos producto del consumo de energía. En otras palabras, permite reducir gastos sin perder por ello calidad de vida y de confort.

El Plan Nacional de Eficiencia Energética habla por primera vez para el Uruguay de un *Etiquetado de eficiencia energética en viviendas*, algo que ya existe y se implementa en otros países, pero totalmente novedoso para nuestro país. Se plantean diversas acciones que apuntan a la implementación del mismo, permitiendo este etiquetado servir como referencia a los consumidores finales como herramienta para la toma de decisiones al momento de comprar o alquilar una vivienda (la etiqueta aporta consumos de calefacción y refrigeración estimados).

Dentro de los instrumentos de alcance sectorial para el sector residencial, es de interés señalar para este trabajo el instrumento del plan de *Regularidad y Sostenibilidad del acceso en hogares de bajos recursos*, pues también indica un foco hacia los sectores más vulnerables que no son capaces de afrontar elevados gastos de consumo energético. En este contexto de hogares de bajos recursos se encuentran muchos de los participantes que acceden a los planes de vivienda de interés social y es importante trabajar en pautas, capacitación y condiciones que permitan a estas familias tener buenas condiciones de confort y calidad de vida.

También es importante destacar que el plan contempla campañas de difusión y sensibilización en la temática, buscando repercutir en los hábitos de consumos de usuarios, así como también busca la generación y mejora de instrumentos financieros que faciliten implementar medidas de eficiencia energética.

Normativa específica para vivienda social

Para todos aquellos proyectos financiados y/o implementados por el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente (MVOTMA) existe un documento llamado *“Estándares de desempeño y requisitos para la vivienda social”*, el cual define los requisitos y criterios a satisfacer en proyectos de vivienda (individual o en conjuntos). La sección II de dicho documento establece condiciones de desempeño en base a requerimientos del usuario en temas de confort (entre otros aspectos). Tal como lo plantea el documento, se trata de exigencias que pautan un estándar de calidad, independiente de la solución constructiva. También pretende – dada la diferencia entre las exigencias establecidas por cada regulación

departamental – servir como base de una reglamentación que tenga carácter nacional (DINAVI - MVOTMA, 2011).

En lo que refiere a exigencias térmicas de confort vinculadas a la envolvente dentro del capítulo 4.2 de Desempeño Higrotérmico se establece – para licitaciones de viviendas – por un lado, valores máximos de transmitancia para cerramientos exteriores, definiendo para los mismos dos niveles de desempeño. Un nivel mínimo, llamado Nivel 1, que corresponde al definido en el Reglamento de Producto y un Nivel 2, que corresponde a las condiciones establecidas en la Norma UNIT, incorporada al Digesto Municipal de Montevideo, en su Capítulo de Reducción de la demanda de Energía.

Transmitancia térmica U (W/m ² K)	Nivel (1)	Nivel (2)
Muros exteriores	< 1.6	< 0,85
Cubiertas	< 1	< 0,85

Tabla 1 – Valores máximos de transmitancia para cerramientos exteriores.

Fuente: (DINAVI - MVOTMA, 2011)

Por otro lado, se establecen niveles de desempeño para cerramientos vidriados, para los cuales toman como normativa de referencia el Digesto Municipal de Montevideo (Digesto Departamental Montevideo, 2009)

Fh	Transmitancia hueco máxima admisible (Uh) W/m ² k				Protección solar (Ps)			
	Orientación preponderante				Orientación preponderante			
	N	E	O	S	N	E	O	S
0 a 25 %	Vidrio Simple				Opcional			
>25 hasta 60 %	Vidrio Simple			2.8 DVH	SI	SI	SI	Opcional
DVH: doble vidriado hermético								
Fh = porcentaje de área vidriada en relación al área total de la fachada que lo contiene								

Tabla 2 – Factor de hueco (Fh) y transmitancia en vanos vidriados. Fuente: (DINAVI - MVOTMA, 2011)

Tal como lo expresa explícitamente el Digesto Departamental de Montevideo, a los efectos de determinar la orientación preponderante se considera la orientación neta correspondiente hasta 20° de desviación. Cuando la orientación es a medios rumbos, se tomará la orientación este u oeste más próxima (Digesto Departamental Montevideo, 2009)

Para un factor de hueco (Fh) de hasta 25% corresponde un vidrio simple para todas las orientaciones, y la protección solar es opcional. Si la orientación preponderante es sur, y para un factor de hueco mayor al 25%, la transmitancia de hueco máxima admisible es 2.8 W/m².K, lo que corresponde a un doble vidriado hermético. Solo se admiten dos fachadas con factor de hueco mayor a 60%

2.1.2 Líneas de acción para el desarrollo de la eficiencia energética en edificaciones

El Ministerio de Industria, Energía y Minería (MIEM) viene trabajando en varias líneas de acción, de las cuales se describirá brevemente a continuación aquellas vinculadas a la temática de este trabajo (MIEM-DNE, 2020c):

Comité UNIT de eficiencia energética

Fue creado en 2014 en el marco de un contrato entre el MIEM y el Instituto Uruguayo de Normas Técnicas (UNIT), con el objetivo de elaborar normas técnicas que puedan dar soporte a la evaluación del desempeño energético y a la certificación de los edificios. De acuerdo a lo indicado en la página web del Ministerio (MIEM-DNE, 2020c), a la fecha cuenta con 27 normas publicadas y 8 proyectos de norma.

Años meteorológicos típicos

Para poder modelar el comportamiento térmico de edificaciones con herramientas como el Energy Plus es necesario tener un conjunto de datos climáticos que sean típicos de la región, y que minimicen la variabilidad natural de las condiciones climáticas.

Un año meteorológico típico (AMT) es una serie de datos anual que se considera representativa de la situación meteorológica más típica de un sitio para un periodo de tiempo determinado, en general, de largo plazo. Es una herramienta de alta utilidad para evaluar y/o modelar el comportamiento térmico de edificios y construcciones.

En el correr del año 2015, en el marco de una contratación realizada a través de la Fundación Ricaldoni, se construyó un año meteorológico típico (AMT) para aplicaciones de energía solar (AMTUes), calculado en cinco localidades distintas del Uruguay.

Las 5 localidades seleccionadas fueron elegidas en base a la información disponible, y en base a la zonificación del país, según lo establecido en la norma UNIT 1026:1999 (DNE-MIEM, 2016). Estas localidades son Montevideo, Salto, Colonia, Rivera y Rocha, localidades donde la estadística de largo plazo de medidas completas está disponible o ha sido posible construirla.

Estos AMT son clave pues sirven como dato de entrada para programas de simulación y su elaboración permite resultados más realistas de las condiciones específicas de estas localidades.

Tal como lo resume el Laboratorio de Energía Solar (LES) en la Memoria Técnica elaborada para los Años meteorológicos Típicos para aplicaciones de Energía Solar (Alonso-Suarez, Bidegain, Abal, & Modernell, 2016), las series anuales típicas son utilizadas para simular actividades humanas bajo condiciones meteorológicas características de una región. Deben ser representativas de una estadística de largo plazo en términos de sus valores medios y de su variabilidad para que las simulaciones sean realistas. La metodología utilizada para desarrollar estas series es de uso internacional.

Otro aspecto importante es que las series típicas presentadas por el LES fueron desarrolladas para el uso en aplicaciones de energía solar u otras actividades que sean principalmente influenciadas por la radiación solar a nivel de superficie. Estas series brindan datos de irradiación global en plano horizontal e inclinado y de irradiación directa en incidencia normal, pero además incluyen información de temperatura, humedad, presión y viento.

Desarrollo de herramientas de cálculo

Dentro de lo que se consideran herramientas de cálculo vinculadas con la evaluación del desempeño energético de viviendas, hay dos de ellas – desarrolladas con el apoyo del Ministerio – que es importante destacar.

HTERM

Se trata de una herramienta informática desarrollada por la Facultad de Ingeniería y Facultad de Arquitectura Diseño y Urbanismo de la Universidad de la Republica (UdelaR), financiada por el MIEM (a través del Fudae).

Esta aplicación permite estudiar el riesgo de ocurrencia de condensación en edificios, así como también realizar cálculos que hacen al desempeño térmico de los cerramientos, tales como transmitancias, retardo y amortiguación térmica.

El programa HTERM se utiliza para la evaluación higrotérmica de cerramientos opacos y arroja resultados de transmitancia y capacidad térmica. La última versión disponible incorpora también el cálculo de retardo y amortiguación térmica del cerramiento planteado (Udelar , 2017)

Evaluación del Desempeño Energético de Edificios (EDEE)

La Dirección Nacional de Energía (DNE) y el MIEM han desarrollado y puesto a disposición en forma gratuita el programa *EDEE _ edición para viviendas*, una herramienta de cálculo desarrollada con el objetivo de obtener las demandas energéticas de calefacción y refrigeración de viviendas por metro cuadrado de superficie construida bajo condiciones estándar de ocupación, operación y clima. Al momento se cuenta con una primera versión (EDDE v1.0) la cual únicamente permite comparar el edificio objeto con uno de referencia, que es el edificio objeto bajo el cumplimiento de la normativa de la Intendencia de Montevideo (MIEM-DNE, 2020c). En esta primera versión – desarrollada a partir de la Consultoría de la Universidad de Sevilla quienes participaron en su elaboración – el alcance se limita solamente a edificios de vivienda.

La aplicación del programa está pensada para comparar las demandas energéticas de calefacción y refrigeración de una vivienda de interés (Edificio Objeto), con las demandas que tendría esta misma vivienda si se hubiese construido siguiendo las especificaciones de la reglamentación de la Intendencia de Montevideo (Edificio de Referencia).

Para este objetivo de aplicación mencionado, se trata de una herramienta muy práctica y de uso rápido y sencillo para obtener resultados. De todas formas, presenta varias limitantes para estudios por fuera de este objetivo concreto y para cierto tipo de viviendas, dado que las demandas se calculan bajo determinadas condiciones de ocupación, operación y clima que no se permite modificar. La inercia térmica también es un parámetro fijo que no se puede modificar. Para todas aquellas viviendas y/o modelos que se aparten de estas condiciones estándar pre-establecidas, las demandas energéticas que devuelva el programa no serán válidas/representativas. Tampoco es de utilidad si se desea evaluar para un mismo edificio objeto cómo varían las demandas ante distintos escenarios de ocupación y operación.

El procedimiento que utiliza el programa para calcular las demandas energéticas se basa en un cálculo hora a hora en régimen transitorio del comportamiento térmico del edificio, teniendo en cuenta de manera simultánea las solicitaciones exteriores e interiores y considerando los efectos de masa térmica (MIEM - DNE, 2016).

Para este trabajo se plantea este programa como primer alternativa para la realización de simulaciones, por lo que se dejará para el próximo capítulo una descripción más detallada de las consideraciones y limitaciones del mismo.

Apoyo a la eficiencia energética en viviendas

Se trata de una iniciativa conjunta entre el MIEM, el MVOTMA, la Intendencia de Montevideo y UTE, lanzada en 2017, a través de la cual se puede acceder a préstamos para incorporar medidas de eficiencia energética en viviendas.

A su vez, en el marco de este programa, se capacitaron 80 profesionales para formar parte del equipo que audita las viviendas, identificando oportunidades de mejora. En base a los resultados, se acuerda con los propietarios de las viviendas las medidas de eficiencia energética a implementar, brindando también su apoyo en el seguimiento y control de las obras.

Resulta de interés también mencionar cuáles fueron algunas de las medidas identificadas al momento de inscripción, pues permite también tener un panorama de la situación general de las situaciones más recurrentes de discomfort. Ente otras, se destacan el aislamiento térmico en paredes y techos, el cambio de ventanas o claraboyas y la colocación de colectores solares para calentamiento de agua.

Estudio de medidas de eficiencia energética en el sector residencial y evaluación de costos y beneficios asociados en Uruguay (Grupo Termotecnia, 2015).

A través del Fudae, DNE/MIEM contrató en 2015 servicios de consultoría al Grupo Termotecnia de la Universidad de Sevilla, con el objetivo de identificar medidas de mejora en la eficiencia energética en el sector residencial. Producto de esta consultoría, se entregó un trabajo donde se describe el estudio de estas medidas, incluyendo como instrumento un estudio de costo- beneficio de las mejoras propuestas (Grupo Termotecnia, 2015).

El estudio toma como situación base la construcción tradicional. En función de las indicaciones solicitadas por la DNE en la licitación, se define una base de datos de edificios de vivienda y elementos constructivos de los edificios seleccionados. Se realiza el cálculo de demanda de calefacción y refrigeración de los casos generados, considerando como sistemas de climatización para calefacción la estufa de Supergas y chimenea abierta, y para refrigeración bombas de calor.

Las medidas de mejora de envolvente contempladas comprendidas dentro del alcance explicitado en la convocatoria fueron: aislamiento de muros de fachada y cubierta, calidad de transmisión de ventanas y protección solar. Aspectos tales como estanqueidad de opacos, puentes térmicos, elementos de oscurecimiento y ventilación se encuentran por fuera del catálogo de mejoras a considerar.

Los escenarios base de este estudio (considerados como variables en la base de datos) fueron 8 tipologías de edificios en dos localidades (Montevideo y Salto), con diferentes orientaciones, soluciones constructivas (para paredes y techos) y tamaños de aberturas. Se contemplaron también distintos niveles de uso para calefacción y refrigeración.

Las medidas de mejora se centraron en:

- Aislamiento de muros y cubiertas (con lana de vidrio en distintos espesores)
- Calidad de transmisión de ventanas: acristalamientos simples y doble vidrio hermético (con y sin rotura de puente térmico)
- Protecciones solares: cortinas exteriores, interiores (tipo black out), persianas venecianas interiores o sin protección alguna

Resultados del estudio

A pesar de no considerarse como variable de evaluación ni la presencia de elementos de oscurecimiento ni la ventilación nocturna, se realizó de todas formas – a modo complementario – una evaluación de la incidencia de estas medidas, arribando a resultados y conclusiones que merecen mencionarse:

- Respecto a la presencia de elementos de oscurecimiento (persianas) se observa que esta medida conlleva a mejoras térmicas en invierno pues al cerrar la ventana por completo se reduce la transmisión de calor (respecto a tenerla abierta), evitando así mayores pérdidas, principalmente por convección. Esto hace que la presencia de elementos de protección pueda ser considerada una medida de interés para la mejora energética en viviendas.
- Con respecto a la influencia de la ventilación nocturna, se observa que esta medida conlleva a mejoras térmicas en verano, al generar renovaciones del aire interior, sustituyéndolo con aire exterior con temperatura sustancialmente inferior. Da lugar, entonces, a una medida de interés para la mejora energética en viviendas, logrando reducir las demandas de refrigeración.

El estudio plantea que en condiciones normales de velocidad de viento y exposición, la apertura de ventanas durante la noche en simple exposición (es decir, una sola ventana para una habitación con puerta cerrada) genera hasta 4 renovaciones por hora del recinto⁵.

- Comportamiento en función del clima

La influencia de la demanda de calefacción en Montevideo es mayor que Salto, mientras que la demanda de refrigeración resulta mayor en Salto respecto a Montevideo

- Influencia de la duración del período de acondicionamiento

Debido a la inercia de la envolvente, la cantidad de horas que se climatice la vivienda no presenta una relación uno a uno con la demandas de calefacción y/o refrigeración.

- Influencia de la forma del edificio en la demanda de energía

La demanda de calefacción depende directamente de la compacidad de la vivienda – definida la compacidad como el cociente entre el volumen del edificio y la cantidad de cerramientos expuestos al exterior (área de transferencia). Independiente de la solución constructiva, a mayor compacidad menor resulta la demanda de calefacción.

No obstante, la compacidad apenas influye en la demanda de refrigeración, la cual resultó prácticamente constante para las distintas compacidades analizadas, tanto para Salto como para Montevideo.

- Influencia de la orientación y porcentaje de acristalamientos en la demanda de energía

A diferencia de lo observado con la compacidad del edificio, ambas demandas de energía (calefacción y refrigeración) dependen tanto del área como de la orientación de los acristalamientos.

Los resultados obtenidos de la simulación de los distintos modelos y combinaciones permiten concluir que la captación solar resulta uno de los parámetros básicos en la influencia sobre la demanda energética de las viviendas. Con respecto a este punto son varias las conclusiones que ameritan ser notadas.

Por un lado, las demandas medias de calefacción disminuyen considerablemente a mayor porcentaje de acristalamientos en orientaciones favorables (ejemplo claro el norte), no así cuando los mismos se encuentran en orientaciones desfavorables (hacia el sur).

Las demandas de refrigeración, por el contrario, crecen exponencialmente a mayor porcentaje de acristalamientos, lo cual se da para todas las orientaciones.

- Influencia de la transmitancia térmica de cerramientos opacos

⁵ El número de renovaciones por hora refiere al número de sustituciones de todo el volumen de aire del local en una hora

Se observa una relación lineal entre el aumento de transmitancia y el aumento de la demanda de calefacción. Sin embargo, para la demanda de refrigeración no se conserva la linealidad.

Entre las conclusiones a las que se arriba en este trabajo, se presenta la reflexión de que el diseño del edificio (compacidad, porcentaje acristalado y orientación) se trata de un aspecto clave en la demanda de energía que luego resulte para el mismo. A su vez, plantea que es viable – técnica y económicamente – conseguir edificios sin demanda de refrigeración (en Montevideo) y sin demanda de calefacción (en Salto).

Dentro de las mejoras planteadas, propone diseñar el nivel de aislamiento y la calidad de las ventanas exclusivamente para el invierno y corregir con el control solar para verano, así como también ampliar el catálogo considerando como variables también ventilación nocturna, puentes térmicos, etc., mejoraría el comportamiento.

Como anexo al estudio realizado por el Grupo Termotecnia de la Universidad de Sevilla, se presenta también un informe del equipo de apoyo para la evaluación de costos de soluciones constructivas (asesoría nacional), solicitado para poder realizar una evaluación y estudio de los sobrecostos de las mejoras propuestas. Dentro de este informe, se destacan algunas sugerencias y conclusiones a nivel general realizadas por la consultoría uruguaya;

- La importancia de identificar correctamente el problema (realizando previamente estudios técnicos) para poder dar así solución al mismo en forma más eficiente.
- La incidencia del mantenimiento: recomiendan que toda solución propuesta y/o aplicada sea acompañada de un manual de uso y mantenimiento para así prologar la vida de útil y mantener los estándares de desempeño previstos.
- El aumento de los costos de mano de obra en construcciones tradicionales y el importante peso de los aportes sociales asociados, así como también la disminución de la productividad en este tipo de construcciones, ha derivado en un creciente interés en reducir los plazos de obra y en buscar distintas alternativas en sistemas constructivos no convencionales. Las barreras que aún se presentan a nivel nacional para la masificación de estos sistemas constructivos no convencionales son por un lado aspectos culturales y sociales (de gran peso en nuestro país) y la carencia de antecedentes y experiencia en ejecución, plazos costos y desempeño de estas nuevas soluciones.

2.1.3 Estudios académicos en Uruguay: trabajo de investigación FADU

A continuación se presenta otro estudio realizado en Uruguay, anterior a la consultoría de Sevilla, pero que sigue siendo referencia a la fecha. Se trata de un Proyecto de investigación realizado por el Departamento de Clima y Confort en Arquitectura, publicado en 2009, sobre *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial* (Picción, Camacho, López, & Milicua,

2009). El mismo se enmarcó dentro de un proyecto de investigación financiado por el Programa de Desarrollo Tecnológico (PDT) de la Dirección de Innovación, Ciencia y Tecnología del MEC.

Este trabajo pone sobre la mesa y centra el estudio en un concepto muy interesante como lo es el de la arquitectura bioclimática. Tal como se resume en el *Manual de Vivienda Sustentable* de Argentina (Ministerio de Interior, Obras Públicas y Vivienda Argentina, 2019), la arquitectura bioclimática toma en cuenta las condiciones del clima, aprovecha los recursos disponibles para disminuir impactos ambientales y reduce los consumos de energía, asegurando la calidad de vida de los habitantes.

El diseño bioclimático tiene como uno de los elementos principales en la regulación del comportamiento térmico y energético del edificio a la envolvente, protagonista también de esta tesis y por ello se destaca y desarrolla este estudio dentro del capítulo de antecedentes.

Las principales herramientas del diseño bioclimático son la implantación, la orientación, la forma del edificio y la composición de la envolvente (tanto materiales que la componen como relación entre áreas opacas y acristalamientos). El diseño bioclimático incorpora también diseño de dispositivos de control solar.

El trabajo de investigación de la FADU mencionado plantea como objetivo establecer pautas que permitan lograr una arquitectura bioclimática desde la propia concepción del edificio, y a lo largo de toda su vida útil, logrando así mejorar el confort de los usuarios, reducir costos energéticos y contribuir con la calidad ambiental. A su vez, el trabajo contribuye brindando insumos que sirvan como disparadores para discutir normativas energéticas a nivel nacional para el sector residencial.

Fundamentación del trabajo de investigación

Se hace referencia a que el diseño de las viviendas no debe sólo basarse en modelos generales de otras regiones, dado que cada clima y región posee características intrínsecas que deben tenerse en cuenta a la hora de implementar programas, recomendaciones y normativas locales. Se destaca la importancia de considerar el contexto y entorno de donde se implanta la vivienda.

Se realizaron en primera instancia estudios empíricos que permitieron obtener datos de partidas reales, los cuales luego fueron utilizados y correlacionados con herramientas de simulación, para el estudio del desempeño térmico y energético de alternativas posibles. Los resultados permiten evaluar el peso relativo que tiene cada estrategia de diseño en el uso eficiente de energía, estableciendo relaciones entre las distintas variables de diseño y las estrategias bioclimática de confort, para así poder ponderar el desempeño y determinar criterios de evaluación.

En el trabajo se analizaron en particular construcciones de la década 1990-2000 financiadas por el BHU y el MVOTMA, en su programa de vivienda para Jubilados y pensionistas.

Marco teórico del estudio

Se destaca como como primera etapa del proceso bioclimático el realizar un análisis de los datos meteorológicos del lugar, pues permite establecer estrategias que aprovechen los aspectos favorables del clima y que protejan de los perjudiciales.

Como parte importante del marco teórico en el que se basa este trabajo de investigación, se presenta como herramienta lo que se conoce como **cartas bioclimáticas**. Las mismas son sistemas de representación gráfica de las relaciones entre variables que influyen en la sensación de confort térmico. Representan una zona de confort térmico según la temperatura y la humedad e indican los recursos de diseño bioclimático aplicables en las distintas condiciones (Picción, Camacho, López, & Milicua, 2009).

Dentro de las distintos tipos de cartas que existen, se destaca la Carta bioclimática de Givoni. Este tipo de cartas se basan en un diagrama psicrométrico sobre el cual se delimita en primer lugar una zona de confort higrotérmico (para invierno y para verano) y a continuación se definen otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación de estrategias de diseño pasivo. Fuera de estas zonas se vuelve necesario el uso de sistemas activos para acondicionamiento, ya sea para calefacción y/o refrigeración.

Givoni en su diagrama bioclimático introduce como variable el efecto de la propia edificación sobre el ambiente interno, cuya respuesta ante unas determinadas condiciones exteriores permita crear un ambiente interior comprendido dentro de la zona de confort térmico.

En la carta se representan en total 9 zonas, las cuales se ilustran y nombran en la Figura 3 a continuación.

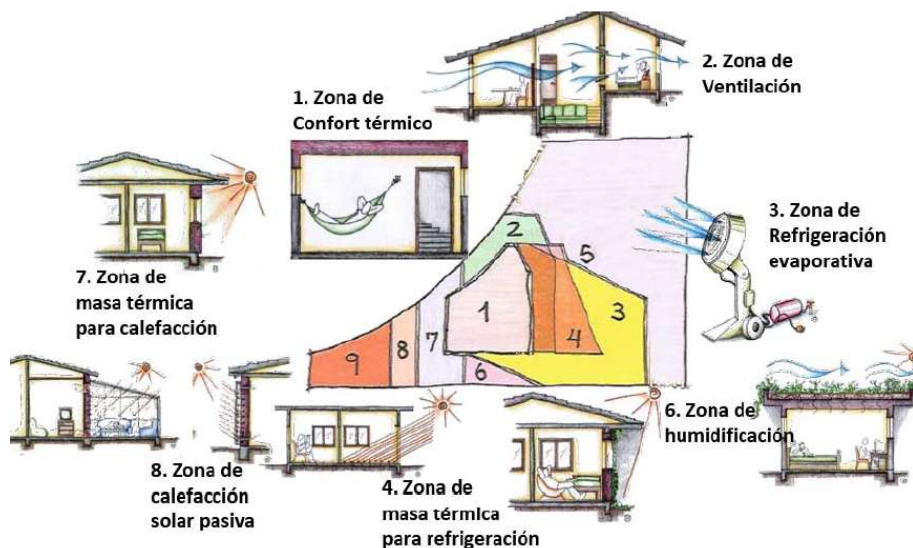


Figura 3 – Zonas de carta de Givoni en función de las estrategias de diseño

Fuente: (Picción, Camacho, López, & Milicua, 2009)

A partir de la introducción de los datos climáticos de la localidad específica sobre la carta se puede obtener entonces el porcentaje de horas en que cada una de las estrategias mencionadas es aplicable.

En este proyecto de investigación se trabajó sobre esta metodología, utilizando cartas específicas para las ciudades de estudio: Montevideo y Salto.

Evaluación bioclimática para las ciudades de Salto y Montevideo

En función de las cartas bioclimáticas ya desarrolladas para Montevideo y Salto, se definen la estrategia bioclimática que más se debe utilizar (todo el año) para conseguir niveles de confort requeridos. Para ambas ciudades las estrategias a aplicar son las mismas, solo que varía en función de la ciudad el porcentaje de horas de aplicación de cada una.

La estrategia principal es la colocación de masa térmica aislada, complementada con otras distintas según la época del año (en verano con sombreado y ventilación natural; en invierno con calentamiento solar pasivo y artificial).

Para Salto, al tratarse de una zona climática cálida, las estrategias para el período caluroso aumentan los valores comparados con Montevideo y para el período frío resultan menores.

En el proyecto lo que se hizo fue analizar las distintas estrategias aplicadas en los edificios relevados, sugiriendo posteriormente modificaciones de diseño en función de las distintas estrategias bioclimáticas aplicables. Mediante programas de simulación se constató la relación de horas de confort alcanzadas y consumo energético obtenido.

Desarrollo y metodología de la investigación

Dentro de los trabajos que abarcó este proyecto de investigación se destacan:

- Relevamiento del parque edificado objeto de estudio (como primera etapa), de forma de lograr luego sistematizar los datos de forma de definir un grupo reducido de tipologías base (cuatro en este caso).
- Registro de parámetros interiores (temperatura de bulbo seco y humedad relativa) y parámetros climáticos exteriores (temperatura de bulbo seco del aire, humedad relativa y velocidad de viento) para los apartamentos seleccionados.
- Realización de encuestas de confort térmico y de patrones de uso de los usuarios de las viviendas.

A partir de la sistematización de los parámetros energéticos de las tipologías se desarrollan dos modelos teóricos en los que se aplica análisis térmico y energético mediante simulación computacional.

Finalmente se estudian variantes a los modelos originales para contrastar los efectos de distintas decisiones de diseño en la aplicación de estrategias bioclimáticas sobre el comportamiento térmico y energético de las viviendas. Con estos estudios se verifican y proponen las pautas de diseño bioclimático que se deben aplicar a las viviendas en los dos climas complejos de referencia seleccionados.

Resultados del trabajo de investigación

A continuación se resumen los resultados y observaciones que se consideran más relevantes e interesantes del estudio realizado.

1. Análisis de datos de viviendas monitoreadas

Por un lado, resulta interesante la diferencia que se presentó entre los valores registrados de horas de confort interior y el porcentaje de usuarios que expresaron sentirse en confort térmico (37% vs 75% respectivamente). Esta diferencia entre porcentajes “teóricos” y percepción del usuario habla de la necesidad de ajustar los rangos de confort establecido para el trabajo (rango de temperaturas entre 18 y 27 °C) en función de las expectativas y capacidad de adaptación de las personas.

Otro punto a destacar es para el caso de Salto, donde en el período caluroso el clima exterior presentó un mayor porcentaje de horas de confort respecto al interior. Este indicador es de importancia ya que demuestra que el espacio construido presenta condiciones de confort térmico peores que el ambiente exterior.

2. Evaluación del consumo de energía eléctrica según estrategias de diseño aplicada

Mediante simulación computacional se evalúan cómo varían los consumos anuales de refrigeración y calefacción de los modelos base generados para ambas ciudades, según las distintas estrategias aplicadas en función de los modelos y consideraciones bioclimáticas antes explicadas. Estas estrategias fueron:

- Área expuesta
- Color exterior de fachadas
- Orientación
- Protecciones solares
- Factor de huecos
- Transmitancia térmica (de cerramientos opacos verticales)
- Transmitancia térmica y factor solar de cerramiento vidriado
- Patrones de uso (horarios de uso de las protecciones solares)
- Cargas internas (horarios de permanencia en viviendas)

3. Aplicación de las estrategias más eficientes a un modelo ajustado

La última parte de la investigación consistió en simular un modelo ideal – partiendo los análisis anteriores – que integre todas las estrategias, con sus variantes que determinan el menor consumo de energía. Esta simulación se realiza asumiendo que la vivienda no está calefaccionada ni refrigerada, para poder obtener resultados que se logren exclusivamente por propio desempeño pasivo del edificio.

En cuanto a las temperaturas interiores, en Salto se excede el rango superior de confort durante el período caluroso (incluso considerando una adecuada ventilación natural). En Montevideo, por el contrario, los modelos ideales no presentaron disconfort por calor.

Posteriormente se comparan los consumos de energía de los modelos ideales respecto a los modelos referentes. Se obtuvieron ahorros en el consumo de energía (simulado) de entre un 21% a un 59%. Los

ahorros resultaron mayores para los modelos simplemente orientados, y para la ciudad de Montevideo (respecto de Salto). En Salto el ahorro de energía se produce básicamente en refrigeración.

Conclusiones finales del trabajo

Los autores plantean que los estudios realizados y presentados en el informe sirven para comenzar a elaborar un encuadre de las exigencias a establecer en la reglamentación sobre la demanda de energía para acondicionamiento térmico. Recomiendan para normativas o exigencias futuras limitar aquellos parámetros que resultaron tener un mayor impacto sobre los consumos. Para el caso del consumo de calefacción, los parámetros que mayor impacto tuvieron fueron la transmitancia térmica de cerramientos opacos, la orientación y el factor de huecos. Se decide mantener el valor máximo de transmitancia térmica para opacos en $0.85 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (límite máximo exigido por el BHU desde el año 1999), limitando también el factor de huecos y la transmitancia de ventanas según la orientación solar. Para el control del consumo de refrigeración se establecen el factor de huecos y el factor solar de la ventana como parámetros de exigencia límite.

Se aclara esto es solo un primer paso, pero de todas formas el trabajo muestra la importancia de la investigación como insumo para la producción constructiva nacional.

Potencial del ahorro energético en viviendas de acuerdo a las alternativas propuestas

En lo que refiere a Montevideo las estrategias con mayor peso en el ahorro de energía son las que atienden los problemas del frío. Dentro de ellas destaca como determinante para reducir los consumos de energía el área expuesta al exterior (a mayor área mayor consumo). Otra estrategia complementaria para mejorar el desempeño térmico resultó el porcentaje de área vidriada por fachada. De acuerdo a las simulaciones realizadas, a partir de un factor de huecos de 30% los consumos de energía (tanto para calefacción como para refrigeración) se incrementan a medida que aumenta el factor de hueco.

Por otro lado, las simulaciones térmicas mostraron el bajo impacto del aislamiento sólo en paredes sobre la reducción del consumo de energía anual, no así la presencia de aislación en el techo, que puede resultar en casi 40% de reducción. Tanto en Montevideo como en Salto se muestra también que el aumento del espesor del aislante no impacta sustancialmente en el consumo de refrigeración.

En cuanto al discomfort durante el período caluroso en Montevideo, las estrategias con mayor impacto sobre el ahorro de la energía son el factor de área vidriada o de huecos, la orientación solar de los cerramientos vidriados y la colocación de protecciones solares.

En Salto la aplicación de las estrategias de diseño que resultaron determinantes en el consumo de energía total de la vivienda (específicamente en refrigeración) fueron aquellas relacionadas con el control de la energía incidente: protecciones solares, porcentaje de área de huecos en fachada, orientación y color de las superficies.

También se destaca el papel trascendental que juegan los usuarios en el empleo de las pautas de diseño. En todos los casos es fundamental la participación del usuario para el correcto funcionamiento de las estrategias. Claros ejemplos: uso de protecciones solares y ventilación nocturna.

2.1.4 Premio nacional de eficiencia energética

El Premio Nacional de Eficiencia Energética es una iniciativa del MIEM, que surge en el año 2009, con la intención de reconocer proyectos, instituciones, organismos y empresas a nivel nacional por sus esfuerzos y logros alcanzados en relación al ahorro y uso eficiente de la energía en diferentes sectores de actividad.

En el año 2019 MEVIR recibió uno de los premios de la categoría de edificaciones, por el compromiso en la mejora de la eficiencia energética en el diseño constructivo de más de 1.000 viviendas en todo el país. Además, incorporó capacitación a los hogares y equipamiento eficiente, mejorando el confort.

En el marco de su postulación al premio, MEVIR solicitó una consultoría externa para evaluar las nuevas medidas de eficiencia energética incorporadas en los proyectos de vivienda, tomando como línea de base las viviendas anteriores a 2017. Producto de esta consultoría se elaboró un Informe de la evaluación, presentado para el premio, el cual arrojó interesantes puntualizaciones y observaciones que se resumen a continuación (Sáez, 2019).

Dado que esta tesis modela una tipología de MEVIR que incorpora estas medidas se considera este trabajo resulta un insumo importante y merece ser expuesto.

Consultoría de evaluación de MEVIR para presentación al premio de eficiencia energética

Se analizaron viviendas de tres dormitorios de dos tipologías clásicas de MEVIR, en versiones aisladas y pareadas (compartiendo una de las paredes exteriores con vivienda contigua). Para la comparativa desde el punto de vista del desempeño energético, se supuso ambas tipologías en la misma ubicación geográfica (Tacuarembó, zona climática IIIb (templada cálida), de acuerdo a la norma UNIT 1026:1999) y con la misma orientación, a efectos de tener escenarios comparativos asimilables. Todos los resultados proporcionados se basaron en estudios teóricos en régimen estacionario, por un lado, y por otro lado, se utilizó el software EDEE para las simulaciones (en régimen variable) y cálculo de demandas necesario para la presentación del premio.

El diagnóstico realizado, y detallado en el informe, consistió en:

- Análisis del clima para la implantación considerada, identificando estrategias bioclimáticas para dicha zona climática.
- Cálculo de indicadores morfológicos vinculados al desempeño energético para las dos tipologías.

- Cálculo de transmitancia y características térmicas de los elementos de la envolvente, para línea de base (vivienda previa a la incorporación de medidas de eficiencia energética) y línea de mejora (viviendas posteriores a 2017, con las medidas de eficiencia energética incorporadas).
- Verificación en sitio de las transmitancias de muros (mediante ensayo con medidor termofluómetro) y análisis cualitativo en sitio de detección de irregularidades de la envolvente (mediante termografía infrarroja).
- Estudio teórico en régimen estacionario tanto de las diferentes soluciones constructivas analizadas como de las demandas de calefacción y refrigeración.
- Uso de simulación energética (en régimen variable), mediante el uso del software EDEE, para la identificación de demandas de calefacción y refrigeración anuales.
- Descripción y evaluación de la implementación de medidas de eficiencia energética y de las tecnologías aplicadas para satisfacer demandas de calefacción.

A continuación se hace una síntesis de las principales medidas de eficiencia energética implementadas en las nuevas tipologías de viviendas de MEVIR, junto con las observaciones presentadas en el Informe de consultoría mencionado:

- Cambio en los muros exteriores

Se pasó de un muro de ladrillo de 22 cm de espesor a un muro de ladrillo, doble aparejo, de 30 cm de espesor, con una capa de aislamiento térmico (3 cm de espuma de polietileno EPS).

Este cambio implica una reducción del 57% de la transmitancia térmica teórica del cerramiento, pasando de 1.56 W/m².K a 0.67 W/m².K. Se destaca la verificación de los valores teóricos, realizada mediante procedimiento experimental en sitio, con termofluómetro, dando en ambos casos valores del orden del calculado teóricamente (1.69 W/m².K y 0.73 W/m².K línea de base y línea de mejora, respectivamente).

Una observación importante respecto a esto no es solo la importante reducción de la transmitancia lograda en la línea de mejora, sino también notar que el muro de línea de base (previo a la incorporación de medidas a partir de 2017) no cumple con la Resolución Municipal de Montevideo 2928/2009, la cual exige como valor máximo 0.85 W/m².K. A pesar de que esta normativa no es exigible a las viviendas de MEVIR (fuera de la localidad de Montevideo), sí es un valor de referencia que sirve para lograr cerramientos que posibiliten el confort del usuario, tal como se mencionaba también en el estudio realizado por la FADU sobre pautas bioclimáticas, antes mencionado (Picción, Camacho, López, & Milicua, 2009).

En el Informe de presentación para el premio se destaca también que la inclusión de una barrera aislante térmica, junto con el aumento en el espesor del muro exterior, logran evitar el riesgo de condensación.

- Cambios en la cubierta

En este caso, la cubierta de línea de base ya presentaba valores de transmitancia térmica admisible ($0.70 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$). Aquí el cambio sustancial fue la reubicación de la barrera de vapor. Se logró evitar el riesgo de condensación dentro de la barrea térmica modificando la posición de la lana de vidrio dentro del cerramiento y aumentando el espesor del film de polietileno (de 100 a 150 micrones).

- Incorporación de cortinas de enrollar de PVC en ventanas de dormitorios
- Apareamiento de viviendas

Una de las medidas implementadas por MEVIR fue comenzar a manejar para algunos casos la versión de viviendas apareadas para núcleos de viviendas (en lugar de viviendas aisladas como era tradicional). De acuerdo a los cálculos teóricos del informe, el tener una fachada menos expuesta (compartida por dos viviendas contiguas) reduce el coeficiente volumétrico de pérdidas térmicas para la línea de mejora un 4% aproximadamente.

- Ubicación de aberturas de dormitorios de acuerdo a orientación de la vivienda
- Sustitución de estufa a leña de hogar abierto por calefactor a leña de doble combustión y alto rendimiento.

Esta última medida no afecta las demandas energéticas, pero sí logra reducir sustancialmente el consumo energético de calefacción, pues se pasa de una estufa de hogar abierto – que tiene una eficiencia de 15% (aproximadamente) – a un calefactor de alto rendimiento, con eficiencia mayor al 75%, generando así un ahorro importante para las familias.

Para el cálculo de las demandas energéticas para la presentación al premio, se utilizó el software de simulación en régimen variable EDDE (anteriormente descrito en este capítulo). Respecto a esto es importante hacer notar que las hipótesis de agenda de uso, ocupación y, sobretodo, condiciones de operación para las demandas de calefacción y refrigeración no son representativas de la realidad de las viviendas de MEVIR. Por lo tanto, los valores de demandas a los que se arriban sirven exclusivamente para comparar en forma porcentual las líneas de base con líneas de mejora, y las distintas tipologías de vivienda entre sí. No resultan, por el contrario, representativos los valores netos de demandas a los que se llega pues, por ejemplo, el software establece como período diario de operación para acondicionamiento doce horas de calefacción (12 a 24 h) y doce horas de refrigeración (12 a 24 horas), y temperaturas de consigna 24°C y 21°C respectivamente, todas estas exigencias muy por encima de la realidad.

En base a los resultados del EDEE se obtuvo que ninguna de las líneas de base de las tipologías simuladas cumplen con la demanda límite de referencia establecida por el programa de simulación mencionado. Por el contrario, con la implementación de las medidas mencionadas (línea de mejora) se cumple el no superar las demandas límites establecidas de referencia para todas las tipologías, a excepción de las demandas de refrigeración para la tipología llamada Polanco (versión apareada y aislada). Se asume que esto puede ser atribuible a que la relación de vanos/lleos en esta tipología es mayor que en la otra (tipología Tambores),

por lo que se recomienda para este caso disminuir esta relación, o aumentar la resistencia térmica de las aberturas o dispositivos de sombreado.

2.2 Normativas de otros países y criterios considerados a nivel mundial.

Hasta ahora se ha presentado en este capítulo distintos estudios y proyectos que existen y/o se están desarrollando en Uruguay referente a temas de eficiencia energética y confort térmico en viviendas.

Resulta de interés presentar también alguna de las normas desarrolladas por otros países al respecto, así como también hacer mención a distintos aspectos estudiados y/o exigidos por distintas normas o códigos a nivel internacional, que en nuestro país aún no han sido regulados.

2.2.1 Chile

Chile ha sido uno de los países pioneros dentro de Sudamérica en lo que refiere a confort térmico en viviendas. Viene desarrollando la normativa de desempeño térmico de edificios desde la década de los noventa, y ha sido el primer país en Latinoamérica en incorporar en su reglamento exigencias de acondicionamiento térmico para todas las viviendas.

En 1994 estableció ya una Reglamentación Térmica, implementada con carácter obligatorio por el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, la cual establece mejoras progresivas en el acondicionamiento térmico de las viviendas de Chile. Fue programada en tres etapas: una primera con requisitos para techos (desde el año 2002); una segunda con condicionantes para muros, ventanas y pisos (desde 2007); y una tercera en 2012 con la calificación energética de las viviendas (Reus Netto & Czajkowski, 2016).

Uno de los aspectos que en Latinoamérica en general – incluyendo Uruguay – no se ha profundizado a la hora de establecer estándares, normativas y/o exigencias es el tema de infiltraciones y permeabilidad⁶.

En Chile, sin embargo, se ha realizado un estudio muy interesante a nivel nacional sobre el tema de calidad hermética, centrado en edificios públicos. Este trabajo, titulado *Manual de Hermeticidad al aire de edificaciones*, se enmarca en el Proyecto “Establecimiento de Clases de Infiltración Aceptable de Edificios para Chile” financiado por el Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF) y realizado por el Centro de Investigación en Tecnologías de la Construcción de la Universidad del Bío-Bío (González Cáceres, y otros, 2014).

El objetivo del trabajo fue definir y establecer normas de las clases de hermeticidad para los edificios en Chile. Esto es de destacar, pues así como muchos países a nivel mundial enfocan las exigencias y normativas para controlar la demanda energética en edificios en limitaciones básicamente de transmitancias de envolventes, áreas y características de aberturas (claro ejemplo de lo que ocurre en nuestro país), Chile

⁶ En forma complementaria puede encontrarse dentro del *Anexo I* la definición y exigencias a nivel internacional sobre la temática de hermeticidad al aire, infiltraciones y permeabilidad

resalta y actúa sobre la importancia que tiene de la hermeticidad al aire en el impacto de la demanda energética de edificios.

Manual de Hermeticidad al aire de edificaciones de Chile

En el contexto de normativa de Chile, existe este manual (González Cáceres, y otros, 2014) que propone desarrollar estándares de hermeticidad al aire y clases de infiltración aceptable de edificios por zona territorial de Chile, con el objeto de reducir a límites aceptables el impacto de las infiltraciones de aire en la demanda y consumo energético en el sector de edificaciones.

Se observa que hay avances dispares en aspectos importantes como la hermeticidad y ventilación (los cuales tienen nulo o escaso desarrollo a nivel de reglamentos y diseños) respecto a otros aspectos relacionados con la eficiencia y confort térmico, como por ejemplo la aislación térmica, la cual sí cuenta con múltiples avances.

Hay dos componentes importantes en la demanda energética de una edificación. Por un lado – sobre lo que hay mayor avances en legislación – aquella que corresponde a las pérdidas por transmisión, determinadas por el diseño constructivo, conductividad térmica y el espesor de las capas materiales constituyentes de la envolvente del edificio, sintetizadas normalmente a través del indicador de transmitancia térmica U ($W/m^2.K$). La segunda parte se debe a las pérdidas por ventilación, determinadas por los dispositivos previstos para la ventilación, y por las infiltraciones de aire, establecidas a su vez por las propiedades de hermeticidad al aire de la envolvente, caracterizadas usualmente por el indicador n_{50} (1/h).

La demanda energética entonces – considerada como un indicador de aptitud del diseño pasivo y un factor a optimizar para mejorar la calidad energética – queda definida por ambas componentes de pérdidas, así como también por los aportes de calor internos y externos, variables sobre las cuales se debe actuar para reducir a valores mínimos óptimos la demanda de energía.

La reglamentación chilena – al momento de elaborar el manual – fijaba requisitos para limitar solamente las pérdidas por transmisión a través de la envolvente. Adicionalmente, a partir de 2013, se puso en marcha una etapa voluntaria de reglamentación la cual establece un sistema de calificación energética de la vivienda, a través de la evaluación de su demanda y consumo energético.

La reglamentación térmica no consideró en sus inicios disposiciones orientadas a regular la hermeticidad al aire y cargas energéticas asociadas a las infiltraciones de aire. En consecuencia, una componente importante de la demanda para el acondicionamiento quedó sin regulación ni control. Según el manual, ésta última componente puede llegar a representar en algunos casos hasta el 60% de la demanda (particularmente en zonas ventosas y con altos diferenciales térmicos).

Un aspecto a destacar (que ocurre en el general de los países pero que en Chile se ve más acentuado respecto a muchos) es la variación de demanda para acondicionamiento térmica de viviendas que existe para las

distintas regiones climáticas del país, como puede apreciarse en la Figura 4. Hay que tener en cuenta que la reglamentación térmica chilena considera siete zonas térmicas a nivel nacional.

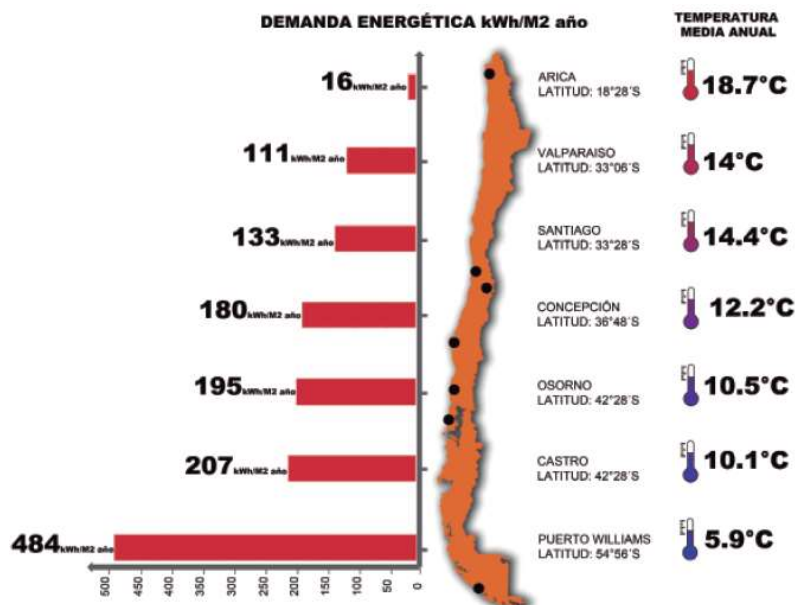


Figura 4 - Demanda de energía calculada para el acondicionamiento térmico de una vivienda típica de albañilería en las distintas zonas térmicas de Chile. Fuente: (González Cáceres, y otros, 2014)

Algo que se considera importante destacar de este manual es que presenta un conocimiento de base experimental (no teórico), que sirve para poder diseñar y construir edificios con niveles apropiados de hermeticidad al aire. Entre los desarrollos más importantes informados del manual se destacan:

- Determinación de la línea base de las infiltraciones de aire en Chile
- Establecimiento de las clases o exigencias de hermeticidad al aire mínima aceptables para cada capital provincial de Chile (determinados y/o influenciados por condiciones de clima exterior).
- Establecimiento de métodos de verificación del cumplimiento de las exigencias de hermeticidad en fase de diseño y obra

Determinación de la línea base de las infiltraciones de aire en Chile

Para la definición de línea base de viviendas, los análisis elaborados concluyen que la variable materialidad predominante en muros es la más apropiada para la creación de la línea base, identificando las cuatro materialidades predominantes en la envolvente con mayor presencia a nivel nacional: hormigón, albañilería de ladrillo, albañilería de ladrillo combinado con estructuras livianas y madera.

Tipología	Material predominante de muros	Línea base de hermeticidad (Vol/h)
Sistema pesado	Hormigón, albañilería de ladrillos, albañilería de bloques, etc.	9 - 11,8
Sistema mixto	Sistema pesado + sistema liviano	15
Sistema liviano	Madera, acero galvanizado, paneles prefabricados en base a madera, etc.	10,2 - 24,6

Tabla 3 – Clasificación de sistemas constructivos según sus propiedades de permeabilidad al aire.

Fuente: (González Cáceres, y otros, 2014)

De la línea base de infiltraciones de aire en edificaciones del país se observa que los mejores niveles de hermeticidad al aire se dan en edificaciones cuya material predominante en muros es hormigón y albañilería, con valores promedios de 9 y 11,8 renovaciones de aire por hora a 50 Pa respectivamente.

Por el contrario, los sistemas constructivos livianos, cuyos materiales predominantes en la envolvente están conformados por madera, acero galvanizado u otros, tienden a ser menos herméticos, debido principalmente a la gran cantidad de uniones entre elementos constructivos y materiales que conforman la estructura. Estos sistemas llegan a alcanzar los 25 cambios de volumen por hora a 50 Pa⁷.

Las viviendas de MEVIR, por ejemplo, entrarían dentro de la categoría de *Sistema Pesado*, con una Línea base de hermeticidad de entre 9 y 11.8 renovaciones por hora.

En el estudio de (González Cáceres, y otros, 2014), mediante relevamientos y ensayos experimentales normalizados realizados a una muestra representativa de viviendas destinadas a uso habitacional y servicios, se demuestra que las edificaciones en Chile poseen reducida capacidad para oponerse a las infiltraciones de aire. El estudio de línea base presentado muestra que las viviendas construidas entre los años 2007 y 2010 tienen valores de n_{50} de 12.9 ± 1.8 , haciendo evidente la ausencia o uso deficiente de técnicas de sellado y mala calidad de ejecución de las envolventes respecto de la hermeticidad. Su capacidad para oponerse a las infiltraciones, y por lo mismo para limitar las cargas energéticas por ese concepto, es un cuarto de la exigible de acuerdo a estándares internacionales comparables. En el estado actual sólo un 3% de las nuevas construcciones alcanzan clases de hermeticidad internacional (estándar medio de hermeticidad en Europa en torno a $n_{50} = 3$ (1/h)).

⁷ Al hablar de volumen por hora se está haciendo referencia al volumen de aire total de la vivienda

Establecimiento de las clases o exigencias de hermeticidad al aire mínima aceptables para cada capital provincial de Chile

La clase de hermeticidad aceptable corresponde al estándar o nivel de hermeticidad límite – normalmente establecidos por zonas o todo un territorio nacional – que la ordenanza acepta para un país o territorio. Las clases se definen y respaldan mediante estudios de base experimental y se expresan de manera cuantitativa a través de indicadores.

Se plantea para edificios en Chile una propuesta de clases de hermeticidad aceptable, a través de un valor mínimo deseable del desempeño de hermeticidad al aire de las edificaciones en cada provincia.

Para definir las clases de cada provincia se toman dos criterios:

- 1) No superar una demanda límite de 40 kWh/m².año por carga de infiltración (justificación económica)
- 2) Que la clase a fijar cumpla un 10% del parque de edificios del lugar antes de colocar la exigencia (para lograr que ya parte de las construcciones actuales lo cumplan pero que a su vez represente una mejora respecto a los valores actuales del conjunto de edificaciones)

Se trata de que ambos criterios se cumplan simultáneamente (lo cual ocurre para la mayoría de las provincias). En aquellas provincias donde esto no ocurre se privilegia el criterio de demanda energética máxima.

El nivel de clases que se propone lo determina principalmente el criterio del estado actual de hermeticidad, cumple con la condición de no ser tan estricto al comienzo pero está a mitad de camino del nivel de hermeticidad que debiera tener el parque considerando estándares internacionales. Las exigencias deben modificarse progresivamente en el tiempo de acuerdo a un programa con plazos fijados y de acuerdo al aprendizaje de esta nueva exigencia. Esto debiera permitir un proceso de mejoramiento de la calidad energética del parque, proceso que debe ser sostenido en el tiempo y monitoreado, a objeto de medir sus progresos.

2.2.2 Argentina

En Argentina, el escenario del desempeño térmico de edificios cuenta con un conjunto de normativas que vienen siendo estudiadas y actualizadas desde el año 1965 hasta la fecha.

Dos investigadores de la Universidad de la Plata, Argentina, realizaron un trabajo muy interesante titulado “Comparación entre las normativas de desempeño térmico edilicio de Argentina, Brasil y Chile. Aplicación a vivienda de interés social” en el cual realizan una breve síntesis de documentos normativos y legales sobre el desempeño térmico edilicio de estos países de la región. Según se describe en este trabajo (Reus Netto & Czajkowski, 2016), en Argentina la ley 13.059/03 es la que define las condiciones de acondicionamiento

térmico exigidas en la construcción de todos los edificios públicos y privados localizados en la provincia de Buenos Aires. De todas formas, a pesar de ser obligatorias por ley desde el año 2003, no se hace efectivo su cumplimiento. Lo mismo ocurre con la normativa obligatoria para la Ciudad Autónoma de Buenos Aires, vigente en este último caso desde el año 2012.

La ley provincial de 2003 se trata del primer antecedente de aval legal en la aplicación de normativas relativas a la eficiencia energética (junto con el decreto reglamentario de 2010 1.030/10), estableciendo la exigencia de incluir verificaciones de los niveles de desempeño higrotérmico estipulados por normas IRAM de la serie 11.600. Los principales problemas que explican su escasa aplicación fueron las variadas exigencias constructivas, la autonomía de las municipalidades y el sistema descentralizado de control e inspección (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020)

El decreto 1.030/10 reglamentario de la ley mencionada, informa que toda obra debe atender los siguientes requisitos (Reus Netto & Czajkowski, 2016):

- A. Cumplir con los valores de U ($W/m^2.K$) para invierno y para verano (IRAM 11.605)
- B. Verificar el riesgo de condensación superficial e intersticial (IRAM 11.625 y 11.630)
- C. Comprobar el valor del coeficiente G_{cal} admisible para calefacción (IRAM 11.604)
- D. Verificar los valores de calidad térmica U ($W/m^2.K$) en vidriados (IRAM 11.507)
- E. Cumplir con la calidad de infiltración en carpinterías (IRAM 11.507)

Así como la norma UNIT 1026:1999 “Aislamiento térmico de edificios. Zonificación climática” establece para Uruguay tres zonas climáticas distintas, en Argentina la norma IRAM 11.603/2012 establece un mapa bioambiental que divide al territorio argentino en seis zonas, cada una de las cuales tendrá asociado un valor máximo admisible distinto.

La norma IRAM 11.605/1996 clasifica el desempeño edilicio a través de tres niveles de confort: A (Recomendado), B (Medio) y C (Mínimo). Estos niveles están definidos por los valores de transmitancia térmica de muros y techos en condiciones de verano e invierno,

Zona bioambiental	Muros			Techos		
	Nivel A	Nivel B	Nivel C	Nivel A	Nivel B	Nivel C
I y II	0,45	1,10	1,80	0,18	0,45	0,72
III y IV	0,50	1,25	2,00	0,19	0,48	0,76

Tabla 4 – Valores máximos de transmitancia térmica U ($W/m^2.K$) para condiciones de verano.

Fuente: (Reus Netto & Czajkowski, 2016)

TED (°C)	Muros			Techos		
	Nivel A	Nivel B	Nivel C	Nivel A	Nivel B	Nivel C
-5	0,31	0,83	1,45	0,27	0,69	1,00
-4	0,32	0,87	1,52	0,28	0,72	1,00
-3	0,33	0,91	1,59	0,29	0,74	1,00
-2	0,35	0,95	1,67	0,30	0,77	1,00
-1	0,36	0,99	1,75	0,31	0,80	1,00
>0	0,38	1,00	1,85	0,32	0,83	1,00

Tabla 5 – Valores máximos de transmitancia térmica (W/m².K) para condiciones de invierno.

Fuente: (Reus Netto & Czajkowski, 2016)

Como puede observarse en la Tabla 5, los valores máximos admisibles para la situación de invierno se definen en función de la temperatura exterior de diseño (TED), establecida en la norma IRAM 11.605

Etiquetado de eficiencia energética en viviendas

En el año 2009, aparece la primera edición la norma IRAM 11900: “Etiqueta de Eficiencia Energética de calefacción para edificios”, estableciendo ocho niveles de eficiencia térmica de la envolvente – siguiendo el formato de las etiquetas de eficiencia energética de los electrodomésticos – y proponiendo una metodología simplificada para el cálculo del nivel de eficiencia energética de las envolventes de los edificios susceptibles de ser calefaccionados (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020). La calificación de eficiencia energética del edificio se realiza en función de la transmitancia térmica media de la envolvente, que es asociada a una escala de letras, desde la “A” – mayor nivel de eficiencia energética – hasta la “H” – menor nivel de eficiencia energética.

En 2017 se realizó una nueva versión de la norma IRAM 11.900, la cual establece el cálculo de prestaciones energéticas para viviendas de uso residencial, integrando un mayor número de variables respecto a la primera versión de 2009: calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, iluminación interior y energías renovables. La principal diferencia respecto a la versión anterior es que ahora contempla estrategias de eficiencia energética tanto activas como pasivas.

En enero de 2019 se introdujo una última modificación en la norma, la cual quedó finalmente definida como *Prestaciones Energéticas en Viviendas. Método de Cálculo y etiquetado de eficiencia energética*.

Allí se precisa un método de cálculo para determinar la prestación energética de unidades residenciales, donde la noción de “prestaciones energéticas” se refiere al uso final de energía convencional que contribuye a la demanda energética de la vivienda mediante los servicios de calefacción, refrigeración, iluminación artificial interior y calentamiento de agua sanitaria. Se mencionan las estrategias bioambientales de diseño como una manera efectiva de contribuir a la eficiencia energética (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020).

Algo que merece ser destacado es la mención explícita en la propia norma sobre la importancia de considerar estrategias pasivas de diseño para la mejora de la eficiencia energética.

La versión 2019 de la norma define las Estrategias Pasivas de Diseño Arquitectónico (EPDA) como “Características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos que adecúan el edificio a las condiciones climáticas y ambientales, y permiten mejorar la sensación de confort Higrotérmico y reducir la demanda de energía convencional”. Las estrategias pasivas posibles de evaluar son: aislación térmica, protección solar, ventilación natural, captación solar, humidificación y entorno.

La ponderación de la relevancia de las estrategias bioclimáticas depende del clima de la región donde se emplaza el edificio y se realiza mediante la identificación de una serie de parámetros característicos que la norma identifica como *Recursos Arquitectónicos-Constructivos* (RAC), los cuales reducen la demanda de energía y optimizan el confort higrotérmico mediante el acondicionamiento natural del edificio en los períodos de verano e invierno. Los RAC considerados son: aislación e inercia térmica (de muros exteriores, ventanas y piso), color externo (de techo y muros), sombreado de ventanas, sistemas solares pasivos (directos e indirectos), altura piso-techo, contacto con otras viviendas, obstáculos exteriores, forma compacta, proporción de ventana en muros, ventilación (cruzada y selectiva) y nivel de hermeticidad, entre otros (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020).

El modelo de etiqueta consisten en una escala de letras que va desde la “A” (máximo nivel de eficiencia energética) hasta la “G” (nivel mínimo). Cada letra de la escala es asociada a un rango de valores del indicador de eficiencia energética calculado conforme al método de cálculo establecido en la Norma, y se establece que dichos rangos en valores absolutos deben ser definidos para cada región del país. El valor medio del parque de viviendas de cada región será que el que se asocia al centro de la letra “E” (Dirección de Eficiencia Energética en Edificaciones y Sector, 2020).

Pruebas piloto

Se destaca también la realización de pruebas pilotos de etiquetado de viviendas en distintas ciudades y provincias, con el objetivo de validar el procesamiento de cálculo, el aplicativo informático desarrollado y el sistema de implementación a nivel nacional. De esta manera se permite realizar los ajustes correspondientes que se consideren necesarios, de forma de poder tener en cuenta las particularidades climáticas, socio-económicas y de prácticas constructivas locales. Estas pruebas fueron realizadas entre los años 2017 y 2019 en ciudades tales como Rosario (Santa Fe), Bariloche (Rio Negro), Mendoza-Godoy Cruz, Tucumán y Salta.

Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas

Con el propósito de introducir la etiqueta de eficiencia energética en el país, en el año 2018 surge el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas, basado en la Norma IRAM 11900. Se trata de obtener una estimación del consumo de energía primaria en hogares residenciales ya construidos para satisfacer las demandas generadas por requerimientos de calefacción, refrigeración, producción de agua caliente sanitaria e iluminación, durante un año típico.

Este programa tiene como objetivo introducir la Etiqueta de Eficiencia Energética como un instrumento que brinde información a los usuarios acerca de las prestaciones energéticas de una vivienda y constituya una herramienta de decisión adicional a la hora de realizar una operación inmobiliaria, evaluar un nuevo proyecto o realizar intervenciones en viviendas existentes (Dirección de Eficiencia Energética en Edificaciones y Sector, 2020).

La Ley 13.903 (2019) “Etiquetado de eficiencia energética de inmuebles destinados a vivienda” es el principal marco legal y antecedente a nivel nacional, que consolida una política específica de Eficiencia Energética. Dicha ley reglamenta la aplicación del Índice de Prestaciones Energéticas y el Etiquetado Energético de inmuebles destinados a viviendas, creando también un registro de etiquetas y otro de certificadores (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020).

En esta ley se define lo que se conoce como *Índice de Prestación Energética (IPE)*, el cual se define como el indicador de eficiencia energética, y se establece que en función de su valor se determina la categorización de la vivienda en una escala de letras asociada, que va desde la “A” (valores de IPE más bajos – mayor nivel de eficiencia energética) hasta la “G” (valores de IPE más altos – menor nivel de eficiencia energética) (Dirección de Eficiencia Energética en Edificaciones y Sector, 2020).

Tal como se describe en el estudio de (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020), el IPE es un valor característico de la vivienda, expresado en KWh/m².año, el cual representa el requerimiento teórico de energía primaria para satisfacer las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua sanitaria e iluminación, durante un año y por metro cuadrado de superficie, bajo condiciones normalizadas de uso.

Las variables incidentes en el IPE pueden ser clasificadas entre estrategias activas y pasivas, como se muestra en la tabla a continuación:

Variables incidentes Estrategia Pasiva	Variables incidentes Estrategia Activa
Composición de la envolvente	Artefactos de iluminación
Características de las aberturas	Tipo de accionamiento de artefactos de iluminación
Orientaciones	Características de los equipos de refrigeración
Terminación de superficies exteriores	Características de los equipos de calefacción
Terminación de superficies interiores	Sistema de ACS
Altura piso- techo	Uso de energía fotovoltaica
Protecciones solares	Calentamiento de agua con energía solar

Tabla 6 – Clasificación de las variables incidentes en IPE. Fuente: (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020)

Cabe mencionar que al año 2020 tanto la norma IRAM 11.900 (2017) como el Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas no tienen una implementación de carácter obligatorio a nivel nacional, constituyéndose aún sólo como una herramienta para profesionales y usuarios (Fernandez, Garzón, & Elsinger, 2020).

Viviendas de interés social en Argentina

Por último, respecto a lo que refiere a viviendas de interés social – tal como los son las viviendas de MEVIR – cabe hacer mención a que en 2019 la Secretaría de Vivienda de la Nación establece una resolución (Resolución N°59/2019) la cual aprueba los *Estándares mínimos de calidad para viviendas de Interés Social*, aplicables al Plan Nacional de Vivienda y a otros programas y proyectos de interés social financiados total o parcialmente con fondos nacionales.

Dentro de los estándares mencionados se introduce la obligatoriedad de presentar, por ejemplo, un informe de cálculo del *Índice de Prestaciones Energéticas* conforme Norma IRAM 11.900/2017 mediante la utilización del aplicativo informático nacional de Etiquetado de Viviendas que pone a disposición la Secretaría de Gobierno de Energía de la Nación (Dirección de Eficiencia Energética en Edificaciones y Sector, 2020).

Asimismo, se deberán incorporar estándares mínimos de eficiencia energética en los equipos que se instalen en dichas viviendas, así como también en los sistemas constructivos que se utilicen.

La idea a futuro es lograr, en forma progresiva, que todas las viviendas ejecutadas a partir del año 2027 tengan como mínimo una clase de eficiencia energética “C”.

2.2.3 Brasil

Brasil es otro de los países que ha comenzado con estudios desde varias décadas atrás. El *Grupo de Confort Ambiental e Eficiência Energética*, por ejemplo, trabajó desde 1988 en la elaboración de un proyecto de normativa de confort para ser aplicado en todo el país.

En cuanto al sector de viviendas de interés social, más específicamente, también cuenta con importantes antecedentes: en 2005 se instauró, a nivel informativo, la primera norma destinada a garantizar un nivel mínimo de desempeño energético térmico de viviendas de interés social, la NBR 15.220

Posteriormente en 2008, se implementó – con carácter obligatorio – la NBR 15.575: una norma para garantizar el desempeño edilicio ya de obras en general, incluyendo aspectos de desempeño térmico y energético. Esta norma entra en vigencia en forma oficial en el año 2013 (Reus Netto & Czajkowski, 2016).

Existen entonces básicamente dos normas en Brasil que reglamentan el confort térmico en edificaciones.

Por un lado la NBR 15.220/2008, la cual se enfoca en la calidad de viviendas unifamiliares de interés social de hasta tres pisos (contexto donde podrían incluirse por ejemplo las tipologías de vivienda de MEVIR). Esta norma se enfoca en el confort térmico y propone un conjunto de recomendaciones y estrategias de diseño que pueden usarse para mejorar el desempeño edilicio. Tal como ocurre con normativas de otros países, las estrategias son en función de la zona bioclimática en la cual se encuentra la vivienda; para el caso de Brasil, el territorio se divide según norma en 8 zonas bioambientales.

En segundo lugar está la norma NBR 15.575/2013, de carácter obligatorio, la cual establece un nivel mínimo de desempeño que debe cumplirse para todas las nuevas construcciones de tipo residencial (con número indeterminado de niveles). Se aplica tanto para la estructura, pisos, cerramientos verticales, cubiertas y subsistema hidro-sanitario. Dentro de los varios criterios a garantizar podemos destacar aspectos de habitabilidad tales como estanqueidad y desempeño térmico.

Las edificaciones deben cumplir, por ejemplo, con los valores de transmitancia térmica, capacidad térmica, y absorción a la radiación, para muro o techo, dependiendo de la zona bioambiental, que se muestran en la tabla a continuación:

Zona bioambiental	Muros			Techos			
	Transmitancia Térmica	Capacidad Térmica	Absorción a la radiación	Transmitancia Térmica			Absorción a la radiación
				M	I	S	
1 y 2	$\leq 2,5$	≥ 130	-	$\leq 2,3$	$\leq 1,5$	$\leq 1,0$	-
3, 4, 5 y 6	$\leq 3,7$	≥ 130	$\alpha^a \leq 0,6$	$\leq 2,3$	$\leq 1,5$	$\leq 1,0$	$\alpha \leq 0,6$
	$\leq 2,5$	≥ 130	$\alpha^a > 0,6$	$\leq 1,5$	$\leq 1,0$	$\leq 0,5$	$\alpha > 0,6$
7 y 8*	$\leq 3,7$	≥ 130	$\alpha^a \leq 0,6$	$\leq 2,3$ FV	$\leq 1,5$ FV	$\leq 1,0$ FV	$\alpha \leq 0,4$
	$\leq 2,5$	≥ 130	$\alpha^a > 0,6$	$\leq 1,5$ FV	$\leq 1,0$ FV	$\leq 0,5$ FV	$\alpha > 0,4$

*Sin requisito para Capacidad térmica

Tabla 7 – Valores de transmitancia térmica ($W/m^2.K$), capacidad térmica ($kJ/m^2.K$) y absorción a la radiación para muros y techos de acuerdo a la NBR 15.575/2013.

Fuente: (Reus Netto & Czajkowski, 2016)

Un aspecto interesante es que la norma solicita a los proyectistas que indiquen la vida útil del proyecto y que provean también a las constructoras con un Manual de Uso y Operación para entregar al usuario y que este pueda realizar el mantenimiento necesario y garantice así la vida útil descrita en la norma.

La evaluación de los criterios de desempeño térmico puede realizarse a través del modo simplificado (el proyectista informa con cálculos que la envolvente cumple con los criterios de transmitancia y capacidad térmica establecidos para cada cerramiento), o sino por medio de simulación, usualmente con el programa Energy Plus (cuando los valores obtenidos en el primer momento no sean satisfactorios) (Reus Netto & Czajkowski, 2016).

Este programa de simulación termo-energética, el Energy Plus, de extendido uso en Brasil para cumplir con la NBR 15.575, será tomado en consideración en este trabajo a la hora de seleccionar y adoptar un software para las simulaciones a realizar en esta tesis.

2.2.4 España

El conjunto de normativas que regulan el sector de la construcción de viviendas en España es el Código Técnico de la Edificación (CTE), el cual fue aprobado en 2006. En él se establecen las exigencias mínimas que debe cumplir una vivienda para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad, sirviendo su aprobación para avanzar en materia de sostenibilidad económica, energética y medioambiental (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC), 2020).

Desde su aprobación en el año 2006 el CTE ha sufrido varias modificaciones, comenzando a hablarse por primera vez de “Limitación de la demanda energética” a través de la envolvente del edificio, fomentando la innovación en materiales de construcción, entre otros. Así, se establecen los valores límites para la transmitancia de elementos concretos de la envolvente y valores medio de la envolvente del edificio.

Ya vemos incorporados desde sus comienzos en el caso del código español, restricciones adicionales a las hoy fijadas – para algunas construcciones – en Uruguay, pues va más allá de limitar transmitancias de elementos puntuales (por ejemplo muros) sino que limita valores medio de toda la envolvente de la vivienda.

El CTE continuó evolucionando y en su versión 2013 comienza ya a hablar de la demanda energética de un edificio – concepto muy importante – poniendo el foco en el consumo energético del mismo. Esta versión vuelve más restrictivas las limitaciones de los valores de transmitancia permitidos, principalmente en lo referente a fachadas, incluyéndose criterios adicionales como la orientación, puentes térmicos, tipos de ventilación, entre otros, que no se había considerado hasta el momento.

El CTE se divide en seis documentos básicos (conocidos como *DB*). De ellos, el sexto es el que refiere a normativa de temas energéticos, titulado *Ahorro de energía y aislamiento térmico*.

El Documento básico *BD-HE de Ahorro de energía* es el documento que establece las exigencias de eficiencia energética que deben cumplir los edificios para asegurar que el confort de sus ocupantes se alcanza – y aquí el punto fundamental – con un uso racional de la energía (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020)

Este *DB* se divide a su vez en diferentes capítulos, entre los que se destacan los primeros dos (*HE 0* y *HE 1*), que tratan sobre la limitación del consumo y de la demanda energética respectivamente.

En particular, el *HE 1* establece una serie de parámetros de obligatorio cumplimiento como: transmitancia térmica, condensación superficial, resistencia a las acciones del viento, permeabilidad al aire, propiedades frente a radiación, entre otros.

Es de interés realizar dos observaciones con respecto a la limitación de la demanda energética establecida en el CTE. En primer lugar, que la demanda se limita en función tanto de la zona climática en la que se ubica el edificio como de su uso previsto. En segundo lugar, que el ahorro de energía mediante la limitación

de la demanda es obligatorio sólo para construcciones nuevas y edificios ya existentes que rehabiliten o modifiquen más de una cierta área y porcentaje del mismo.

Otro aspecto a destacar es el aporte brindado por el CTE al permitir que la normativa técnica de edificios sea algo de uso común para usuarios y actores involucrados, socializándolo más allá de un uso exclusivo para técnicos y profesionales.

Última actualización CTE 2019: adecuación a normativa europea

A partir del 31 de diciembre de 2020 todos los edificios nuevos o rehabilitados comenzarán a regirse por esta nueva actualización que lo que hace es hacer efectiva la adecuación de la norma española a la directiva europea 2010/31/UE (revisada y modificada en 2018 por la Directiva (UE) 2018/844) (Oficina de Publicaciones de la Unión Europea, 2018)

La directiva europea relativa a la eficiencia energética de los edificios tiene como objetivo impulsar la sostenibilidad global a través del sector constructivo, reduciendo sus emisiones y ahorrando en la demanda energética de los edificios, para lo cual establece y define los criterios de eficiencia energética.

Lo que se propone es que para saber si un edificio es eficiente energéticamente se ha de calcular el consumo energético anual del edificio y cotejarlo con el consumo de energía normal del mismo edificio, en condiciones estándar de uso y ocupación.

Son varios los cambios incorporados al comenzar a regir esta normativa, dentro de los cuales han de destacarse las siguientes novedades (Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2020):

- Hasta esta nueva actualización, el indicador de eficiencia energética que se manejaba en el CTE era el Consumo de Energía Primaria no Renovable. Este indicador se mantiene, pero la anterior limitación de las necesidades energéticas se sustituye por la combinación del **Consumo de Energía Primaria Total** (nuevo indicador) y unas condiciones de calidad mínima energética de cerramientos y diseño arquitectónico.

Es importante aclarar que resulta necesario plantear los indicadores de consumo bajo la premisa de energía primaria (y no energía final) de manera que permita comparar las diferentes tecnologías y vectores energéticos posibles, así como su carácter renovable o no renovable.

- Se potencia el uso de energía renovable, reduciendo el valor límite del **Consumo de Energía Primaria no Renovable** existente previamente: de la energía primaria consumida por un edificio, el 50% ha de ser energía renovable, así como también ha de reducirse (sin un porcentaje fijo en este caso) el consumo de energía. Respecto a esto también es importante destacar que se potencia el uso de renovables generadas en la vivienda, o en el entorno cercano, permitiendo el uso de cualquier tecnología, sin dar prioridad a ninguna en concreto.

El objetivo de esto es por un lado mitigar el cambio climático, pero por otro lado lograr reducir a su la dependencia energética de España ante fuentes no nacionales.

Esto se aborda limitando tanto las necesidades totales de energía como el consumo de energía procedentes de fuentes no renovables, ambos indicadores recogidos en la sección *HE – Limitación del Consumo energético*.

Los consumos de energía primaria que – a la fecha – se contemplan para la evaluación de la eficiencia energética de un edificio son: calefacción, refrigeración, ventilación, control de humedad, iluminación y agua caliente sanitaria. Se excluyen consumos ligados al uso del edificio, como electrodomésticos, ascensores, escaleras mecánicas, etc.

-Otro aspecto importante es que se adopta un nuevo método de cálculo de consumo de energía primaria (según UNE-EN ISO 52000-1:2017). Este permite una mejor valoración del consumo ya que incorpora la consideración de los consumos de equipos de ventilación (incluida la recuperación de calor), todos los suministros de combustible y de la energía extraída del medio ambiente, así como también una mejor definición de la influencia del diseño arquitectónico en la reducción de las necesidades energéticas.

- Se menciona, por último, la incorporación – tanto para nuevos edificios como para rehabilitaciones – de un Coeficiente Global Límite de Transmisión de calor a través de la envolvente térmica, el cual evalúa el edificio según el índice de transmisión térmica, controles solares y permeabilidad del aire.

Para conseguir un diseño y construcción del edificio que demande poca energía para alcanzar las condiciones de confort – de acuerdo a su uso y condiciones climáticas del entorno – el *HE 1 del DB-HE 2019* (titulado *Condiciones para el control de la demanda energética*) establece se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Un nivel mínimo de aislamiento térmico global (K) y de los elementos en contacto con el exterior (U_{lim}), incluyendo los puentes térmicos
- Control de la permeabilidad al aire de los elementos (Q_{100} y n_{50})
- Limitar el exceso de ganancias solares en verano
- Evitar la pérdida de calor desde las viviendas (U_{lim})

Capítulo 3. Metodología

Para plantear la evaluación del comportamiento térmico y energético de las edificaciones existen básicamente dos métodos: el empírico/experimental – que consiste en el monitoreo de los parámetros ambientales – y la simulación térmica. En esta tesis se adoptará la metodología de la simulación térmica; se considera necesaria la adopción de esta metodología pues entre los objetivos planteados está el evaluar posibles mejoras futuras, no siendo posible de otra forma poder realizar este análisis. Se procederá entonces, en primera instancia, a la búsqueda y elección de un software específico para análisis de eficiencia energética de edificaciones, y en segundo lugar – una vez elegida la herramienta– la creación del modelo teórico, partiendo de la tipología de vivienda seleccionada, sobre el cual pueda aplicarse el análisis térmico y energético mediante simulación.

3.1. Elección herramientas para la simulación

Se realiza una búsqueda primaria de distintos softwares existentes en el mercado, evaluándose la aplicabilidad de los mismos para la tesis en cuestión, analizando también cuáles son los parámetros requeridos para la posterior creación del modelo.

3.1.1. EDEE

El primer software a considerar es el EDEE, desarrollado por la DNE (a partir de la consultoría con la Universidad de Sevilla), el cual fue presentado en el *Capítulo 2* de esta tesis.

El programa aclara que el alcance de esta primera versión es sólo para edificios de viviendas, lo cual no presenta una limitación para el caso de estudio, el cual se enmarca dentro de esta categoría.

A pesar de que la aplicación está pensada para comparar siempre las demandas energéticas de la vivienda de interés contra un edificio de referencia, tampoco sería esto un impedimento para el análisis ya que luego se podría – por fuera del programa – realizar la comparación entre los resultados de varios edificios de interés y centrarse en dicha comparativa en lugar de contra un edificio de referencia.

Como ventajas de esta herramienta está su uso práctico y sencillo para poder conseguir resultados de demanda.

La principal desventaja – no menor – es que no permite modificar las condiciones de ocupación, operación y clima. Esto se considera una limitación clave que hace que se opte por desestimar este programa para la realización de las simulaciones de este trabajo, por considerar que limita gran parte del análisis objetivo de la tesis.

Por un lado, el no permitir modificar estas condiciones hace que muchos de los parámetros que se consideran incluir dentro del análisis no puedan realizarse. Tal es el caso de la evaluación de cómo afecta

el comportamiento que tiene el usuario de la vivienda (uso de protecciones solares incorporadas en las viviendas de estudio, ventilación que le da a la vivienda), el tema de la permeabilidad de los elementos de la envolvente (el cual se vio en el Capítulo 2 de antecedes es un tema importante a tener en cuenta para la eficiencia de edificaciones), evaluación de demandas con y sin uso de equipos de acondicionamiento térmico, entre otras.

Por otro lado, también se considera no representativas para el objeto de estudio las condiciones de operación a partir de las cuales calcula las demandas energéticas, pues se plantea un período diario de operación de 12 horas de calefacción y 12 horas de refrigeración, a temperaturas de consignas de 21°C y 24°C respectivamente, lo cual claramente se aparta de lo que son las situaciones de la población objetivo de viviendas de interés social.

Por este motivo se descarta la utilización del programa EDEE para los análisis de esta tesis, procediendo a evaluar una de las herramientas de mayor uso a nivel mundial para modelización y simulación energética de edificios: Energy Plus

3.1.2 Energy Plus

EnergyPlus es un software de código abierto que surge de dos programas anteriores, el BLAST y el DOE-2. El EnergyPlus, al igual que sus predecesores, es un software de simulación con el propósito de realizar análisis energéticos y determinar cargas térmicas. Partiendo de una descripción del edificio, el EnergyPlus es capaz de determinar las cargas de calefacción y refrigeración necesarias para mantener las condiciones de confort requeridas (U.S. Department of Energy, 2016).

Del software Energy Plus se destacan, entre otras cosas, las siguientes características:

- Permite el ingreso de archivos de clima conformados como un texto ASCII que pueden incluir datos horarios y sub horarios.
- Utiliza el método del balance térmico recomendado por ASHRAE para la determinación de las cargas del edificio, lo que implica que tiene la capacidad de determinar en forma simultánea cargas por radiación y convección en la superficie exterior e interior en cada paso de tiempo.
- Considera la conducción transitoria en elementos como paredes, techos, pisos mediante el uso de funciones de transferencia.
- Utiliza un modelo de cielo anisotrópico lo que se traduce en un cálculo optimizado de radiación solar difusa en superficies inclinadas.
- Permite el cálculo de iluminación, sombras y confort visual.
- Cuenta con un gran número de componentes de HVAC, planta y refrigeración.

- Cuenta con la capacidad de realizar cálculos avanzados en superficies vidriadas, incluyendo, control de persianas en ventanas, acristalamientos electrocrómicos y balance térmico por capas (de manera que es capaz de establecer en forma correcta la energía solar absorbida por los cristales).
- Utiliza otros programas populares de simulación como el Window5 para un análisis más detallado de los componentes.

El EnergyPlus está testeado de acuerdo al standard 140 de ASHRAE (método para probar programas computacionales de evaluación energética de edificios).

Cabe hacer mención además que existen en el mercado varios softwares que tienen a Energy Plus como motor de cálculo, y que ofrecen una interfaz con el usuario más amigable (ej: Design Builder, Cypetherm).

Para las simulaciones de este trabajo en particular se trabajó con el Software Cypetherm Eplus, el cual permite la modelización y simulación energética de edificaciones tomando como motor de cálculo el EnergyPlus. El mismo permite hacer de interfaz gráfica, facilitando el ingreso y la modelización objeto de estudio, con la contrapartida de que limita la posibilidad de optar entre la totalidad de posibles modelos de cálculo que permite EnergyPlus en forma directa, para el cálculo de los distintos fenómenos a representar.

A continuación se detallan los métodos utilizados por el programa para el cálculo de las distintas formas de transferencia de calor, contemplados en este trabajo.

Conducción

La transferencia de calor a través de las superficies se realiza por medio de funciones de transferencia por conducción, CTF (que corresponde a Conduction Transfer Function en inglés) (Li, Chen, Spitler, & Fisher, 2009).

El método CTF se ha implementado en varios programas de simulación (TRNSYS y EnergyPlus por ejemplo), para modelar la conducción transitoria en una dimensión a través de las superficies de la vivienda. El método permite determinar la transferencia de calor a través de las superficies (interior y exterior) partiendo de temperaturas actuales y pasadas y de valores anteriores de transferencia de calor (Delcroix, Kummert, Daoud, & Hiller, 2013).

Convección

Convección exterior en EnergyPlus

Para determinar el coeficiente de convección exterior, el software de simulación utiliza el algoritmo DOE-2. El modelo DOE-2 es una combinación de dos modelos (MoWiTT y BLAST Detailed) (U.S. Department of Energy, 2019).

Para superficies de muy baja rugosidad (por ejemplo vidrios) la expresión del coeficiente es la siguiente:

$$h_{vidrio} = \sqrt{h_n^2 + [a \cdot V_z^b]^2}$$

donde h_n ($W/m^2 \cdot K$) es el coeficiente de convección natural, a ($W/m^2 \cdot K(m/s)^b$) es una constante, b (adimensional) es una constante y V_z (m/s) es la velocidad del viento calculada a la altura del centroide de la superficie respecto a la tierra.

El coeficiente de convección natural es determinado a partir de un algoritmo establecido por George N. Walton (miembro ASHRAE) quien obtiene las expresiones a partir del Handbook de ASHRAE (2001). Allí se especifican coeficientes para placas en posición horizontal y vertical bajo flujo turbulento. Walton realizó un ajuste que permite obtener valores para placas en ángulos de inclinación distintos (U.S. Department of Energy, 2019).

Convección interior

Para determinar el coeficiente de convección interior, el software de simulación utiliza el algoritmo TARP. Este modelo expresa el coeficiente de convección en función de la orientación de la superficie y la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire ($\Delta T = T_\infty - T_S$).

El coeficiente de convección en este caso, se define a través de las expresiones expuestas en la sección anterior para h_n (U.S. Department of Energy, 2019).

Radiación solar en EnergyPlus

La ganancia solar total en cualquier superficie exterior está conformada por la absorción de radiación directa y difusa dada por la siguiente expresión:

$$Q_{se} = \alpha \cdot \left(I_b \cdot \cos \theta \cdot \frac{S_S}{S} + I_S \cdot F_{SS} + I_g \cdot F_{Sg} \right)$$

donde: α es la absorptividad solar de la superficie, θ es el ángulo de incidencia, S es el área de la superficie, S_S es el área iluminada por el sol, I_b es la intensidad de la radiación directa, I_S es la intensidad de la radiación difusa, I_g es la intensidad de la radiación reflejada, F_{SS} es el factor de ángulo entre la superficie y el cielo y F_{Sg} es el factor de ángulo entre la superficie y la tierra (U.S. Department of Energy, 2019).

Para la superficie de un edificio ubicado en una llanura sin rasgos distintivos,

$$F_{SS} = \frac{1 + \cos \theta}{2}, F_{Sg} = \frac{1 - \cos \theta}{2}$$

En el caso de superficies bajo sombra, el software modifica el valor de F_{SS} por un factor que tiene en cuenta la distribución de radiación.

En el EnergyPlus el cálculo de la radiación solar difusa proveniente del cielo sobre una superficie exterior, tiene en cuenta una distribución anisotrópica de la radiación. En este sentido, para esta distribución la radiación difusa en una superficie está dada por:

$$\text{MultiplicadorCieloAniso}_{Sp} \cdot \text{IrradiaciónSolarDifusa}$$

Donde *IrradiaciónSolarDifusa* es la irradiación solar difusa del cielo sobre la tierra y *Sp* es la superficie analizada.

El factor *MultiplicadorCieloAniso*_{Sp} se establece teniendo en cuenta la orientación de la superficie y la distribución de la radiación del cielo y contempla los efectos del sombreado de la radiación difusa provocados por el mismo edificio.

La distribución de la radiación del cielo se basa en un modelo empírico que surge de mediciones de radiación en cielos reales.

La proporción en la que se da esta distribución se define a partir de la condición del cielo caracterizado por dos factores, el factor de claridad y el factor de brillo que surgen de la posición del sol y los valores de radiación solar del archivo de clima epw.

El programa de simulación, calcula a su vez la distribución de radiación de onda corta en el interior de cada zona térmica. Esta está compuesta por la radiación directa, la radiación difusa y la radiación de onda corta de las luces. El EnergyPlus establece el valor de la radiación absorbida por superficies opacas, la radiación absorbida por vidrios y dispositivos de oscurecimiento de las ventanas interiores y exteriores de la zona térmica, la radiación transmitida a través de ventanas interiores a otras zonas y la radiación transmitida nuevamente hacia afuera a través de ventanas que dan al exterior. Se considera además el efecto de dispositivos de oscurecimiento en ventanas exteriores (el EnergyPlus no admite dispositivos de oscurecimiento en ventanas interiores) (U.S. Department of Energy, 2019).

Se utilizan valores de reflectividad del suelo para calcular la radiación reflejada. Dichos valores son mensuales.

Infiltraciones

ASHRAE Handbook – Fundamentals, en el capítulo 16, define como infiltración al “flujo de aire exterior hacia dentro de la edificio a través de grietas y otras aberturas no intencionadas y a través del uso normal de puertas exteriores para ingreso y egreso” (ASHRAE, 2009).

Estas infiltraciones son de interés pues generan cargas térmicas que inciden en el desempeño energético de la vivienda.

Energy Plus permite utilizar distintos métodos. En este trabajo en particular, el cálculo de infiltraciones a través del programa de simulación se realiza por medio del “Enhanced Model” (Modelo mejorado) de ASHRAE. Este modelo se trata de un enfoque simplificado de zona única para el cálculo de tasas de infiltración de aire en casas basado en el modelo Walker and Wilson (1998). Según este modelo, la tasa de infiltración de aire se calcula a partir de las siguientes fórmulas

$$Q_S = c \cdot C_S \cdot \Delta T^n \quad Q_W = c \cdot C_W \cdot (s \cdot U)^{2 \cdot n}$$

donde:

Q_S , es el caudal de aire por efecto stack, m^3/s

Q_W , es el caudal de aire generado por el viento, m^3/s

c , es el coeficiente de flujo, $m^3/(s \cdot Pa^n)$

C_S , es el coeficiente de stack, $(Pa/K)^n$

C_W , es el coeficiente de viento, $(Pa \cdot s^2/m^2)^n$

s , es el factor de resguardo

ΔT , es la diferencia de temperatura interior/exterior, K

n , es el exponente de presión

Ventilación

La ventilación es otro parámetro que el Energy plus permite modelar de formas distintas, con modelos basados, por ejemplo, en la velocidad del viento y a la disposición de las aberturas, calculando hora por hora las renovaciones de aire. El software utilizado en este trabajo, sin embargo, sólo permite el ingreso de la ventilación como un valor fijo de renovaciones de aire por hora a establecer según franja horaria y recinto. Por tanto, para los modelos de este trabajo se establecerá la ventilación en forma simplificada imponiendo un valor fijo de entrada de aire exterior. La carga energética – al igual que en infiltraciones – resulta entonces como:

$$\dot{q}_{in} = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{ext} - T_{int})$$

Modelación del subsuelo

Para el cálculo de la transferencia de calor del suelo el Energy Plus permite utilizar distintos modelos, pero nuevamente el software utilizado no permite optar por modelos distintos, sino que establece un único modelo de cálculo posible. El tema de cómo calcula este software el subsuelo es un tema no tan claramente definido y/o abierto, aspecto sobre el cual se considera puede haber margen de mejora.

De todas formas – a partir de los archivos de salida de texto *.idf* que se extraen de los modelos (que son a su vez parámetros de entrada para el EnergyPlus) – se observa que el programa modela basándose en un método de características similares al método del EnergyPlus conocido como *Factores FC*. A pesar de que

el código del programa no permite determinar en forma precisa la fórmula para el cálculo de la transferencia del subsuelo, si se puede inferir en dichos archivos que se basa en este modelo mencionado, el cual se describe brevemente a continuación, para permitir la comprensión del razonamiento de modelado.

El modelo *Factores FC* se trata de un enfoque simplificado el cual mediante artificios de construcciones equivalentes modela la transferencia de calor del subsuelo a través de estas construcciones de piso o muros subterráneos creados para el cálculo. Este método utiliza para calcular la transferencia de calor en estado estable en el caso de pisos un *Factor F*, el cual representa la transferencia de calor a través del suelo, inducida por una diferencia de temperatura unitaria entre la temperatura de aire exterior e interior, en la longitud lineal del perímetro expuesto del suelo.

Para modelar la transferencia de calor es necesario introducir como datos de entrada al programa también la conductividad del terreno (la cual depende del tipo de suelo considerado) y la temperatura no perturbada del terreno (temperatura del subsuelo, a una determinada profundidad, independiente de la presencia de la vivienda), la cual se toma como valor constante igual a la temperatura seca media anual del aire.

Zonas Térmicas

Estas definen una temperatura única del aire interior, y son las zonas en las que se realizan los balances de energía, teniendo en cuenta todas las cargas y efectos anteriormente comentados.

Puentes Térmicos

El programa de simulación permite incorporar un análisis de puentes térmicos lineales, el cual establece coeficientes de transmisión térmica lineal para los diferentes puentes térmicos establecidos – producidos por el encuentro de los distintos elementos constructivos entre sí y con el terreno – a partir de la configuración y geometría de los elementos constructivos que conforman el modelo. En la *sub-sección 3.2.4* puede encontrarse mayor detalle específico del análisis realizado para los modelos de este trabajo.

3.2. Creación del modelo caso base de vivienda (hipótesis y consideraciones)

Se presentan en esta sección todas las hipótesis y supuestos, así como también datos relevantes del modelo base elaborado, el cual intenta representar/replicar una tipología estándar de vivienda de MEVIR de tres dormitorios, aislada (sin viviendas contiguas pareadas). La tipología adoptada para este trabajo se denomina *Tipología Tambores* (denominación establecida por la institución MEVIR), la cual se detalla gráficamente en el *Anexo 2*. Se optó por la vivienda Tambores por tratarse – al momento de comenzar con este trabajo de investigación – de la tipología que la institución consideraba utilizar en forma más extendida para sus planes de vivienda.

Para evaluar el desempeño térmico energético de una edificación las herramientas de simulación consideran diversos parámetros físicos, entre los que se destacan:

- Condiciones climáticas (exteriores e interiores)
- Forma y orientación del edificio
- Sombras (del propio edificio o de edificios colindantes)
- Composición de cerramientos
- Inercia térmica del edificio
- Elementos de protección solar
- Ganancias de radiación solar
- Infiltraciones
- Ventilación (natural o artificial)
- Cargas térmicas interiores: iluminación, ocupación y equipos
- Características de radiación y convección

El modelo de vivienda seleccionado se trata de una tipología que se desarrolla en una sola planta, de construcción tradicional en paredes y cubierta liviana a 1 agua. En el *Anexo 2* puede encontrarse el plano de la tipología seleccionada para el análisis termo-energético de este trabajo

Partiendo de los planos y datos de tipologías proporcionados por la institución MEVIR, se establecen los parámetros geométricos y energéticos de la tipología de vivienda seleccionada para el estudio. De esta forma se crea un modelo teórico sobre el cual podrá aplicarse un análisis térmico y energético mediante simulación computacional

3.2.1 Emplazamiento

El caso de estudio se realizará para dos localidades de las cuales se cuenta con datos del Año Meteorológico Típico (AMT): Salto y Montevideo. La elección de las localidades seleccionadas se realizó en base a la información disponible, y en base a la zonificación del país, según lo establecido en la norma UNIT 1026:1999 (UNIT, 1999).

Las localidades para las cuales se cuenta con datos de AMT (elaborado por el Laboratorio de Energía Solar (LES)) son cinco: Colonia, Montevideo, Rivera, Rocha y Salto.

Se busca contar con al menos dos localidades que representen zonas climáticas distintas dentro de las zonificaciones establecidas para Uruguay, resultando así el estudio representativo del clima de nuestro país. Salto y Montevideo lo cumplen puesto que Montevideo pertenece a la zona templada fría y Salto a la zona cálida A su vez, de acuerdo a lo que dice la Memoria Técnica de los AMT realizada por el LES los datos de viento no son criterio para la selección de base de datos: la variable viento se incluye en las series pero no participa en la decisión de la tipicidad, considerándose la información de viento secundaria para el estudio (Alonso-Suarez, Bidegain, Abal, & Modernell, 2016). De las cinco localidades, las dos que presentan series de datos de vientos más confiables son Montevideo y Salto (por ejemplo, presentan una velocidad media anual de viento en el AMT del orden de la velocidad media de viento de las series de datos de partida). Por ello se opta por tomar como ubicaciones de estudio estas dos.

Los datos climáticos se ingresan al programa EnergyPlus a través de archivos de extensión *EPW* (*Energy Plus Weather data file*), formato estándar de archivos de datos meteorológicos utilizado por el software de EnergyPlus. Los archivos EPW para los AMT de Uruguay elaborados por el LES se encuentran disponibles

en forma gratuita y de libre acceso en la página de *Climate.OneBuilding.Org*, repositorio de datos climáticos gratuitos para la simulación de desempeño en edificaciones.

Estos archivos *EPW* contienen datos horarios de temperatura, humedad, irradiación y viento. Se ingresa - por fuera de los mismos la temperatura no perturbada del terreno (definida antes en *sub-sección 3.2.1*)

Una vez establecido/definido el modelo base de referencia, se analizará cómo varía el comportamiento energético para la vivienda en ambas localidades, manteniendo igual las demás condiciones del modelo.

3.2.2 Aspectos constructivos y caracterización de los elementos que componen la envolvente, piso y elementos interiores

Toda la geometría y caracterización de componentes de la vivienda modelo de estudio fue basada en planos y datos de la vivienda de MEVIR, proporcionados por la institución. Para la creación del modelo base sobre el cual se hará el estudio y simulación termo-energética se considera la tipología de vivienda denominada *Tambores* de 3 dormitorios y aislada⁹.

El criterio para la elección, dentro del catálogo de viviendas de MEVIR, de la tipología seleccionada así como también de la cantidad de dormitorios se basó en optar por aquella vivienda que fuera la más se proyecta construir (desde MEVIR se expresó al momento de hacer la consulta que la tipología base sobre la cual iban a replicar la mayor cantidad de viviendas era la *Tambores*, y de acuerdo a los perfiles de los participantes inscriptos la versión con 3 dormitorios es la más utilizada).

Para el modelo base se toma como Norte, en forma arbitraria, el indicado en la figura siguiente:

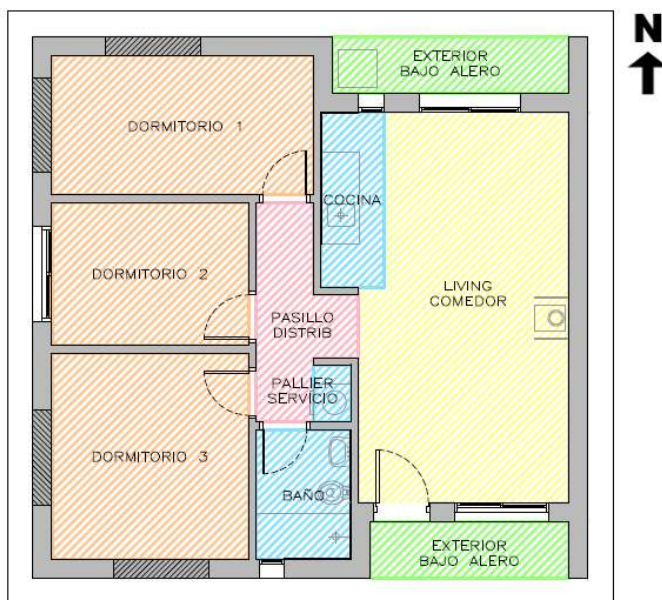


Figura 5 – Adopción de punto cardinal norte para el modelo base de partida

⁹ En el *Anexo 2* puede encontrarse el plano completo con planta, cortes y fachadas de la tipología seleccionada, base para la creación del modelo

Las aberturas indicadas en la *Figura 5* con patrón de líneas inclinadas corresponden a ventanas de dormitorios cuya ubicación depende de la orientación de la vivienda, quedando siempre únicamente una por dormitorio. Por otro lado, la abertura grande indicada en la fachada norte (de acuerdo a la *Figura 5*) corresponde a un ventanal corredizo.

A continuación se presenta en forma de tabla resumen las áreas totales de los distintos elementos que componen la envolvente, del modelo base adoptado.

Superficie envolvente:	área (m2)
Fachada	71,40
Cubierta	55,65
Piso	55,44
Puertas	1,85
Ventanas	11,18

Tabla 8 – Áreas (en m2) de los distintos elementos que componen la envolvente de la vivienda seleccionada como modelo¹⁰.

Zonas térmicas y recintos

Para la simulación de edificaciones en el programa computacional Energy Plus, es necesaria la definición de zonas térmicas del modelo. Para el estudio de la vivienda de Mevir se consideró todo el interior de la vivienda como una única zona térmica, a efectos de evaluar globalmente la vivienda y simplificar cálculos y comparativas.

De todas formas sí se identificaron y definieron dentro de la vivienda modelo distintos recintos, separados por tabiques interior (tal como esquematiza la *Figura 5*), de forma de facilitar la definición de cargas internas correspondientes a cada recinto. Se definieron para el modelo un total de seis recintos: tres dormitorios (dos de ellos individuales, con iguales cargas internas, y el tercero – el de mayor tamaño – matrimonial), un baño, un living-comedor-cocina, y el pasillo de distribución.

Caracterización y aspectos térmicos

A continuación se presentan a modo resumen las características (técnicas y geométricas) así como también los aspectos térmicos considerados para la simulación, para cada uno de los elementos a incorporar al modelo de estudio.

Las propiedades térmicas de la mayor parte de los materiales usados (conductividad térmica, densidad, calor específico, absorción para radiación solar y resistencia térmica) se obtienen de bases de datos de materiales disponibles en el programa *HTERM* y/o extraídos de normas de referencia (ISO, UNIT, etc.).

Para la composición de los distintos elementos de la envolvente, los datos térmicos de cada material que los componen son extraídos en su mayoría de la base de datos de materiales del programa *HTERM*. Se

¹⁰ El área de fachada corresponde exclusivamente a fachada ciega, sin incluir aberturas

toma también como referencia, en forma complementaria, la Norma uruguaya *UNIT-ISO 6949* (UNIT-ISO, 2007) y del Catálogo de elementos constructivos del *Código Técnico de Edificación* (CTE) que rige en España (Ministerio de Fomento, 2010).

Fachada – Muros exteriores

Las fachadas exteriores de la vivienda modelo se componen de un muro doble de ladrillo de campo de 12 cm, con una cámara interior de 2-3 cm más una placa de poliestireno expandido de 3 cm, presentando una terminación exterior de junta rasada, sin bolsear. El ancho total de muro construido resulta de 30 cm.

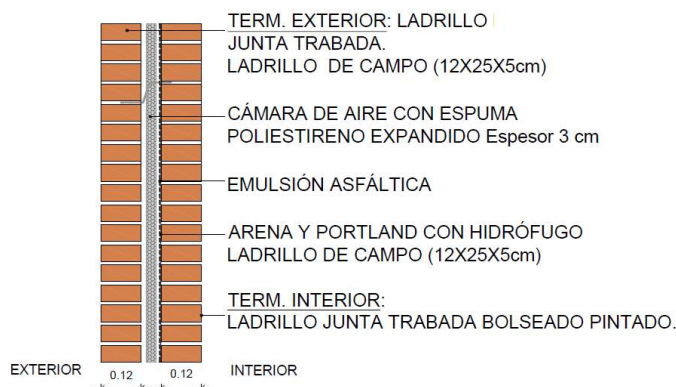


Figura 6 – Corte esquemático de muros exteriores. Fuente: MEVIR (Expo Prado 2019)

Capas	Espesor	Conductividad	Resistencia térmica	Densidad	Calor específico
	cm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
Ladrillo de campo (expuesto a lluvia)	12	0,79	0,15	1.300	1.000
Cámara de aire	2,20	0,12	0,18	1,00	1.008
EPS Polietileno expandido	3,00	0,037	0,80	30	1.000
Emulsión asfáltica (asfalto)	0,30	0,70		2.100	1.000
Cemento, arena	0,50	1,00	0,01	1.800	1.000
Ladrillo de campo	12	0,65	0,18	1.300	1.000
Bolseado (cal y arena)	0,50	0,80	0,01	1.600	1.000

Tabla 9 – Detalle de caracterización de cada capa de los muros exteriores.

Para el cálculo de la transmitancia térmica se consideran además los siguientes valores de resistencia térmica superficiales (R_{se} y R_{si}), según la norma de referencia UNIT-ISO 13788:2012 (UNIT-ISO, 2012), tal como se especifica en el Manual del programa HTERM (Udelar, 2017): $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ y $R_{si} = 0,13 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$ (cerramiento verticales).

La caracterización térmica del cerramiento resulta de la caracterización y espesores de cada una de las capas que lo componen.

Caracterización térmica	
Transmitancia térmica:	0,67W/(m ² .K)
Capacidad térmica:	65,6 kJ/(m ² .K)

Tabla 10 – Caracterización térmica de muros exteriores.

Se considera, a su vez, un coeficiente de absorción **0.70**, considerando el valor para muros de ladrillos de la *Tabla n°8* de la Norma argentina *IRAM 11.605* (IRAM, 1996) para *Valores orientativos de coeficiente de absorción para superficies exteriores*.

Tabiquería – Muros interiores

Los muros que conforman la tabiquería interna de la vivienda son muros simples de ladrillo de campo de 12 cm, bolseados en ambas caras.

Capas	Espesor	Conductividad	Resistencia térmica	Densidad	Calor específico
	cm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
Bolseado (cal y arena)	1,00	0,80	0,01	1.600	1.000
Ladrillo de campo	12	0,65	0,18	1.300	1.000
Bolseado (cal y arena)	1,00	0,80	0,01	1.600	1.000

Tabla 11 - Detalle de caracterización de cada capa de los muros interiores.

Para el cálculo de la transmitancia térmica se consideran valores de resistencia térmica superficiales para particiones interiores verticales (flujo horizontal), según la *Tabla 1* del *Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE* (Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, 2015): $R_{se} = R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$.

El proceso de obtención de resultados fue análogo al realizado para la caracterización de muros exteriores.

Caracterización térmica	
Transmitancia térmica:	2,13 W/(m ² .K)
Capacidad térmica:	62,77 kJ/(m ² .K)

Tabla 12 - Caracterización térmica de muros interiores.

El coeficiente de absorción considerado es **0.70**, considerando el valor para muros de ladrillos de la *Tabla 8* de valores orientativos de coeficiente de absorción para superficies exteriores de la Norma *IRAM 11.605* (IRAM, 1996).

Suelo en contacto con terreno

La fundación considerada para la vivienda es una platea de hormigón armado, la cual se apoya sobre una capa de terreno compactado¹¹.

El espesor de la platea de hormigón puede variar dependiendo de las características del terreno de apoyo y de la solución estructural por la cual se opte. Para el caso de estudio se considera la solución de platea de hormigón armado de 12 cm de espesor, sobre la cual se coloca un piso monolítico de 1.5 cm de espesor aproximadamente.

¹¹ El espesor de la capa de terreno compactado sobre la cual apoya la platea dependerá de cada terreno en cuestión.

El proceso de obtención de resultados fue análogo al realizado para la caracterización de muros antes explicitado, siendo la caracterización térmica del conjunto producto de la caracterización y espesores de cada una de las capas que lo componen.

Capas	Espesor	Conductividad	Resistencia térmica	Densidad	Calor específico
	cm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
Baldosa cerámica	1,50	1,00	0,02	2.000	800
Hormigón armado	12	2,30	0,05	2.400	1.000
Arena y grava (densidad media)	40	2,00	0,20	1.950	1.045

Tabla 13 - Detalle de caracterización de cada capa de los muros interiores.

Caracterización térmica suelo	
Resistencia térmica:	0,27 (m ² .K)/W

Tabla 14 - Caracterización térmica de suelo en contacto con terreno.

Conductividad térmica

La conductividad térmica está determinada por el tipo de terreno.

Para el modelo base se considera un suelo del tipo arcilla o limo (densidad 1.200-1.800), el cual de acuerdo a la UNIT-ISO 10456:2007 (UNIT-ISO, 2007) presenta una conductividad térmica de **1.50 W/(m.K)**.

Cubierta

La cubierta se compone de chapa trapezoidal galvanizada calibre 24 tipo Econopanel. La aislación térmica es de lana de vidrio con foil de aluminio, y la barrera de vapor con film de polietileno. El cielorraso es de compensado fenólico (15 mm).

El proceso de obtención de resultados fue análogo al realizado para la caracterización de muros antes explicitado.

Capas	Espesor	Conductividad	Resistencia térmica	Densidad	Calor específico
	cm	W/(m.K)	(m ² .K)/W	kg/m ³	J/(kg.K)
1 Chapa trapezoidal acero galvanizado	0,05	50,00		7.800	450
2 Lana de vidrio (densidad 15-200)	5,00	0,04	1,18	107,50	1.000
3 Foil de aluminio	0,01	160,00		2.800	880
4 Polietileno de baja densidad	0,02	0,33		920	2.200
5 Madera contrachapada (densidad 500)	1,50	0,13	0,12	500	1.600

Tabla 15 - Detalle de caracterización de cada capa de la cubierta.

Para el cálculo de la transmitancia térmica se consideran además los siguientes valores de resistencia térmica superficiales para elementos horizontales de acuerdo a de referencia UNIT-ISO 13788:2012 (UNIT-ISO, 2012), tal como se especifica en el Manual del programa HTERM (Udelar , 2017) $R_{se} = 0,04$ m²K/W y $R_{si} = 0.10$ m²K/W (cerramiento horizontales).

A continuación se presenta el corte esquemático de la cubierta considera a efectos del modelo a simular:

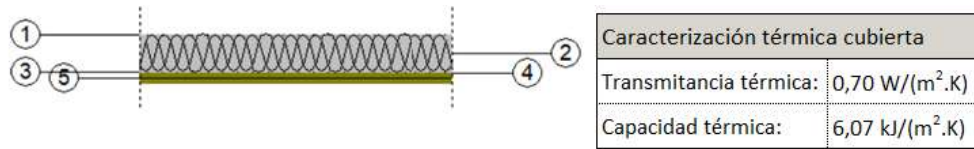


Figura 7 - Corte esquemático y caracterización térmica de cubierta.

Se considera un coeficiente de absorción **0.50**, considerando el valor para Chapa Galvanizada de la *Tabla 8* de valores orientativos de coeficiente de absorción para superficies exteriores de la Norma argentina *IRAM 11.605* (IRAM, 1996).

Puertas

Tanto para la puerta de entrada como las puertas interiores, los valores de los parámetros a ingresar se determinaron a partir de los datos brindados por la *Ayuda para el cálculo de parámetros de huecos* brindado por el ministerio (MIEM), que se encuentra en el Excel adjunto al *Anexo 1* del Manual del programa EDEE (MIEM - DNE, 2016).

Los coeficientes de absorción se encuentran tabulados de acuerdo a material y color, y los valores de transmitancia térmica se establecen según la norma UNE-EN ISO 100077-1 (UNE-EN ISO, 2010).

Puerta de entrada

La puerta de entrada es de aluminio, con terminación de anodizado en tono natural. Los parámetros a ingresar para la simulación son la **transmitancia térmica** (5.70 W/ (m².K)) y el **coeficiente de absorción** (0.40).

Puertas interiores

Las puertas interiores son de madera del tipo Eucaliptus, con terminación en madera natural. Los parámetros a ingresar para la simulación son la **transmitancia térmica** (2.2 W/ (m².K)) y el **coeficiente de absorción** (0.60).

Ventanas

A continuación se presenta una tabla resumen que lista todas las aberturas, sus dimensiones, ubicación y principales características.

VENTANAS (Aluminio)

Id.	Ancho (m)	Alto (m)	área (m2)	Cant.	Ubicación	$h_{\text{sobre suelo}}$ (m)	Observaciones	Marco	Vidrio
AM01	1,50	1,15	1,73	3	Dormitorio	0,90	c/cortina de enrollar	Aluminio Serie 25	4 mm
A20	1,60	2,05	3,28	1	Living	n/a	ventanal corredizo	Aluminio Serie 25 Plus	6 mm
A19	0,40	1,15	0,46	1	Cocina	0,90	proyectante	Aluminio Serie 20	4 mm
A7	1,50	1,20	1,80	1	Living	0,85	corrediza	Aluminio Serie 25	4 mm
A18	0,40	1,15	0,46	1	Baño	0,90	proyectante + vidrio fijo	Aluminio Serie 20	4 mm

Tabla 16 – Datos aberturas modelo base.

Para cada una de los tipos de aberturas se ingresan como datos de entrada para la simulación los parámetros de Factor solar y Transmitancia de Hueco¹². Estos parámetros fueron calculados a partir del Formulario desarrollado por el MIEM para el cálculo de parámetros de hueco, Excel adjunto al *Anexo 1* del Manual del programa EDEE (MIEM - DNE, 2016), y se presentan en la *Tabla 17* a continuación:

Abertura:	AM01	A20	A19	A7	A18
U_{hueco} [W/(m ² .K)]	5,70	5,70	5,70	5,70	5,70
Factor solar	0,71	0,70	0,64	0,71	0,65

Tabla 17 – Transmitancia de hueco y factor solar de abertura.

Elementos de protección solar

Para el caso de estas aberturas de dormitorios (*AM01*), que cuentan con persianas exteriores de PVC, se ingresan también al programa de simulación las características que se listan a continuación:

- Coeficiente de transmisión solar : **0.06**

Se establece el valor a partir del Formulario desarrollado por el MIEM, en base a distintas normativas, para el cálculo de parámetros característicos de huecos. Se considera la opción de Cortina de enrollar de plástico color claro.

- Espesor : **9 mm**

De acuerdo a la ficha de la abertura, las persianas son con lamas de PVC 42 mm, espesor **9 mm**.

- Conductividad : **0.16 W/m²**

Se toma como referencia la conductividad del PVC.

- Perfil de uso PERSIANAS

Para una primera instancia, se considerarán dos perfiles de uso distintos según la época del año, para maximizar el aprovechamiento de la radiación y la protección solar, según corresponda. Se contempla

¹² Los datos para el hueco en su conjunto están asociados a la composición del acristalamiento, características de vidrio y marco y al porcentaje de hueco que ocupa el marco.

también mantener el uso tradicional de cerrar en horario nocturno por un tema de luz al dormir, que según el perfil de ocupación establecido en este modelo corresponde al horario de 23 a 8 hs (ambas inclusive)¹³.

Se plantea entonces los siguientes dos perfiles

- Del 01 de mayo al 31 de octubre> la persiana se mantiene baja en horario de 19 a 08 hs.
- Del 01 de noviembre al 30 de abril : la persiana se mantiene baja las 24 hs

Respecto a este último punto es importante aclarar que esta consideración tiene un efecto sobre los aspectos térmicos, ya que la iluminación no se está evaluando con esta medida. Esto implica una hipótesis de que con aperturas parciales (pequeñas) de las persianas, se podrían suplir las necesidades de iluminación de las habitaciones en los meses cálidos, con pequeña afectación del comportamiento térmico respecto de la condición totalmente cerrada.

3.2.3 Permeabilidad al aire de la envolvente del edificio

Se ingresa para los distintos componentes de la envolvente del edificio (fachadas, cubiertas, puertas y aberturas) la permeabilidad al aire para una presión de referencia de 100 Pa.

A continuación se presentan los valores adoptados para cada caso, con su justificación correspondiente.

Puertas

Para el caso de las puertas, al no contarse con estudios específicos para Uruguay, se toma como referencia el valor establecido por el Grupo Termotecnia de la Universidad de Sevilla en su consultoría realizada para el MIEM sobre medidas de eficiencia energética en el sector residencial (Grupo Termotecnia, 2015).

Permeabilidad al aire para puertas para una presión de referencia de 100 Pa: **60 m³/ (h.m²)**.

Aberturas

Para el caso de las aberturas, sí se cuenta con un estudio realizado para Uruguay como parte de proyecto del Fondo Sectorial de Energía titulado "Análisis del Desempeño Energético y Estructural de Cerramientos Vidriados" y cuyo responsable es el Dr. Ing. José Cataldo (Cataldo, Diaz-Arnesto, & Castañas, 2016). En dicho informe se estudian cerramientos vidriados de aluminio, que son precisamente con los que se cuentan en la tipología de estudio.

Se toman por tanto valores de permeabilidad para cada ventana en particular de acuerdo a la clasificación establecida en este informe, como se resume en la tabla a continuación:

¹³ Ver apartado de ocupación más adelante en este documento para mayor información respecto a perfil de uso de ocupación.

Abertura:		AM01	A20	A19	A7	A18
Permeabilidad**	[m ³ /(h.m ²)]	65,0	38,5	45,0	45,0	45,0

** a una presión de referencia de 100 Pa

Tabla 18 – Valores de permeabilidad al aire adoptados para cada abertura.

La explicación detallada de cómo se arriba a estos valores establecidos en la *Tabla 18* puede encontrarse en el *Apéndice 1*.

Fachadas y Cubiertas

Para establecer el valor de permeabilidad para opacos (fachadas y cubiertas), se toma como referencia tanto la norma UNE-EN 15242.2007 como el *Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones* chileno (González Cáceres, y otros, 2014).

En la norma UNE-EN 15242.2007 “*Métodos de cálculo para la determinación de las tasas de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración*” (UNE-EN, 2007) aparecen valores típicos correspondientes a las fugas, diferenciando entre niveles de fugas y tipos de edificios. Para la tipología de MEVIR, se considera el valor de vivienda unifamiliar, con un nivel de fugas entre medio y alto.

Para poder determinar el valor, sin contar con datos empíricos propios de MEVIR, la otra referencia a adoptar es el *Manual Hermeticidad al Aire de Edificaciones* chileno (González Cáceres, y otros, 2014), el cual presenta los resultados de una medición que representa el estado actual de los niveles de hermeticidad al aire de la envolvente exterior de una muestra representativa de edificios en Chile.

Dichos resultados arrojan que para aquellos viviendas donde predomina la albañilería de la ladrillo (como es el caso de la vivienda de estudio de MEVIR), la hermeticidad al aire – para una presión de referencia de 50 Pa - es de 11.8 cambios de aire por hora, con una desviación estándar de 3.6.

Se plantea entonces calcular el valor de n_{50} (permeabilidad global del edificio a una presión de 50 Pa) para la vivienda de estudio, considerando para la permeabilidad al aire de fachadas y cubiertas un nivel de fugas medio y alto, y contrastar dicho resultado con los valores empíricos arrojados por el estudio chileno antes mencionado.

De dicha evaluación resulta considerar para este estudio una permeabilidad al aire para opacos correspondiente al nivel de fugas alto para viviendas unifamiliares de la Norma UNE-EN 15242.2007 (UNE-EN, 2007) igual a **17,28 m³/h.m³** (a una presión de referencia de 100 Pa).

El desarrollo de esta evaluación puede encontrarse en el *Apéndice 2*.

3.2.4 Puentes térmicos lineales

Una vez establecidas todas las geometrías de la vivienda, cada uno de los elementos que la componen, y definidas ya todas las características térmicas de cada uno de ellos, se realiza a través del programa de

simulación un análisis de puentes térmicos lineales. Dicho análisis permite calcular las correspondientes transmitancias, en función de las características de las soluciones constructivas adoptadas y definidas anteriormente.

El análisis se realiza teniendo como referencia los valores propuestos por la norma ISO 14683 (ISO, 2017) para el coeficiente de transmisión térmica lineal de los diferentes puentes térmicos, teniendo en cuenta la configuración de los elementos constructivos que los conforman.

Se consideran puentes térmicos lineales en huecos de ventanas y puertas, aristas esquinas de muros de fachada (entrantes y salientes), y en la intersección de los muros de fachada con la cubierta y con el piso. En este último caso en particular, al no tener la norma ISO 14683 definido un valor de referencia, se adopta un coeficiente a partir de los valores tabulados en el Documento Básico HE-1 del Código Técnico de Edificación español (Ministerio de Fomento, 2017).

3.2.5 Cargas internas

Ocupación

Las cargas de ocupación consideradas se basan en la *Tabla 1* del *capítulo 18* de *ASHRAE Handbook – Fundamentals* (ASHRAE, 2009) la cual se presenta como referencia en el *Anexo 3*. De la misma se obtienen tanto el calor total por persona, como la fracción sensible y radiante correspondientes.

Se consideran para el cálculo una familia compuesta por dos adultos mayores (una mujer y un hombre) y dos niños, elección de composición basada en criterios de asignación de viviendas por parte de la institución. A su vez, para cada recinto, se elige el nivel de actividad de la tabla antes mencionada que más se asemeja al comportamiento esperado, obteniendo así la ganancia por ocupación por persona a considerar.

Para obtener los Watt por persona promedio se asume – tal como indica el ASHRAE – para un mismo nivel de actividad, que la ganancia de una mujer adulta es el 85% de la del adulto hombre y la de un niño el 75% de la ganancia de adulto hombre.

- DORMITORIOS INDIVIDUALES

Se considera como nivel de actividad más próximo el grado de actividad de la tabla “*Seated, night*”, donde el calor total por persona adulta, hombre, es 115 W. Considerando un niño por cada dormitorio, el calor por cada dormitorio resulta en **86,25 W** (75% de 115 W adulto hombre)

Las fracciones sensibles y radiantes se obtienen también de la misma tabla: 0.67 y 0.60 respectivamente.

- DORMITORIO MATRIMONIAL

Realizando un razonamiento análogo al de los dormitorios individuales, y considerando para este caso dos adultos (un hombre y una mujer), se obtiene como valor promedio de calor por habitante **106,38 W/persona** ($115*(1+0.85)/2$).

Las fracciones sensibles y radiantes son las mismas que para el caso de dormitorios individuales, por considerarse el mismo grado de actividad (*“Seated, night”*).

- LIVING-COMEDOR y COCINA

Se considera como nivel de actividad más próximo el grado de actividad de la tabla *“Seated, very light work”*, donde el calor total por persona adulta, hombre, es 130 W. Considerando para este recinto los cuatro habitantes de la vivienda, el valor promedio de calor por habitante resulta en **108,88 W** ($130*(1+0.85+0.75*2)$).

Las fracciones sensible y radiante se obtienen también de la misma tabla, para el grado de actividad considerado: 0.61 y 0.60 respectivamente.

- BAÑO y PASILLO

Para la simulación no se consideran cargas por ocupación para estos dos recintos, pues se considera no significativa las cargas por ocupación en estos espacios por contar con presencias esporádicas de personas.

Perfil de uso para cargas de ocupación

Para el perfil de uso, se considera el perfil de uso para ocupación establecido por la norma UNIT-ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017) Se selecciona dentro de dicha norma el perfil de ocupación para una vivienda residencial, unifamiliar.

El cuadro resumen de dicho perfil se muestra a continuación:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
La V	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	50%	50%	10%	10%	10%	10%	20%	20%	20%	50%	50%	50%	80%	80%	80%	100%	100%
S y D	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	100%	100%

Tabla 19 – Porcentaje de ocupación por hora para una vivienda residencial, unifamiliar, de acuerdo a UNIT-ISO 17772-1.

Dado que el perfil establecido en la norma considera la vivienda como un único recinto, luego se realiza la distribución para los distintos recintos donde se consideraron cargas por ocupación.

Se asume para ello que la ocupación en horario nocturno (se considera de 23 a 7 a.m.) es mayoritariamente en dormitorios, y que durante el día la ocupación se concentra en el espacio común de living-comedor y cocina. A continuación se muestra como resulta dicha distribución:

Ocupación dormitorios Living-comedor y cocina

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L a V	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	50%	50%	10%	10%	10%	10%	20%	20%	20%	50%	50%	50%	80%	80%	80%	100%	100%
S y D	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	100%	100%

Tabla 20 - Porcentaje de ocupación por hora por recinto del modelo base, basado en la UNIT-ISO 17772-1

Como puede observarse en dicho cuadro, se realiza una distinción dentro del perfil de uso entre días de semana (de lunes a viernes) y fines de semana (sábado y domingo). Se considera pertinente mantener dicha distinción pues el comportamiento de ocupación efectivamente varía entre jornadas de trabajo y escuela y los fines de semana.

Iluminación

Para determinar las ganancias internas por concepto de iluminación se definen: potencia instalada, fracción radiante, fracción al recinto y perfil de uso.

Potencia instalada

- Dormitorios

Se consideran luces de bajo consumo¹⁴; una lámpara de **15 W** por cada uno de tres dormitorios.

- Living-comedor y cocina

Se consideran también las luces de bajo consumo, en este caso 2 lámparas de 15 W c/u para este espacio común, resultando una potencia instalada de iluminación de **30 W**.

- Baño

Se considera una única lámpara de bajo consumo, de características análogas a las antes mencionadas.

Fracciones radiante y al recinto

Se establecen ambas fracciones, las cuales dependen del tipo de luminaria instalada. En este caso, se consideran el mismo tipo de luminarias para todos los casos de las viviendas, por lo que dichas fracciones son las mismas para cada recinto.

- Fracción radiante

El valor para la fracción radiante se toma en base a la *Tabla 3 del Capítulo 18 del ASHRAE Handbook – Fundamentals* (ASHRAE, 2009), tabla que puede encontrarse en el *Anexo 3*.

¹⁴ Como parte de un convenio entre UTE y MEVIR, UTE entrega al momento de la inauguración un conjunto de lámparas de bajo consumo para cada familia. Se consideran entonces estas lámparas para el caso de simulación.

Fueron consideradas lámparas de bajo consumo es decir, lámparas fluorescentes compactas. Se tratan a su vez de luminarias suspendidas. Se considera el valor medio del rango de la categoría correspondiente, tal como se recomienda en la tabla mencionada, resultado entonces una fracción radiante de **0.53**

- Fracción al recinto

Refiere a la fracción de la ganancia de calor por iluminación que va al recinto. Nuevamente, el valor puede obtenerse de la Tabla 3 antes mencionada. En este caso, como todo va al recinto, se considera una fracción al recinto valor **1.00**.

Perfil de uso

Se considera el perfil de uso para iluminación establecido por la norma UNIT-ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017), seleccionando dentro de dicha norma el perfil correspondiente a cargas de iluminación para una vivienda residencial, unifamiliar, tal como se muestra en la tabla a continuación:

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
LaV	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15%	15%	15%	15%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	15%	15%
SyD	0%	0%	0%	0%	0%	0%	15%	15%	15%	15%	5%	5%	5%	5%	5%	5%	20%	20%	20%	20%	20%	20%	15%	15%

Tabla 21 – Perfil de uso (por hora) correspondiente a cargas de iluminación para una vivienda residencial, unifamiliar, de acuerdo a UNIT-ISO 17772-1.

Equipamiento interno

Para determinar las ganancias internas por concepto de equipamiento interno se definen: potencia de diseño, fracción radiante, fracción latente y perfil de uso.

Sólo se considerarán ganancias por concepto de equipamiento interno en living-comedor-cocina

Potencia de diseño

La potencia de diseño considerada se toma de la Norma UNIT- ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017), para el caso de una vivienda residencial, unifamiliar, la cual es **2.40 W / m²**

Fracciones radiante y latente

Para la determinación de las fracciones radiante y latente, se toman los valores establecidos por el *Load Calculation Applications Manual* de ASHRAE (Splitter & ASHRAE, 2014): **0.70** y **0.00** respectivamente.

Perfil de uso

Nuevamente, se considera el perfil de uso establecido por la norma UNIT-ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017) para una vivienda residencial, unifamiliar, en este caso para Equipos, el cual se resume en la tabla a continuación

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
L a V	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	70%	70%	50%	50%	60%	60%	60%	60%	50%	50%	70%	70%	80%	80%	80%	60%	60%
S y D	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	70%	70%	50%	50%	60%	60%	60%	60%	50%	50%	70%	70%	80%	80%	80%	60%	60%

Tabla 22 - Perfil de uso (por hora) correspondiente a cargas de equipamiento para una vivienda residencial, unifamiliar, de acuerdo a UNIT-ISO 17772-1.

3.2.6 Ventilación e infiltraciones

Ventilación

Tal como se define en el capítulo 16 del *ASHRAE Handbook – Fundamentals* (ASHRAE, 2009), la ventilación es la introducción intencional de aire fresco desde el exterior hacia dentro del edificio. La ventilación puede subdividirse a su vez en ventilación natural y ventilación mecánica.

Para el caso de los modelos de vivienda de MEVIR adoptados, se considera como hipótesis que sólo aplicarán mecanismos de ventilación natural (no se incluye dentro del modelo base la inclusión de ventilación forzada). La ventilación que puede darse en estas viviendas resulta entonces de la apertura intencionada de ventanas o puertas (acción común para “ventilar” espacios).

A continuación los valores a considerar para cada recinto:

- Baño

El mismo posee una ventana con un paño fijo y otro paño proyectante (40 cm x 40 cm). Se considera para el modelo que el paño proyectante se mantendrá la mayor parte del tiempo abierto, generándose una ventilación continua.

Se opta como valor para esa ventilación adoptar la tasa mínima de ventilación establecida como punto de consigna en el Anexo N de la norma UNIT-ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017) para una vivienda residencial, unifamiliar: **0.50 l/(s.m²)**.

- Dormitorios y living - comedor

Para fijar tanto el valor numérico de ventilación natural como el perfil horario, se toma como referencia lo establecido por el *Apéndice C.1 – Perfiles de uso residencial* de la Normativa española CTE-HE-1 (Ministerio de Fomento, 2017). Allí se plantea considerar una ventilación (originada por la apertura de ventanas) de 4 renovaciones por hora para verano, en el horario comprendido entre la 1 y las 8 horas. Para el resto del tiempo el número de renovaciones por hora ha de ser igual al mínimo exigido.

Por tanto, se considera una ventilación (natural) de **4 renovaciones por hora entre 01 y 08 hs**, durante los meses de diciembre, enero, febrero y marzo. Para el resto del horario donde ha de cumplirse con un mínimo exigido, se toma en cuenta criterios establecidos por el Anexo I de la norma UNIT-ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017) para tasa de flujo de aire de ventilación, donde se distinguen valores mínimos para períodos con y sin ocupación.

Períodos sin ocupación

De acuerdo al numeral I.2.4: “La tasa de flujo de aire total para hacer frente a las emisiones de materiales de construcción y a la reducción de la humedad se encuentra entre 0.10 y 0.15 l/(s.m²) de área de piso, según tamaño y ocupación de la vivienda”. Para este caso se tomara el criterio de 0.15 l/ (s.m²) para estar del lado de la seguridad

Períodos con ocupación

En este caso se consideran los valores establecidos en la *Tabla I.6* (pág. 51) de la norma mencionada, considerando para el caso de MEVIR una categoría III. Resulta entonces el valor de ventilación total incluyendo infiltración de aire = 0.35 l/ (s.m²)

Verificación de ventilación mínima requerida

Dado que los resultados que arroja el programa de simulación respecto a la ventilación total resultante (ventilación incluyendo infiltración de aire) son datos mensuales, para poder realizar la verificación de cumplimiento de ventilación mínima, se ponderará los dos valores antes mencionados (0.15 y 0.35) en función de los períodos de ocupación y sin ocupar de la vivienda.

Para esta ponderación se adoptarán los siguientes criterios:

- Se establecerán las ventilaciones mínimas requeridas para cada habitación en función de sus ocupaciones correspondientes, para obtener la ventilación total a exigir.
- Los % de ocupación a considerar serán los % de ocupación de perfil de ocupación de la norma.

A continuación se detalla la obtención de la tasa mínima de ventilación a tomar como mínima:

- Dormitorios

La Tabla a continuación presenta el porcentaje de ocupación – por hora – en dormitorios, donde 100% significa 100% del tiempo ocupado (exigiendo por tanto 0.35 l/(s.m²)) y 0% significa todo el tiempo sin ocupación ((y por tanto se exige 0.15 l/ (s.m²)).

Ocupación DORMS dormitorios

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
La V	100%	100%	100%	100%	100%	100%	50%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%
SyD	100%	100%	100%	100%	100%	100%	80%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%	100%

Tabla 23 – Porcentaje de ocupación por hora en dormitorios.

De acuerdo a los porcentajes indicados, resulta una ocupación del 35% de lunes a viernes y 37% sábados y domingos. La ventilación mínima promedio para dormitorios resulta entonces **0.22 l/(s.m²)**.

- Living-comedor y cocina

Ocupación LIVING-COCINA

Living-comedor y cocina

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Total día
La V	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	50%	50%	10%	10%	10%	10%	20%	20%	20%	50%	50%	50%	80%	80%	80%	0%	0%	25%
SyD	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	0%	0%	50%

Tabla 24 - Porcentaje de ocupación por hora en living-comedor y cocina.

De acuerdo a los porcentajes indicados, resulta una ocupación del 25% de lunes a viernes y 50 % sábados y domingos. La ventilación mínima promedio en este caso resulta es **de 0.21 l / (s.m²)**.

- Pasillo

Se tomara igual a la exigencia para living-comedor y cocina

- Baño

Se toma como criterio considerar una ocupación del 20%, equivalente a más de una hora de uso de baño por integrante por día, lo cual se considera razonable. Entonces, la ventilación mínima promedio a exigir en este caso es de $0.20*(0.35) + 0.80*(0.15) = 0.19 \text{ l / (s.m}^2\text{)}$.

Finalmente, a partir de esos cuatro valores, se obtiene el valor medio mensual para toda la vivienda, en función de los volúmenes de cada uno de los recintos.

Recinto	ventil mín	área				vol	
	l/(s.m ²)	m ²	lts / s	m ³ / s	m ³ / h	m ³	ren/h
Dormitorios	0,22	26,11	5,78	0,01	20,82	65,56	0,32
Living-cocina	0,21	22,51	4,81	0,00	17,32	65,62	0,26
Baño	0,19	3,06	0,58	0,00	2,09	8,29	0,25
Pasillo	0,21	3,50	0,75	0,00	2,69	10,11	0,27

Total vivienda: 55,18 11,92 0,01 42,93 149,6 **0,29** renov/h prom casa

Tabla 25 – Resumen de valor mínimo promedio de renovaciones por hora a adoptar para el modelo.

Para determinar y establecer la ventilación que cumpla con dicho mínimo se simulará primero solo con las renovaciones de régimen de verano y en función de los resultados de dicha simulación se incorporará más ventilación natural en aquellos meses donde no se cumpla con el mínimo de 0.29 renov/h promedio mes.

Es importante, por último, hacer notar que se verifica que los valores de ventilaciones mínimas para cada recinto cumplen en todos los casos con el punto de consigna indicado en Anexo N de la UNIT-ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017) para tasa de ventilación necesaria para emisiones CO₂, que para el caso de una vivienda unifamiliar residencial es de 0.16 l/(s.m²) (el mínimo calculado fue de 0.19 l/(s.m²), para el caso del baño)

Infiltraciones

Tal como se indicó antes en la Sección 3.1, para el cálculo de las infiltraciones del modelo se utiliza el modelo mejorado de ASHRAE de Walker & Wilson. Para el cálculo de infiltraciones a partir de este

modelo, han de ingresarse los siguientes parámetros para la simulación, en forma adicional a las definiciones de geometrías y características de entrada en el modelo.

- Coeficiente de Stack

Dicho coeficiente se encuentra tabulado en función del número de plantas de la vivienda y si la misma posee o no chimenea. El modelo base de estudio se trata de una vivienda de una planta, sin chimenea¹⁵, por lo que el coeficiente de Stack a considerar es **0.054**

- Exponente de presión (caudal)

El valor de exponente de caudal suele situarse entre 0.6 y 0.7 con un valor típico para el modelo mejorado de **0.67**

- Coeficiente de viento

El coeficiente de viento se encuentra tabulado en función del número de plantas de la vivienda y si la misma posee o no chimenea. A su vez distingue si tiene una losa de cimentación o si cuenta con un forjado sanitario¹⁶. El modelo de estudio es de una planta, sin chimenea y con losa de cimentación, por lo que el coeficiente de viento a considerar es **0.156**

- Factor de resguardo

El factor de resguardo depende por un lado del número de plantas de la vivienda y de si tiene o no chimenea. Por otro lado, depende del grado de resguardo que posea la vivienda, grados que se encuentran descritos en la *Tabla 5* del capítulo 16 del Handbook –Fundamentals (ASHRAE, 2009).

En base a estas descripciones, y a la configuración de construcciones de viviendas de MEVIR, se considera el grado de resguardo que más se asemeja a las condiciones de vivienda modelo es el grado 4 (obstáculos cercanos a una distancia mayor a la altura de la vivienda considerada). Resulta entonces un factor de resguardo de **0.50**.

3.2.7 Condiciones operacionales y confort interior

Existen muchos métodos de estimación del nivel de confort; algunos experimentales-estadísticos en base a encuestas, otros que surgen de balances térmicos sobre el cuerpo humano. Entre ellos uno de los más utilizados (para el cual el programa Energy Plus directo tiene un módulo especial, no así el software utilizado en este trabajo) es el de ASHRAE 95, que define coeficientes de confort PMV y PDD (Voto Medio Predicho y Porcentaje de Personas en Disatisfacción) en base a la temperatura (del aire y media

¹⁵ Se considera como vivienda sin chimenea pues esta Tipología de vivienda cuenta con estufa de alto rendimiento, no con estufa tradicional de hogar abierto (en este último caso sí debería considerarse la clasificación con chimenea).

¹⁶ El forjado sanitaria - conocido en inglés como “crawl-space” – se trata de un área de baja altura de un edificio que da acceso al cableado y a las tuberías

radiante), humedad, vestimenta, actividad realizada, entre otros. En este trabajo en particular, a efectos de simplificar la presentación de análisis y resultados –y dentro de las limitaciones que el software permite – el estudio que se hace para el análisis de discomfort es un análisis simplificado que se realiza solamente en base a temperaturas.

Rango de temperaturas de confort

El rango de temperaturas de confort a adoptar se basa en valores de la norma uruguaya UNIT-ISO 17772-1 (UNIT-ISO, 2017), norma en la que se establecen criterios en función del grado de personas satisfechas (nivel de exigencia de las personas que habitan el hogar).

En este trabajo se trabaja con la Categoría III (poco exigente) como referencia, la cual establece:

- Temperatura mínima de confort: **18 °C**
- Temperatura máxima de confort: **27 °C**

Capítulo 4. Presentación de los datos, Análisis, Discusión

4.1 Presentación de casos base

Considerando todas las hipótesis para las viviendas modelo, de acuerdo a lo expuesto en el capítulo anterior *Metodología*, se procede a simular lo que se denomina *Caso Base*, considerando como emplazamientos para el modelo Salto y Montevideo. En esta sección se presentan los resultados de confort para las viviendas Caso Base, producto de su simulación computacional. Se realiza también un análisis primario de los resultados, que servirá como base para los análisis y comparativos que se realicen las secciones posteriores de este capítulo.

Se presenta a continuación el análisis de confort de las viviendas sin acondicionamiento térmico activo, y dejando fluctuar libremente la temperatura interior. A su vez, en forma complementaria a los resultados presentados en esta sección, se comparten en el *Apéndice 3* los balances energéticos resultantes de la simulación realizada para los casos base de estudio, tanto en Salto como en Montevideo, en los cuales se presentan las ganancias y pérdidas energéticas a través de los diferentes componentes para dichos casos.

4.1.1 Caso Base - Salto

Temperaturas

Se presentan a continuación el detalle de temperaturas mínimas, medias y máximas, mes a mes, resultado de la simulación del caso base en Salto. Las mismas se comparan con los valores correspondientes de temperaturas exteriores, de acuerdo a los valores establecidos para el año meteorológico tipo de Salto, utilizado como entrada de esta simulación.

Mes	Temp EXTERIOR diaria			Temp INTERIOR diaria			prom. Temp. diaria int / ext
	max ext	min	promext	max	min int	promint	
1	40,3	13,6	26,7	35,2	20,7	27,8	104%
2	36,4	11,5	24,6	30,8	18,5	26,0	105%
3	34,5	12,7	22,4	28,4	18,8	23,7	105%
4	31,5	6,6	18,4	28,7	16,4	21,7	118%
5	31,9	4,7	17,1	30,7	15,5	21,4	126%
6	23,3	-0,1	12,5	21,5	12,5	17,4	139%
7	29,4	-2,1	13,5	25,4	10,6	18,1	134%
8	32,7	0,2	15,1	31,6	12,2	19,7	130%
9	28,1	4,1	15,9	27,8	13,4	20,8	131%
10	31,2	8,2	19,6	31,5	18,1	23,9	122%
11	36,6	4,6	20,9	30,1	17,3	23,7	114%
12	36,3	14,8	24,6	30,9	20,5	25,9	105%
Máx	40,3	14,8	26,7	35,2	20,7	27,8	139%
Min	23,3	-2,1	12,5	21,5	10,6	17,4	104%
Prom	32,7	6,6	19,3	29,4	16,2	22,5	119%

Tabla 26 – Resumen de temperaturas en Salto.

Las temperaturas interiores promedio se encuentran siempre dentro del rango de confort, a excepción del mes de enero donde la misma supera en 0.8 °C el valor máximo de dicho rango. La temperatura media anual en el interior de la vivienda resulta 3.2 °C por encima de la media anual exterior (22.5 °C y 19.3 °C respectivamente).

Se observa en el interior de la vivienda una reducción mayor a los 5 grados de la temperatura más extrema en el período caluroso (de 40.3 °C a 35.2 °C), lo que constituye una reducción importante del valor máximo. De todas formas se presentan para el interior de la vivienda temperaturas muy elevadas (más de 35 °C en el mes de enero) lo que evidencia la necesidad de contemplar estrategias adicionales para los meses más calurosos, de forma de lograr reducir las temperaturas máximas en el interior de la misma.

Claramente el mes de enero es un mes donde han de reforzarse las medidas para mejorar el confort.

En cuanto al período frío se observa una importante mejora en cuanto al registro de temperaturas interiores respecto al exterior, resultando la mínima anual dentro de la vivienda de 10.6 °C. De todas formas, el valor mínimo resultante para el interior de la vivienda resulta muy por debajo del mínimo establecido para el confort (7.4 °C por debajo), por lo que resulta importante evaluar también medidas para lograr mejorar el confort durante el invierno.

Por medio de un gráfico es posible visualizar cómo el promedio de temperaturas mensuales interiores se encuentra todos los meses por encima de los promedios exteriores, presentándose la mayor diferencia entre ambos valores durante el período frío y resultando más cercanos durante los meses de verano.

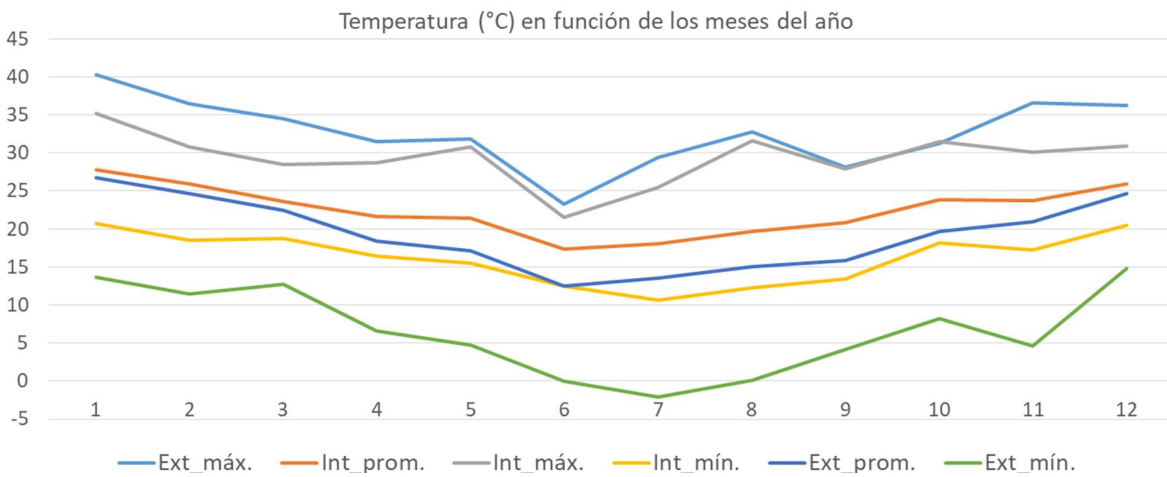


Figura 8 – Temperaturas máximas, promedio y mínimas (interiores y exteriores) en Salto.

Se observa también claramente que las temperaturas máximas interiores presentan una tendencia similar a los máximos exteriores durante los meses de mayo a octubre. Sin embargo – lo cual resulta interesante destacar – a partir de noviembre hasta abril se apartan bruscamente. Este cambio notorio en el

comportamiento podría ser explicado por el efecto de las persianas, que precisamente cambian su accionar, pasando a activarse (persianas bajas) las 24 hs durante los meses de noviembre a abril¹⁷.

Amplitudes térmicas

Se presenta a continuación el detalle de amplitudes térmicas diarias mínimas, medias y máximas, mes a mes, entendiéndose la amplitud térmica diaria como la diferencia entre la temperatura máxima y mínima en un día. Se presentan valores de amplitud interior (resultado de la simulación del caso base) así como también los valores de amplitud exteriores, de acuerdo a los registros del año meteorológico tipo de Salto, utilizado como entrada de esta simulación.

Mes	Amplitud EXTERIOR diaria			Amplitud INTERIOR diaria			prom. amplitud diaria int / ext
	max	min	prom	max	min	prom	
1	19,3	5,1	12,7	5,9	2,7	4,2	33%
2	18,5	3,7	11,7	5,8	1,7	3,8	33%
3	17,1	4,4	11,7	5,5	1,7	3,8	32%
4	16,1	2,4	11,1	3,5	1,0	2,4	22%
5	16,3	2,9	10,0	5,9	0,6	3,4	34%
6	19,5	3,1	9,9	6,0	0,6	3,2	32%
7	17,8	4,9	11,1	5,6	0,9	3,8	34%
8	18,7	6,0	11,6	5,6	1,0	3,8	33%
9	18,9	2,0	12,0	6,3	0,7	4,0	33%
10	20,5	2,0	10,5	5,4	1,0	3,5	34%
11	19,2	4,4	13,5	4,6	1,7	3,0	23%
12	18,2	1,8	11,8	6,0	1,4	4,2	35%
Máx	20,5	6,0	13,5	6,3	2,7	4,2	35%
Min	16,1	1,8	9,9	3,5	0,6	2,4	22%
Prom	18,3	3,5	11,5	5,5	1,2	3,6	32%

Tabla 27 – Resumen de amplitudes térmicas en Salto.

Es interesante observar cómo la vivienda logra reducir a la tercera parte la amplitud térmica diaria registrada; reducción prácticamente invariable para todo el año. Mientras que en el exterior se registra en promedio una amplitud de 11.5 grados por día (nunca bajando el promedio diario de los 9.9 grados), el interior de la vivienda presenta amplitudes promedio de tan solo 3.6 grados por día. La máxima amplitud diaria en el año para el interior de la vivienda – de acuerdo a lo simulado – es de 6.3 grados, valor muy por debajo incluso de la amplitud diaria media exterior.

Esta disminución tan acentuada de la amplitud térmica interior en relación a la exterior se vincula la inercia térmica que presentan las paredes exteriores de la envolvente de esta vivienda. Trabajos de investigación

¹⁷ Esta hipótesis planteada será analizada en el análisis de sensibilidad a realizar en la sección posterior 4.2, donde se estudia el efecto del perfil de uso de las persianas.

han estudiado y presentado la alta relación que existe entre la amplitud térmica y la inercia térmica de la envolvente((Picción, Camacho, López, & Milicua, 2009) y (Hernández, Turegano, & García, 2003))¹⁸.

De esta forma se logra, además, evitar picos más altos de temperatura en el interior de la vivienda, contribuyendo a un mejor confort para el usuario

Confort térmico

Habiendo establecido ya (*Capítulo 3*) el rango de confort para la vivienda de estudio entre 18 °C y 27 °C – y manteniendo la vivienda en régimen de fluctuación libre, sin ningún medio de acondicionamiento térmico para mantener la vivienda dentro del confort – se presentan los resultados obtenidos para el interior de la vivienda, de acuerdo a las hipótesis ya establecidas para el caso base. Se expresa el disconfort de la vivienda tomando como indicadores las horas al año y los grados-hora¹⁹ al año en que la vivienda se encuentra fuera del rango de confort.

Vale destacar la importancia de considerar los grados-hora además de las horas fuera de confort; mientras que las horas son indicadores de la duración de la situación de disconfort, los grados-hora nos permiten una cuantificación de la magnitud de dicho disconfort. Si solo evaluásemos en función de las horas en que la vivienda se encuentra fuera del rango de confort estaríamos – por ejemplo – valorando con el mismo peso la situación de que el interior de la vivienda se encontrase tres horas a 28 °C que esas mismas tres horas a más de 30 °C. Por ello la importancia de presentar ambos indicadores.

Condiciones exteriores

A modo de referencia, se presentan primero las horas y grados-hora al año fuera del rango de confort para las condiciones de temperatura exterior del sitio donde se emplaza el modelo.

Salto	Fuera del rango confort		Fuera del rango confort		Promedio
	Exterior	hs.año	%	°C-hs.año	%
T > 27°C	1.170	24%	4.188	18%	3,58
T < 18°C	3.715	76%	19.291	82%	5,19
Total	4.885	100%	23.479	100%	4,81

Tabla 28 – Disconfort en Salto_ Temperatura exterior.

Respecto a las condiciones exteriores de referencia, puede decirse que el disconfort por temperaturas por debajo del rango de confort supera ampliamente al disconfort por temperaturas elevadas. Las horas al año registradas con temperaturas por debajo de los 18 °C representan las tres cuartas partes (76%) del total de

¹⁸ El estudio de la relación entre la inercia térmica de la envolvente y la amplitud térmica no forma parte de este trabajo de investigación, por lo que se cita y hace referencia a otros trabajos donde este estudio sí ha sido objeto de análisis.

¹⁹ En el *Anexo 1* puede encontrarse la definición para el concepto de grados-hora de disconfort utilizado como indicador en este Capítulo.

horas al año que se está por fuera del rango de confort, mientras que medido en grados-hora el porcentaje se incrementa aún más, alcanzado el 82% del total el disconfort por bajas temperaturas.

Condiciones interiores

Salto	Fuera del rango confort		Fuera del rango confort		Promedio
	hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs / hs
T > 27°C	1.246	46%	2.130	45%	1,71
T < 18°C	1.467	54%	2.628	55%	1,79
Total	2.713	100%	4.758	100%	1,75

Tabla 29 – Disconfort en Salto_ Temperatura interior.

El comportamiento en el interior de la vivienda difiere un poco el descrito antes para las condiciones exteriores. A pesar de que sigue teniendo un mayor peso el disconfort por temperaturas por debajo de los 18 °C, el peso sobre el total es menor: 54% y 55% medido en horas y grados-hora respectivamente. Es decir, se presenta un disconfort más parejo entre los períodos frío y caluroso. Los grados-hora promedio por cada hora fuera del confort son de magnitudes similares para ambos extremos: 1.71 y 1.79 grados para temperaturas por encima y por debajo del rango de confort respectivamente.

Confort interior vs. exterior

A continuación se muestra en forma comparativa el disconfort para el exterior e interior de la vivienda.

Salto	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT						GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
Exterior	1.170	100%	3.715	100%	4.885	100%	4.188	100%	19.291	100%	23.479	100%
Interior	1.246	106%	1.467	39%	2.713	56%	2.130	51%	2.628	14%	4.758	20%

Tabla 30 – Confort interior vs exterior_ Salto.

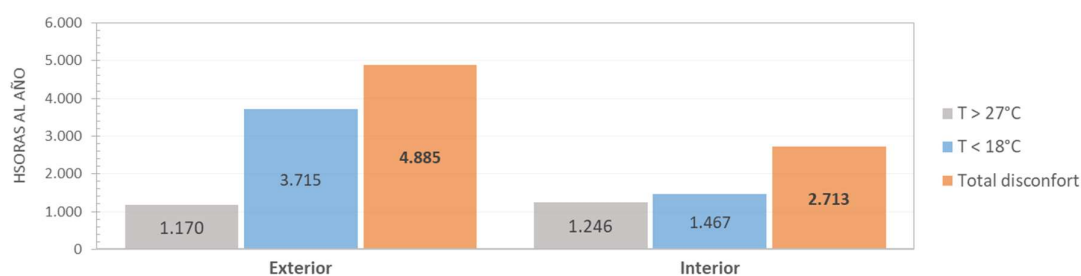


Figura 9 – Horas al año fuera del rango de confort_ Salto.

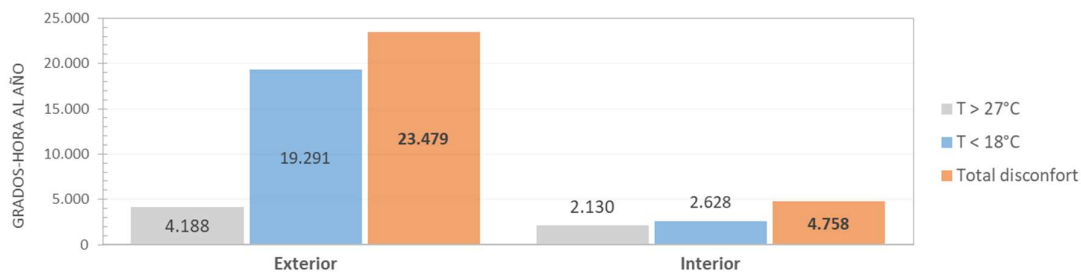


Figura 10 –Grados-hora al año fuera del rango de confort _ Salto.

Se observa claramente cómo el confort interior mejora ampliamente el de las condiciones exteriores, denotando así una buena envolvente y uso adecuado de protecciones. Es interesante además poder analizar un poco más en detalle en qué momentos y de qué forma mejoran las condiciones.

Considerando el confort total anual, puede decirse que el interior de la vivienda se encuentra fuera del rango de confort la mitad de horas al año respecto al exterior. Si lo expresamos en grados-hora (lo cual nos da una mayor precisión, indicando en cierta forma intensidad del discomfort) la relación aumenta drásticamente a 1/5. Es decir que aunque el discomfort se presenta en tiempo la mitad de las horas, en magnitud se reduce al 20%: por cada 5 grados-hora fuera del rango de confort en el exterior, el interior se aparta solo 1 grado-hora.

Lo interesante, es observar qué ocurre por un lado con el discomfort producto de temperaturas por encima y por debajo del rango de confort.

Durante el **período caluroso**, la vivienda se encuentra la misma cantidad de horas fuera de confort que el exterior (incluso algunas más: 1.246 vs. 1.170 horas al año). De todas formas podemos decir hay una mejora en el confort en dicho período ya que los grados-hora se reducen a la mitad (2.130 vs.4.188 grados-hora). Es decir, la vivienda se encuentra la misma cantidad de horas fuera del rango de confort en el período caluroso pero a temperaturas menos extremas: en promedio el exterior presenta 3.58 °C grados-hora por hora de discomfort mientras que en el interior de la vivienda el promedio de grados-hora por hora fuera del rango es 1.71 °C.

Durante el **período frío**, el efecto de mejora del confort generado por la vivienda respecto a las condiciones exteriores se vuelve más notorio aún. Para empezar, la cantidad de horas fuera de confort se reducen a menos de la mitad respecto al exterior (39%), reduciéndose aún más si analizamos los grados-hora de discomfort del interior, que representan el 14% de los del exterior en mismo período. Nuevamente se observa la reducción de temperaturas extremas cuando se está por fuera del rango de confort: mientras que en promedio el exterior presenta 5.19 °C grados-hora por hora de discomfort, en el interior de la vivienda el promedio de grados-hora por hora fuera del rango es 1.79 °C.

Detalle desconfort interior discriminado por mes

A continuación se presenta en una tabla resumen el detalle mes a mes de las horas y grados-hora que la vivienda se encuentra fuera del grado de confort, discriminando el desconfort por temperaturas por encima y por debajo del rango de confort.

SALTO Caso Base Resumen mes a mes		HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT				GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT			
Mes		Tint >27°C		Tint < 18°C		Tint >27°C		Tint < 18°C	
		hs	%	hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
1	Enero	456	37%	-		1.133	53%	-	
2	Febrero	216	17%	-		249	12%	-	
3	Marzo	30	2%	-		17	1%	-	
4	Abril	22	2%	42	3%	17	1%	25	1%
5	Mayo	52	4%	95	6%	72	3%	88	3%
6	Junio	-		484	33%	-		670	25%
7	Julio	-		389	27%	-		966	37%
8	Agosto	72	6%	295	20%	128	6%	619	24%
9	Setiembre	3	0%	152	10%	2	0%	256	10%
10	Octubre	113	9%	-		147	7%	-	
11	Noviembre	56	4%	10	1%	58	3%	4	0%
12	Diciembre	226	18%	-		308	14%	-	
Anual		1.246	100%	1.467	100%	2.130	100%	2.628	100%

Tabla 31 – Detalle mensual del desconfort interior en Salto.

Graficando los grados-hora tabulados, es posible visualizar cómo el desconfort por temperaturas mayores a los 27 °C se da en varios meses a lo largo del año.

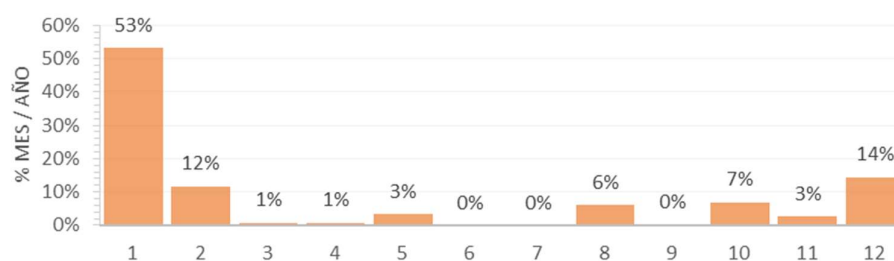


Figura 11 – Grados-hora al año donde $T > 27\text{ °C}$ - % mensual _ Salto.

De todas formas, se concentra fundamentalmente en los tres meses de verano, los cuales acumulan el 79% del desconfort del año. Se destaca a su vez que en el mes de enero se concentra más de la mitad de los grados-hora de desconfort por temperaturas por encima del rango (53%). Esto último refuerza lo anticipado cuando se observaron las temperaturas interiores, donde se observó que enero es el mes donde habrá que concentrar y desarrollar más estrategias para lograr mejoras en el confort.

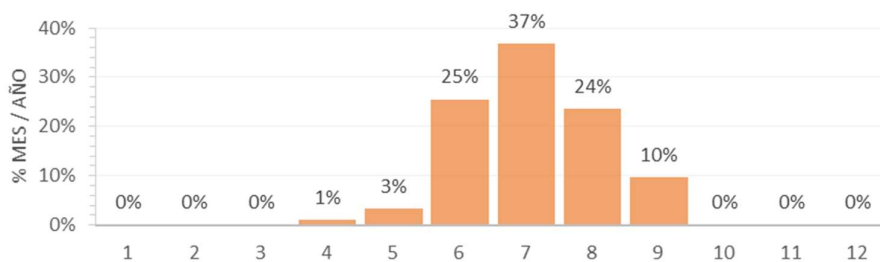


Figura 12 – Grados-hora al año donde $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ - % mensual _ Salto.

En cuanto al desconfort por temperaturas menores a los $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, los tres meses más fríos del invierno concentran un porcentaje aún mayor que los tres meses de verano: 86% del desconfort anual, en comparativa con el 79% mencionado para los tres meses de verano. De todas formas, el desconfort se distribuye en forma más pareja durante estos tres meses, registrándose un máximo de 37% en el mes de julio.

4.1.2 Caso Base - Montevideo

Temperaturas

Se presenta a continuación el detalle de temperaturas mínimas, medias y máximas, mes a mes, resultado de la simulación del caso base en Montevideo. Las mismas se comparan con los valores correspondientes de temperaturas exteriores, de acuerdo a los valores establecidos para el año meteorológico típico de Montevideo, utilizado como entrada de esta simulación.

Mes	Temperatura EXTERIOR diaria			Temperatura INTERIOR diaria			prom. Temp. diaria int / ext
	max ext	min	promext	max	min int	promint	
1	33,0	13,1	22,3	28,0	19,5	24,1	108%
2	30,9	11,1	21,8	27,4	18,2	23,5	108%
3	31,7	8,8	20,9	27,3	15,7	22,3	107%
4	26,1	7,7	17,2	25,7	17,6	21,6	126%
5	27,7	3,3	14,2	24,2	11,8	18,3	130%
6	23,1	-0,6	10,7	20,3	9,4	15,0	140%
7	21,6	0,8	10,3	20,8	8,8	14,6	141%
8	22,1	1,3	11,3	21,7	11,9	15,8	140%
9	24,3	3,7	13,8	24,4	13,5	18,2	132%
10	28,0	4,9	15,7	25,6	16,5	20,6	131%
11	32,0	10,4	19,2	26,6	16,8	21,7	113%
12	31,7	10,4	21,1	27,0	17,9	23,0	109%
Máx	33,0	13,1	22,3	28,0	19,5	24,1	141%
Min	21,6	-0,6	10,3	20,3	8,8	14,6	107%
Prom	27,7	6,2	16,5	24,9	14,8	19,9	124%

Tabla 32 – Resumen de temperaturas en Montevideo.

De acuerdo a la simulación realizada para la ciudad de Montevideo, la temperatura media anual en el interior de la vivienda ($19,9\text{ }^{\circ}\text{C}$) resulta $3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ por encima de la media anual exterior ($16,5\text{ }^{\circ}\text{C}$). Este

aumento de temperatura media interior respecto a la media exterior resulta incluso mayor que la resultante para la vivienda emplazada en Salto (3.4 °C vs. 3.2 °C).

A diferencia de lo que ocurría para Salto, donde las temperaturas interiores promedio se encuentran siempre – a excepción del mes de enero – dentro del rango de confort, en Montevideo durante los tres meses más fríos la temperatura media en el interior de la vivienda no alcanza el mínimo del rango de confort, ubicándose incluso a más de dos grados por debajo de dicho mínimo (entre 14.6 y 15.8 °C).

Respecto a las temperaturas máximas resultantes para el interior de la vivienda, se logra una reducción de 5°C respecto al máximo exterior (de 33.0 °C a 28.0 °C). Esta reducción es muy significativa pues implica que el interior de la vivienda se encontrará – en el momento más extremo – solamente 1 °C por encima de la temperatura máxima de confort establecida. Se infiere por tanto que para la localidad de Montevideo no será necesario hacer tanto hincapié en medidas de mejora del confort durante el verano como en Salto.

En cuanto al período frío, la mínima anual dentro de la vivienda resulta de 8.8 °C, que a pesar de elevarse considerablemente respecto a las mínimas exteriores registradas, continúa estando muy por debajo del mínimo establecido para el confort (18 °C), por lo que resulta de extrema importancia evaluar medidas para lograr mejorar el confort durante el invierno.

Ya se puede dilucidar que para este emplazamiento, el período donde han de reforzarse las medidas para mejorar el confort de la vivienda de estudio son los meses de invierno.

Por medio del gráfico es posible visualizar – análogo a lo observado para Salto – cómo el promedio de temperaturas mensuales interiores se encuentra todos los meses por encima de los promedios exteriores, presentándose la mayor diferencia entre ambos valores durante el período frío y resultando más cercanos durante los meses de verano.

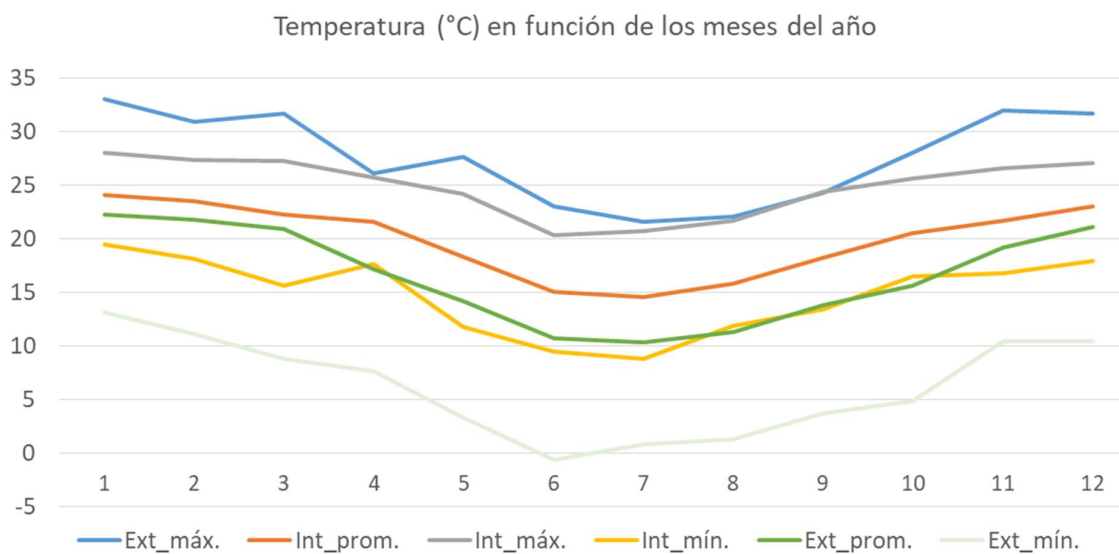


Figura 13 – Temperaturas mensuales máximas, promedio y mínimas (interiores y exteriores) en Montevideo.

Como era de esperar, las condiciones climáticas en Montevideo presentan temperaturas más bajas que Salto; en base a la norma de *Zonificación Climática UNIT 1026:99* (UNIT, 1999), Montevideo pertenece a la *Zona IV. Templada fría*, mientras que Salto pertenece a la *Zona II.b Cálida*.

Amplitudes térmicas

Las condiciones exteriores para la vivienda emplazada en Montevideo registran no solo temperaturas máximas y medias menores a la de la vivienda emplazada en Salto, sino que también presentan menores amplitudes diarias, como puede apreciarse en la primera tabla resumen a continuación:

Localidad	Temperatura exterior (°C)			Amplitud EXTERIOR diaria (°C)		
	max	min	prom	max	min	prom
Salto	40,3	-2,1	19,3	20,5	1,8	11,5
Montevideo	33,0	-0,6	16,5	16,0	1,7	8,5

Tabla 33 – Amplitudes térmicas en Salto y Montevideo.

El hecho de que Salto presente mayores amplitudes térmicas también se condice con lo expuesto en la norma de *Zonificación Climática UNIT 1026:99*, la cual caracteriza a la *zona climática II.b cálida* (en la cual se encuentra Salto) por tener grandes amplitudes térmicas durante un mismo día.

Mes	Amplitud EXTERIOR diaria			Amplitud INTERIOR diaria			prom. amplitud diaria int / ext
	max	min	prom	max	min	prom	
1	15,5	2,5	8,0	5,2	1,5	3,4	42%
2	15,5	2,1	8,5	5,2	1,3	3,3	39%
3	15,4	3,4	8,4	5,2	0,9	3,1	37%
4	15,0	2,7	8,8	5,3	0,9	3,4	39%
5	14,3	2,7	8,2	5,2	1,1	2,9	36%
6	15,9	2,0	8,3	5,6	0,8	3,2	39%
7	14,0	2,0	8,3	5,4	0,4	3,0	37%
8	15,3	2,7	9,1	5,6	0,4	3,5	38%
9	14,3	1,7	7,8	5,1	1,4	3,3	42%
10	15,6	1,7	8,3	6,0	0,7	3,4	41%
11	15,6	2,4	9,5	3,9	0,5	2,4	25%
12	16,0	3,6	9,2	5,2	1,5	3,6	39%
Máx	16,0	3,6	9,5	6,0	1,5	3,6	42%
Min	14,0	1,7	7,8	3,9	0,4	2,4	25%
Prom	15,2	2,4	8,5	5,2	0,9	3,2	38%

Tabla 34 – Resumen de amplitudes térmicas en Montevideo.

Nuevamente – análogo a lo que ocurría para Salto – se logra para Montevideo una reducción muy significativa en la amplitud térmica para el interior de la vivienda, resultando la amplitud diaria promedio interior un 38% de la amplitud diaria promedio exterior. Mientras que en el exterior se registra en promedio una amplitud de 8.5 grados por día, el interior de la vivienda presenta amplitudes promedio de tan solo 3.2 grados por día.

Se evidencia, al igual que para el caso en Salto, una acentuada disminución de la amplitud térmica interior, lo que contribuye a un mejor confort y una mayor estabilidad térmica. Esto guarda relación con la inercia térmica que presenta la envolvente (Hernández, Turegano, & García, 2003), como se expuso para el análisis del caso base de Salto.

Confort térmico

Condiciones exteriores

A modo de referencia, se presentan primero las horas y grados-hora al año fuera del rango de confort para las condiciones de temperatura exterior del sitio donde se emplaza el modelo.

Montevideo	Fuera del rango confort		Fuera del rango confort		Promedio
	hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs / hs
Exterior					
T > 27°C	273	5%	505	2%	1,85
T < 18°C	5.096	95%	27.909	98%	5,48
Total	5.369	100%	28.414	100%	5,29

Tabla 35 – Disconfort en Montevideo_ Temperatura exterior.

Respecto a las condiciones exteriores de referencia de Montevideo, tal como se observó para Salto, el disconfort por temperaturas por debajo del rango de confort supera ampliamente al disconfort por temperaturas elevadas. Mientras que para Salto las horas al año registradas con temperaturas por debajo de los 18 °C representan el 76% del total de horas al año que se está por fuera del rango de confort, para Montevideo la proporción resulta aún mayor, representando nada menos que el 95% del total. Medido en grados-hora el porcentaje se incrementa, alcanzando el disconfort por bajas temperaturas el 98% del total de disconfort durante el año. Es decir que el disconfort térmico anual prácticamente equivale al disconfort por temperaturas por debajo del rango de confort.

Condiciones interiores

Montevideo	Fuera del rango confort		Fuera del rango confort		Promedio
	hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs / hs
Interior					
T > 27°C	50	1,7%	17	0,2%	0,33
T < 18°C	2.815	98,3%	7.623	99,8%	2,71
Total	2.865	100%	7.640	100%	2,67

Tabla 36 – Disconfort en Montevideo_ Temperatura interior.

El comportamiento en el interior de la vivienda mantiene la tendencia observada para las condiciones exteriores, donde el disconfort por temperaturas por encima de los 27 °C resulta prácticamente nulo para el interior (0.2% medido en grados-hora).

Con respecto a los grados-hora promedio por cada hora fuera del confort, el valor desciende prácticamente a la mitad respecto a las condiciones exteriores, pasando de 5.29 a 2.67.

Confort interior vs. exterior

A continuación se muestra en forma comparativa el disconfort para el exterior e interior de la vivienda.

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
Ambiente												
Exterior	273	100%	5.096	100%	5.369	100%	505	100%	27.909	100%	28.414	100%
Interior	50	18%	2.815	55%	2.865	53%	17	3%	7.623	27%	7.640	27%

Tabla 37 – Confort interior vs exterior_ Montevideo.

Claramente, como era de esperar, el confort interior mejora ampliamente el de las condiciones exteriores.

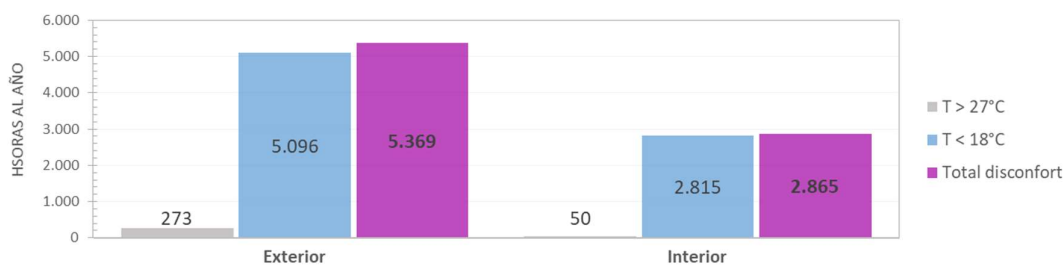


Figura 14 – Horas al año fuera del rango de confort_ Montevideo.

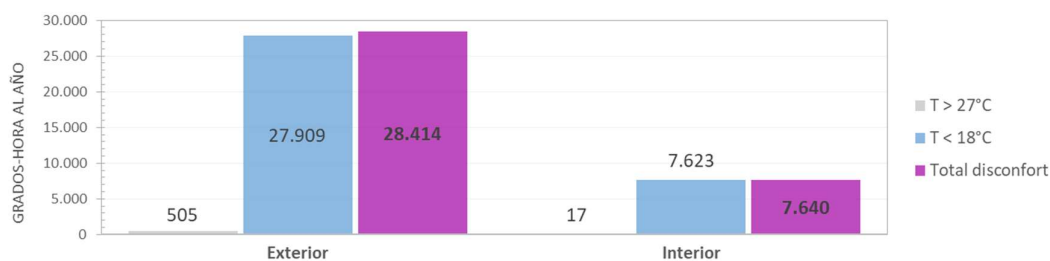


Figura 15 – Grados-hora al año fuera del rango de confort_ Montevideo.

Considerando el confort total anual, es posible decir que el interior de la vivienda, emplazada en Montevideo, se encuentra fuera del rango de confort la mitad de horas al año respecto al exterior, algo similar a lo que ocurría para la localidad de Salto: 53% para Montevideo y 56% para Salto.

Si lo expresamos en grados-hora (lo cual nos da una mayor precisión) la reducción porcentual se acentúa mucho más, representado el disconfort interior un 27% del disconfort para las condiciones exteriores. Es decir que aunque el disconfort representa en tiempo a la mitad de las horas, en magnitud se reduce al 27%: por cada 3.7 grados-hora fuera del rango de confort en el exterior, el interior se aparta solo 1 grado-hora.

Así como para el caso de estudio de Salto resultaba muy interesante observar además en forma discriminada el disconfort producto de temperaturas por encima y por debajo del rango de confort, para el estudio de Montevideo no amerita detallar en forma adicional ambos comportamientos puesto que como ya se

mencionó el disconfort durante el período caluroso no tiene incidencia significativa, siendo el disconfort total prácticamente equivalente al disconfort durante el período frío.

Detalle disconfort interior discriminado por mes

A continuación se presenta en una tabla resumen el detalle mes a mes de las horas y grados-hora que la vivienda se encuentra fuera del grado de confort, discriminando el disconfort por temperaturas por encima y por debajo del rango de confort.

Mdeo. Caso Base		HORA al AÑO				GRADOS-HORA al AÑO			
Resumen mes a mes		FUERA DEL RANGO DE CONFORT				FUERA DEL RANGO DE CONFORT			
Mes		Tint >27°C		Tint < 18°C		Tint >27°C		Tint < 18°C	
		hs	%	hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
1	Enero	33	66%	-		14	83%	-	
2	Febrero	10	20%	-		2	12%	-	
3	Marzo	5	10%	18	1%	1	4%	22	0%
4	Abril	-		6	0%	-		1,5	0%
5	Mayo	-		306	11%	-		546	7%
6	Junio	-		639	23%	-		2.178	29%
7	Julio	-		697	25%	-		2.603	34%
8	Agosto	-		643	23%	-		1.695	22%
9	Setiembre	-		365	13%	-		498	7%
10	Octubre	-		69	2%	-		42	1%
11	Noviembre	-		71	3%	-		37	0%
12	Diciembre	2	4%	1	0%	0	0%	0,1	0%

Anual	50	100%	2.815	100%	17	100%	7.623	100%
-------	----	------	-------	------	----	------	-------	------

Tabla 38 – Detalle mensual del disconfort interior en Montevideo.

Respecto al **disconfort por temperaturas mayores a los 27 °C**, el cual de por sí no tiene un peso significativo, se concentra casi en su totalidad en enero (83%).

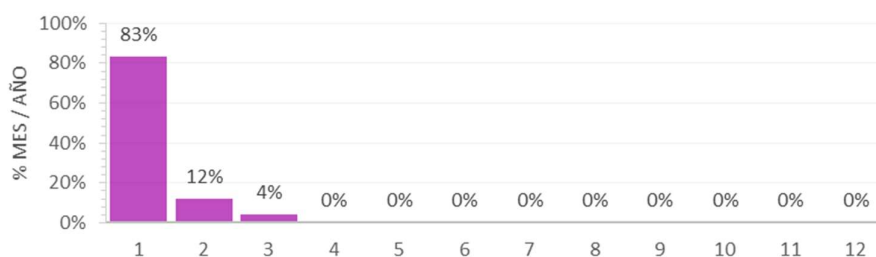


Figura 16 – Grados-hora al año con T > 27 °C - % mensual _ Montevideo.

En cuanto al **disconfort por temperaturas menores a los 18 °C**, presenta una distribución porcentual a lo largo del año muy similar a la registrada gráficamente para Salto. Por un lado, los tres meses más fríos del invierno concentran el 85% del disconfort anual (para el caso de Salto concentraban el 86%). A su vez, ocurre que el disconfort se distribuye en forma bastante pareja y en forma de campana durante estos tres

meses, registrándose el máximo en el mes de julio, que para Montevideo representa el 34% del total (para Salto el 37%)

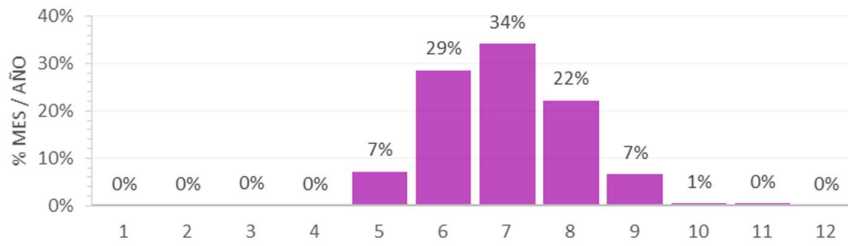


Figura 17 – Grados-hora al año con $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ - % mensual_ Montevideo.

4.2 Análisis de sensibilidad

4.2.1 Selección de parámetros y rango de variación

A continuación se listan las variables seleccionadas para la realización de los análisis de sensibilidad, para ambas localidades en estudio. Posteriormente se detalla acerca de las consideraciones tomadas para cada una de estas variables.

- | | |
|---------------------------|--|
| a) Ocupación | f) Puentes térmicos |
| b) Velocidad de viento | g) Activación de persianas |
| c) Permeabilidad | h) Ventilación nocturna |
| d) Transmitancia fachada | i) Conductividad térmica del terreno |
| e) Transmitancia cubierta | j) Temperatura no perturbada del terreno |

Estas variables seleccionadas pueden clasificarse como: **factores externos, factores de uso y mejoras propias de la vivienda**. No necesariamente implica que cada variable entre solo en una de las categorías sino que en muchos casos pueden considerarse en más de una, dependiendo de a donde se apunte su análisis. Esta clasificación se hace simplemente con el objetivo – una vez realizado el análisis de sensibilidad – de organizar los resultados y poder identificar aquellos casos que permitirán proponer acciones y medidas de mejora, ya sea modificando aspectos constructivos y/o de diseño de la vivienda (categoría *mejoras propias de vivienda*), así como también proponiendo acciones de medida por parte de los usuarios que permitan optimizar el confort (*factores de uso*). Por último, fueron seleccionadas para el análisis variables que entran en la categoría de *factores externos*, como por ejemplo: la velocidad de viento, la conductividad térmica del terreno y la temperatura no perturbada del terreno. Esta categoría refiere a factores ajenos al diseño de la vivienda y al comportamiento y/o uso que le dé el usuario. A pesar de que los resultados de dichos escenarios no permitan proponer mejoras para la construcción ni recomendaciones de uso, sí son importantes para este trabajo pues, por un lado, permiten evaluar cuánto podrían estar afectados los

resultados a los que se arriben en la tesis por la determinación de estos parámetros en la simulación. Es decir, nos permiten poder acotar en cierta forma la precisión de los resultados de las simulaciones realizadas, así como también ponderar las debilidades del modelo. A su vez, a sabiendas de que las viviendas de MEVIR se construyen en todo el territorio nacional, son de utilidad para poder cuantificar cómo inciden dichas variables en el confort de una misma vivienda que será emplazada en distintas localidades, y evaluar si ameritan o no diseños y/o usos distintos en función de la ubicación geográfica.

En esta *sección 4.2 de Análisis de Sensibilidad* solamente se expondrán y analizarán los resultados de los distintos escenarios, dejando para el *Capítulo 5. Propuestas de mejora* y el *Capítulo 6 de Conclusiones* las evaluaciones de cuáles variables pueden considerarse para las medidas de mejora a proponer, cuáles parámetros considerados en las hipótesis pueden haber afectado los resultados arribados, así como también – más importante quizás – en qué medida, permitiendo valorar la precisión de los resultados y ponderar las debilidades y/o limitaciones del modelo.

Ocupación

Se evalúa tanto reducir al 50% como duplicar la carga de ocupación. Para lograrlo se reduce o incrementa el número de personas que habitan la vivienda: de cuatro integrantes a dos y ocho respectivamente. Se hace una evaluación recinto a recinto. No se modifica en ningún caso el perfil de ocupación adoptado para el caso base.

Velocidad de viento²⁰

La misma se verá afectada en forma uniforme para todos los valores de velocidad de viento provenientes del archivo climático del AMTU correspondiente, aplicando un factor de escala único para todos los datos horarios (0.50 para lograr la reducción del 50% de la velocidad de viento, y 2.0 para duplicar la misma). No se modifica en ningún caso los datos de dirección de viento.

Permeabilidad

Se evalúa la reducción del 50% y el aumento al 200% de la permeabilidad de fachada, cubierta, puertas y ventanas. A continuación se presenta un cuadro que resume los valores originales adoptados para dichos parámetros y los valores a asumir para las modificaciones del 50% y 200% mencionadas.

²⁰ Para el modelo de simulación de este estudio, la velocidad de viento no afecta la ventilación (la cual se establece en forma independiente).

Elemento	Caso base	Permeabilidad 50%	Permeabilidad 200%
Fachada	17,28	8,64	34,56
Cubierta	17,28	8,64	34,56
Puertas	60,00	30,00	120,00
Ventanas A7, A18 y A19	45,00	22,50	90,00
Ventanas AM 01	65,00	32,50	130,00
Ventana A20	38,50	19,25	77,00

Tabla 39 – Permeabilidad al aire para una presión de referencia de 100 Pa [$m^3/h.m^2$].

Transmitancia fachada

Se busca obtener, para los muros que componen la fachada de la vivienda, una transmitancia del orden del 50% y del 200% respecto al caso base²¹. Para lograrlo se modifican fundamentalmente el espesor y características de la capa de poliestireno expandido que forma parte de los muros exteriores de la fachada.

Escenario d.1) Reducción de transmitancia fachada

Escenario d.2) aumento de transmitancia fachada

A continuación se presenta un cuadro que resume los valores de transmitancia del caso base y de las variantes d.1) y d.2).

Caracterización térmica	Caso base	d.1)	d.2)
Transmitancia térmica [$W/(m^2.K)$]	0,67	0,34	1,35
Capacidad térmica [$kJ/(m^2.K)$]	65,6	64,9	67,0

Tabla 40 – Caracterización térmica fachada escenarios d.1) y d.2).

En ambos casos, al modificarse la transmitancia de los muros de fachada, ha de ajustarse el valor del puente térmico lineal entre el suelo en contacto con el terreno y la fachada, dado que el mismo es función de la transmitancia de ambos elementos (valor según el documento Básico del Código técnico de Edificación de España *CTE BD-HE* (Ministerio de Fomento, 2017)).

	Caso base	d.1)	d.2)
Transmitancia térmica [$W/(m^2.K)$]	0,67	0,34	1,35
Transmitancia respecto caso base [%]	100%	51%	201%
Puente térmico solera-fachada	0,46	0,56	0,25

Tabla 41 – Cuadro resumen de transmitancia y valores de transmitancia térmica lineal (ψ) para puente térmico afectado.

²¹ Se consideran estos porcentajes de forma de plantear casos extremos, intentando asegurar que las variantes que se propongan en la realidad se encuentren con seguridad dentro de estos extremos.

Transmitancia Cubierta

Se busca obtener para la cubierta una transmitancia del orden del 50% y del 200% respecto al caso base.

Escenario e.1) Reducción de transmitancia cubierta

Para lograr la reducción del orden del 50% se propone una alternativa constructiva, que incluso fue experimentada en algunos planes de MEVIR anteriormente: placa de poliestireno expandido. Se plantea entonces para la cubierta del caso e.1) una placa de poliestireno expandido de 10 cm de espesor, logrando alcanzar una transmitancia de 0,33 W/(m².K).

Escenario e.2) aumento de transmitancia cubierta

Para lograr el aumento del orden del 200% simplemente se reduce el espesor de la lana de vidrio (de 3.0 a 1.8cm), lográndose una transmitancia térmica de 1,33 W/(m².K).

Cuadro resumen de transmitancia cubierta casos e.1) y e.2):

	Caso base	e.1)	e.2)
Transmitancia térmica [W/(m ² .K)]	0,70	0,33	1,47
% respecto al caso base	100%	47%	210%

Tabla 42 – Transmitancia cubierta casos e.1) y e.2).

Puentes térmicos

Para la consideración de incidencia de este parámetro se estudian dos escenarios: un primer escenario *Escenario f.1)* que no considera la influencia de puentes térmicos en la simulación energética de la vivienda, y un segundo escenario *Escenario f.2)* donde para todos los puentes térmicos considerados en el caso base se duplican los valores de ψ

Activación Persianas dormitorios

Se plantean los siguientes dos escenarios extremos: persianas activas (bajas) las 24 hs y persianas desactivadas (altas) las 24 hs. Tener presente que en el modelo base sólo existen persianas en las ventanas de los dormitorios (no en el living-comedor).

Ventilación Nocturna

En el caso base se estableció, de acuerdo lo establecido por la Normativa española (*Documento Básico HE Ahorro de energía – Apéndice C.1 – Perfiles de uso residencial* (Ministerio de Fomento, 2017)), una ventilación de 4 renovaciones por hora en horario de 01 a 08 hs para los meses de verano. Para el análisis de sensibilidad se estudian tres escenarios, en los que se varía solamente el valor de renovaciones hora, manteniendo incambiado el perfil horario anual establecido en el caso base.

Escenario h.1) 0 renovaciones por hora (se elimina la ventilación nocturna).

Escenario h.2) 2 renovaciones por hora (reducción al 50% la ventilación nocturna respecto al caso base)

Escenario h.3) 8 renovaciones por hora (se duplica la ventilación nocturna establecida en el caso base)

Conductividad térmica del terreno

Se plantean dos escenarios para el análisis de este parámetro: reducción del 50% y aumento del 200% respecto al valor del caso base: 1.50 W/m.K, el cual corresponde a un suelo del tipo limo-arcilla (como se expuso en el *Capítulo 3*).

Los valores de conductividad establecidos entonces para cada caso se muestran en cuadro a continuación:

	Caso base	i.1)	i.2)
Conductividad térmica [W/(m.K)]	1,50	0,75	3,00
% respecto al caso base	100%	50%	200%

Tabla 43 – Conductividad térmica del terreno casos i.1) e i.2).

Es interesante observar cómo los valores límites considerados en este análisis son bastante exigentes. De acuerdo a los valores de referencia de conductividad térmica para los distintos suelos posibles que puede encontrarse en bibliografía, como por ejemplo el capítulo 26 del ASHRAE Handbook –Fundamentals (ASHRAE, 2009), difícilmente se llegue a valores por debajo de 0.75 W/m.K o encima de 3.0 W/m.K

Temperatura no perturbada del terreno

Se plantean dos escenarios para el análisis de este parámetro: ± 3.3 °C para Montevideo y ± 3.8 °C para Salto, variaciones proporcionales a la amplitud de temperaturas medias mensuales de cada localidad (mayor amplitud en Salto que en Montevideo).

Los valores de temperatura no perturbada del terreno de los casos base se obtienen como la temperatura media anual del aire ambiente del lugar, lo cual es ampliamente utilizado.

Los valores de temperatura a establecer para los dos emplazamientos estudiados en este análisis, entonces, son los siguientes:

	Caso base	j.1)	j.2)
Temperatura no perturbada terreno - Salto [°C]	19,3	15,4	23,1
Temperatura no perturbada terreno - Montevideo [°C]	16,5	13,2	19,8

Tabla 44 – Temperatura no perturbada del terreno casos j.1) y j.2).

4.2.2 Resultados del análisis de sensibilidad

En esta sección se presentan los resultados para cada uno de los escenarios de análisis de sensibilidad presentados en la sección anterior, para las dos ciudades estudiadas (Montevideo y Salto).

Se resume para cada caso el total de horas y de grados-hora al año que cada escenario se aparta del rango de confort establecido para este estudio (temperaturas interiores de vivienda entre 18 y 27 °C), presentándose resultados en forma de tablas y gráficos.

Los valores se presentan siempre como porcentajes respecto al caso base de la ciudad correspondiente, ya sea de horas o grados-hora.

Casos base de referencia

Se resume en la siguiente tabla los valores que representarían, para la totalidad de casos de este análisis, la referencia del 100%, en función del emplazamiento considerado.

	Montevideo			Salto		
Disconfort caso base	T > 27°C	T < 18°C	Total disconfort	T > 27°C	T < 18°C	Total disconfort
Horas al año	50	2.815	2.865	1.246	1.467	2.713
Grados-hora al año	17	7.623	7.640	2.130	2.628	4.758

Tabla 45 – Valores de disconfort al año para los casos base tomados como 100% para las comparativas de escenarios de sensibilidad.

Resumen de resultados por escenarios

Se presenta, en primer lugar, una tabla con la totalidad de los escenarios y parámetros considerados, donde se resumen los resultados obtenidos de grados-hora anuales de disconfort para cada escenario planteado en la *sub-sección 4.2.1*, tanto para Montevideo como para Salto. Estos resultados se presentan como porcentajes respecto a los valores correspondientes de casos base.

					Montevideo			Salto		
Escenario		% respecto caso base	valor	unidad	T > 27°C	T < 18°C	Total	T > 27°C	T < 18°C	Total
					% grados-hora.año			% grados-hora.año		
a.1)	Ocupación	50%	2	personas	32%	118%	117%	79%	128%	106%
a.2)		200%	8	personas	503%	73%	74%	150%	61%	101%
b.1)	Velocidad de viento	50%			91%	92%	92%	100%	90%	94%
b.2)		200%			135%	122%	122%	101%	131%	118%
c.1)	Permeabilidad	50%			91%	90%	90%	101%	84%	91%
c.2)		200%			122%	118%	118%	100%	131%	117%
d.1)	Transmitancia fachada	51%	0,34	W/(m ² .K)	64%	85%	85%	94%	74%	83%
d.2)		201%	1,35	W/(m ² .K)	243%	124%	124%	113%	148%	132%
e.1)	Transmitancia cubierta	47%	0,33	W/(m ² .K)	11%	85%	85%	82%	75%	78%
e.2)		210%	1,47	W/(m ² .K)	893%	125%	127%	142%	150%	146%
d + e.1)	Transmitancia fachada + cubierta	50%			4%	69%	69%	76%	48%	61%
d + e.2)		200%			1154%	144%	146%	150%	189%	171%
f.1)	Puentes térmicos	0%			159%	80%	80%	116%	67%	89%
f.2)		200%			92%	104%	104%	98%	106%	102%
g.1)	Activación persianas		100%	activo	100%	146%	146%	85%	168%	131%
g.2)			0%	activo	4325%	106%	115%	225%	111%	162%
h.1)	Ventilación nocturna	0%	0	ren/h	412%	100%	100%	154%	100%	124%
h.2)		50%	2	ren/h	192%	100%	100%	119%	100%	108%
h.3)		200%	8	ren/h	45%	101%	101%	83%	100%	92%
i.1)	Conductividad térmica terreno	50%	0,75	W/(m.K)	367%	101%	101%	131%	106%	117%
i.2)		200%	3,0	W/(m.K)	8%	99%	99%	68%	92%	81%
j.1)	Temperatura no perturbada terreno		15,4 / 13,2	°C Salto / °C Mdeo	28%	118%	118%	74%	133%	107%
j.2)			23,1 / 19,8	°C Salto / °C Mdeo	289%	84%	84%	132%	73%	99%

Tabla 46 – Resumen de resultados de porcentaje de grados-hora anuales para los distintos escenarios del análisis de sensibilidad.

A continuación, se procede a desarrollar el análisis realizado para cada uno de los escenarios simulados, con mayor o menor detalle en función de los resultados obtenidos para cada caso.

Escenario a) Ocupación

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
a.1)	50%	22	44%	3.091	110%	3.113	109%	1.026	82%	1.698	116%	2.724	100%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
a.2)	200%	173	346%	2.280	81%	2.453	86%	1.687	135%	1.041	71%	2.728	101%

Tabla 47 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario a).

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
a.1)	50%	5	32%	8.969	118%	8.975	117%	1.681	79%	3.359	128%	5.040	106%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
a.2)	200%	84	503%	5.553	73%	5.636	74%	3.190	150%	1.593	61%	4.783	101%

Tabla 48 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario a).

De las tablas anteriores se observa un apartamiento respecto al caso base más acentuado para los grados-hora respecto a las horas de discomfort (tanto por encima como por debajo del rango, en ambas localidades), pero manteniendo la tendencia en ambos casos.

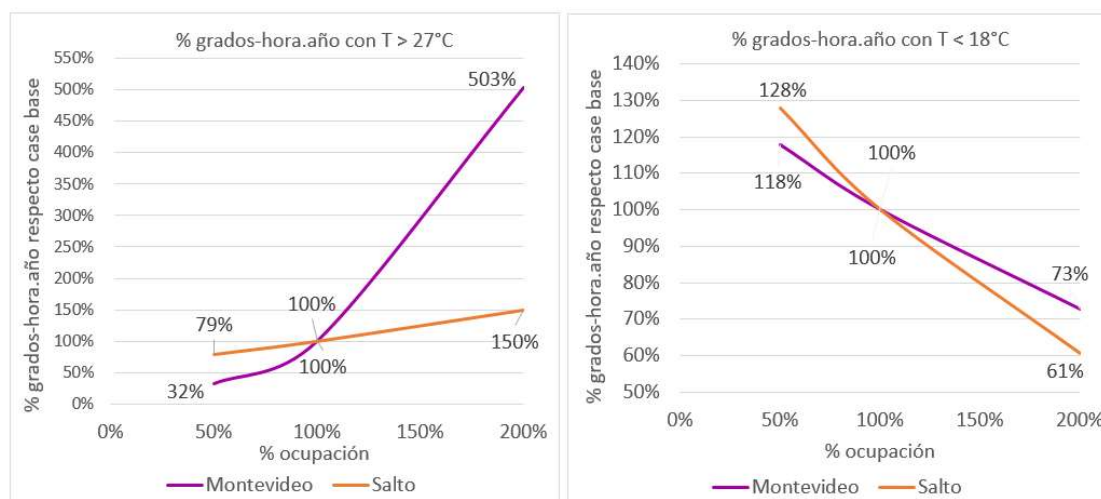


Figura 18 – Porcentaje de grados-hora año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario a).

Como era de esperar, a mayor carga de ocupación se genera mayor calor interior, lo que se traduce en mayores temperaturas interiores en las viviendas. Esto en un mayor número resulta – tanto de horas como de grados-hora – que excede las temperaturas del rango de confort, y un menor número por debajo de dicho rango. Esto ocurre tanto para Montevideo como para Salto

De las simulaciones se obtiene que reducir la carga de ocupación a la mitad (*Escenario a.1*) hace que la temperatura anual promedio del interior de la vivienda se reduzca 0.4 °C tanto en Montevideo como en Salto. En Montevideo se reduce de 19.9 °C a 19.5 °C y en Salto de 22.5 °C a 22.1 °C.

Al duplicar la carga de ocupación (*Escenario a.2*) la temperatura anual promedio del interior de la vivienda aumenta 0.8 °C tanto en Montevideo como en Salto. En Montevideo pasa de 19.9 °C a 20.7 °C y en Salto de 22.5 °C a 23.3 °C.

Estas diferencias de temperaturas se resumen en la tabla a continuación, donde se presentan las temperaturas medias anuales tanto interiores como exteriores para los escenarios contemplados.

T	Montevideo				Salto			
	Exterior (°C)	Caso base	a.1)	a.2)	Exterior (°C)	Caso base	a.1)	a.2)
		Interior (°C)				Interior (°C)		
T	16,5	19,9	19,5	20,7	19,3	22,5	22,1	23,3
$\Delta T/\text{caso base}$	-3,4		-0,4	0,8	-3,2		-0,4	0,8

Tabla 49 – Tabla resumen de temperaturas medias anuales interiores y exteriores de la vivienda – Escenario a).

Se observa a su vez, para ambos emplazamientos, un apartamento respecto al caso base más acentuado al aumentar la carga de ocupación (*Escenario a.2*) que al reducir dicha carga (*Escenario a.1*). Esto se evidencia claramente en la pendiente de los gráficos arriba presentados.

Resulta entonces muy importante destacar la relevancia de la ocupación en el nivel de confort. Observando los resultados por temporada (y no global anual), se nota claramente que el efecto de este parámetro es muy significativo, si bien no parece tan evidente observando los totales en el año. A menor ocupación, menor es el desconfort por altas temperaturas, pero mayor el aumento de desconfort por bajas temperaturas. Y viceversa; a mayor ocupación, mayor ese el peso de este parámetro en el resultado de confort (lo cual se evidencia al comparar el *escenario a.2*) vs. *a.1*). Por lo tanto, si la vivienda presenta una mayor ocupación que la prevista, tendrá un comportamiento más comprometido en la época calurosa, y menos en la fría (y viceversa). Esto es de gran interés pues el apartamento de la ocupación real respecto al previsto en las hipótesis, podría afectar las conclusiones respecto del efecto de las medidas que se consideren implementar que tengan un efecto importante solo en una de las dos temporadas.

Escenario b) Velocidad de viento

Escenario	%	Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total desconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total desconfort	
		horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
b.1)	50%	43	86%	2.690	96%	2.733	95%	1.258	101%	1.368	93%	2.626	97%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
b.2)	200%	58	116%	3.106	110%	3.164	110%	1.214	97%	1.700	116%	2.914	107%

Tabla 50 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario b).

		Montevideo						Salto					
Escenario	%	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
		°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
b.1)	50%	15	91%	6.994	92%	7.010	92%	2.129	100%	2.361	90%	4.490	94%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
b.2)	200%	22	135%	9.287	122%	9.309	122%	2.155	101%	3.440	131%	5.595	118%

Tabla 51 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario b).

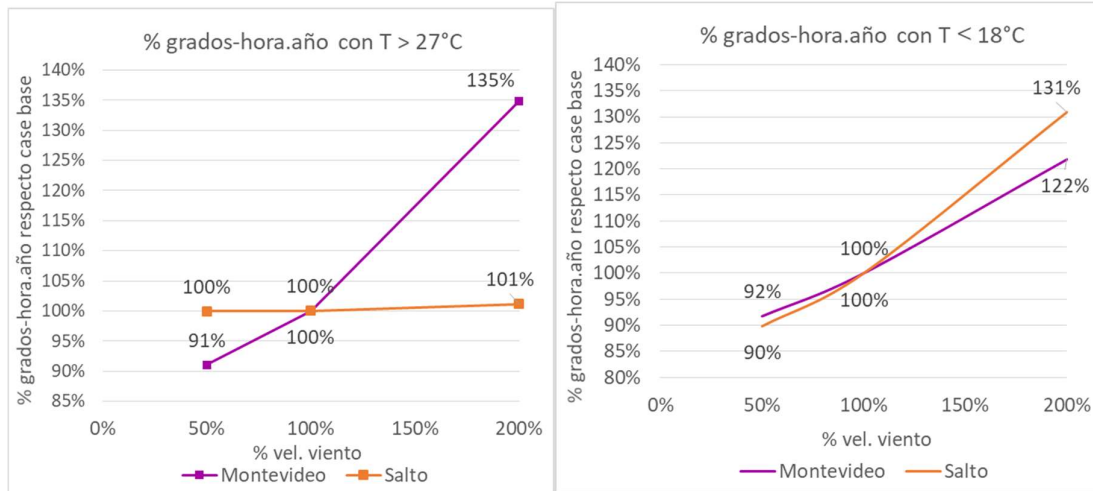


Figura 19 – Porcentaje de grados-hora.año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario b).

Se destaca que la influencia de la velocidad de viento en el confort se ve principalmente en la época fría (tanto en Salto como en Montevideo). Por el contrario, en la época calurosa – a pesar de observarse el efecto en forma porcentual – no tiene un efecto significativo para ninguna de las localidades en forma absoluta. En Montevideo esto ocurre ya que el disconfort por altas temperaturas se da pocas horas al año, mientras que en Salto – donde sí son más las horas con disconfort en verano – el viento eleva la temperatura durante el día pero de noche refrigera, resultando el saldo neto prácticamente nulo.

Tanto para Montevideo como para Salto, una mayor velocidad de viento (*Escenario b.2*) genera mayor disconfort total: para Montevideo duplicar la velocidad de viento resulta en un aumento del 10% de horas anuales de disconfort y para Salto un 7 %. A su vez, menores velocidades de viento resultan en menor disconfort total respecto al caso base: una reducción del 50% de la velocidad de viento se traduce en un 5% de horas menos en disconfort para el caso de Mdeo y 3% para Salto. Algo interesante a resaltar respecto a este parámetro, son las implicancias del posible error de la velocidad de viento. Esto, por sobre todo, ya que la velocidad de viento es una de las variables meteorológicas con menor precisión en los AMT, debido a cómo fueron creados y a la calidad de los datos de base que se utilizaron (Alonso-Suarez, Bidegain, Abal, & Modernell, 2016). De todas formas, si bien el error en esta variable puede ser significativo, es muy probable que sea bastante menor al 200%, con lo cual el efecto del error en esta variable no sea demasiado significativo en el confort global.

Por último resulta importante aclarar que el efecto de la velocidad del viento en estas simulaciones – por cómo fue planteado el modelo a efectos de este trabajo – se da sí a través de las infiltraciones, pero no así

a través de la ventilación. Esto debido a que como se mencionó anteriormente, la ventilación se establece en el modelo fijando un valor, independientemente del viento exterior. En caso de tenerse en cuenta este efecto también, las conclusiones podrían ser diferentes.

Escenario c) Permeabilidad

		Montevideo						Salto					
Escenario	%	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
		horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
c.1)	50%	43	86%	2.657	94%	2.700	94%	1.265	102%	1.322	90%	2.587	95%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
c.2)	200%	56	112%	3.054	108%	3.110	109%	1.213	97%	1.694	115%	2.907	107%

Tabla 52 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario c).

		Montevideo						Salto					
Escenario	%	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
		°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
c.1)	50%	15	91%	6.851	90%	6.866	90%	2.142	101%	2.202	84%	4.344	91%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
c.2)	200%	20	122%	8.994	118%	9.015	118%	2.128	100%	3.455	131%	5.583	117%

Tabla 53 – Grados-hora.año fuera del rango de confort – Escenario c).

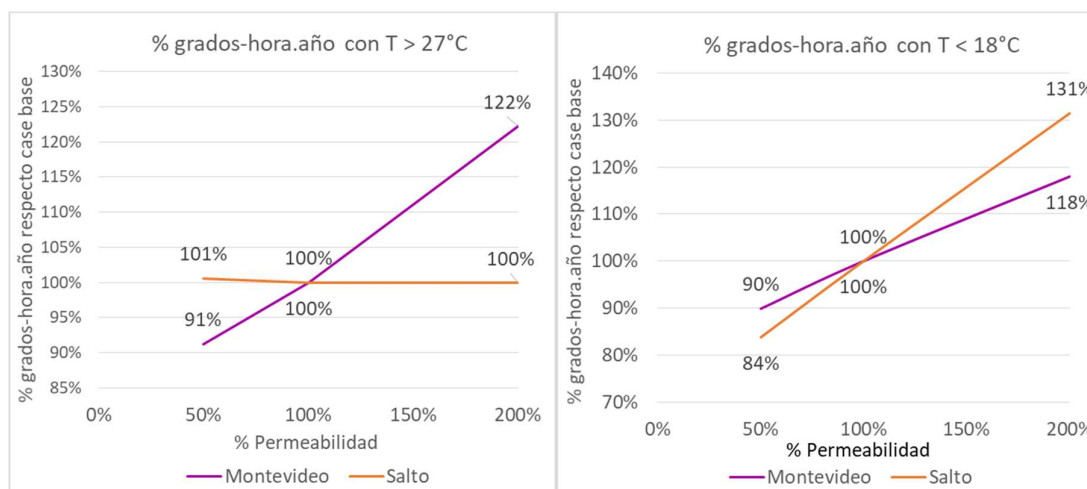


Figura 20 - Porcentaje de grados-hora.año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario c).

La sensibilidad a la variación de permeabilidades es muy similar a la sensibilidad de variación de velocidad de viento, como se muestra en la comparativa de la tabla siguiente. Esta semejanza se da – en ambos emplazamientos – tanto para temperaturas por encima como por debajo del rango de confort.

Resulta coherente la semejanza de comportamientos presentados para los escenarios b) y c), dado que ambos parámetros (velocidad de viento y permeabilidad) afectan solamente a nivel de las infiltraciones del modelo, considerando las simplificaciones presentadas en *Capítulo 3. Metodología* para el modelo de simulación de esta investigación.

Es esperable a su vez que surja un mayor disconfort como consecuencia de una mayor infiltración, básicamente en invierno. En verano prácticamente no afecta, lo cual tienen lógica ya que muchas veces se tienen temperaturas exteriores menores que en el interior (producto de desfase, y efecto de radiación y cargas internas sobre las temperaturas), por lo que pueden compensarse los efectos. En invierno, por el contrario, esto por lo general no pasa, existiendo entonces una pérdida de energía al ingresar aire a menor temperatura (casi siempre se tienen temperaturas exteriores menores que en el interior, ya que la radiación solar y las cargas internas genera un aporte energético que aumenta la temperatura).

Escenario d) Transmitancia Fachada

Escenario	U muro		Montevideo						Salto					
			T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	W/(m ² .K)	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
d.1)	0,34	50%	34	68%	2.579	92%	2.613	91%	1.208	97%	1.221	83%	2.429	90%
Caso base	0,67	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
d.2)	1,35	200%	100	200%	3.074	109%	3.174	111%	1.329	107%	1.769	121%	3.098	114%

Tabla 54 – Horas año fuera del rango de confort - Escenario d).

Escenario	U muro		Montevideo						Salto					
			T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	W/(m ² .K)	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
d.1)	0,34	50%	11	64%	6.508	85%	6.519	85%	2.012	94%	1.936	74%	3.949	83%
Caso base	0,67	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
d.2)	1,35	200%	40	243%	9.465	124%	9.505	124%	2.400	113%	3.896	148%	6.295	132%

Tabla 55 – Grados-hora fuera del rango de confort – Escenario d).

A partir de los datos presentados puede concluirse claramente que para todos los casos (ya sea por encima o por debajo del rango de confort) a menor transmitancia de muros de fachada existe un mejor confort interior en la vivienda. Por otra parte, una mayor transmitancia empeora la situación de confort, nuevamente para todos los casos. Esto se da tanto si se toma de referencia los grados como los grados-hora anuales de disconfort, siendo un poco más acentuado el apartamiento respecto al caso base considerando como criterio los grados-hora.

Tomando como referencia los grados-hora que se aparta del rango de confort anualmente la vivienda, una reducción de transmitancia del orden de la mitad genera anualmente una mejora en confort del 15% para Montevideo y del 17% para Salto. A su vez, un aumento del doble de transmitancia genera un aumento del disconfort de 24% para Montevideo y 32% para Salto.

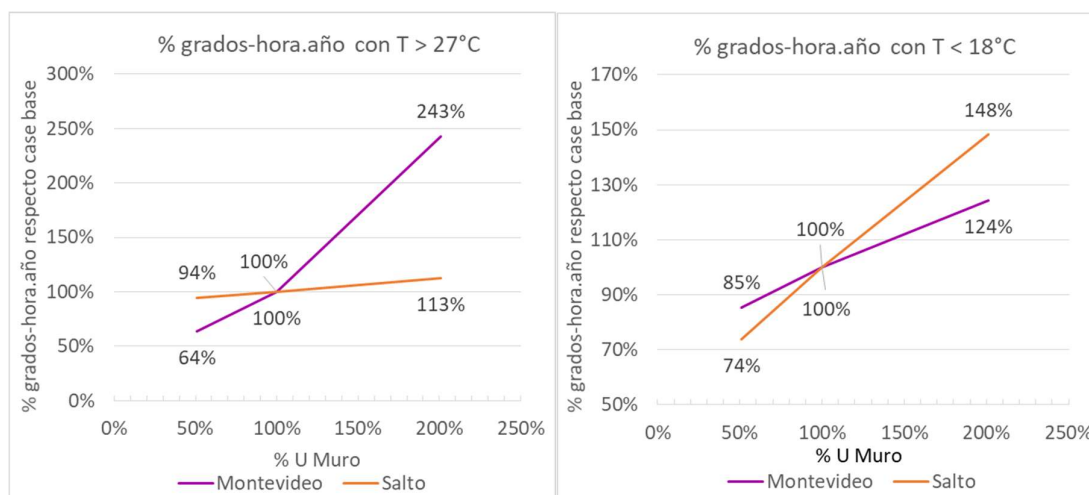


Figura 21 - Porcentaje de grados-hora.año con $T > 27^{\circ}\text{C}$ y $T < 18^{\circ}\text{C}$ – Escenario d).

Puede decirse también – al menos en forma primaria con estos datos – que cuando la vivienda está emplazada en la localidad de Salto, su confort es más sensible a las variaciones de transmitancia de la fachada, que si se encuentra en la localidad de Montevideo. El peso relativamente mayor del aislamiento térmico puede explicarse por las temperaturas exteriores más extremas de la localidad.

Es importante observar también que este análisis es válido tomando referencias porcentuales; en valores absolutos es la localidad de Montevideo la que sufre mayor diferencia en el confort respecto al caso base. En Montevideo el total de desconfort anual se reduce 1.121 grados-hora respecto al caso baso al reducir la transmitancia de la fachada (*Escenario d.1*) y aumenta el desconfort anual en 1.865 grados-hora respecto al caso baso al aumentar la transmitancia de la fachada (*Escenario d.2*). Salto – en valores absolutos – presenta menos variaciones anuales: 809 y 1.537 grados-hora respectivamente.

Otro aspecto relevante a destacar es que existe una diferencia significativa en el comportamiento entre la época calurosa y la fría. La sensibilidad a la transmitancia en la fachada resulta mayor en la época fría, lo cual podría deberse a que el efecto sobre las ganancias por radiación en verano no se ve tan afectado, mientras que las pérdidas en invierno sí, y en gran medida.

Escenario e) Transmitancia Cubierta

Escenario	U cubierta		Montevideo						Salto					
			T > 27°C		T < 18°C		Total desconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total desconfort	
	W/(m².K)	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
e.1)	0,33	47%	11	22%	2.610	93%	2.621	91%	1.104	89%	1.251	85%	2.355	87%
Caso base	0,70	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
e.2)	1,47	210%	217	434%	3.071	109%	3.288	115%	1.454	117%	1.756	120%	3.210	118%

Tabla 56 – Horas año fuera del rango de confort - Escenario e).

Escenario	U cubierta		Montevideo						Salto					
	W/(m ² .K)	%	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
			°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
e.1)	0,33	47%	2	11%	6.512	85%	6.514	85%	1.756	82%	1.963	75%	3.719	78%
Caso base	0,70	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
e.2)	1,47	210%	149	893%	9.562	125%	9.711	127%	3.017	142%	3.929	150%	6.947	146%

Tabla 57 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario e).

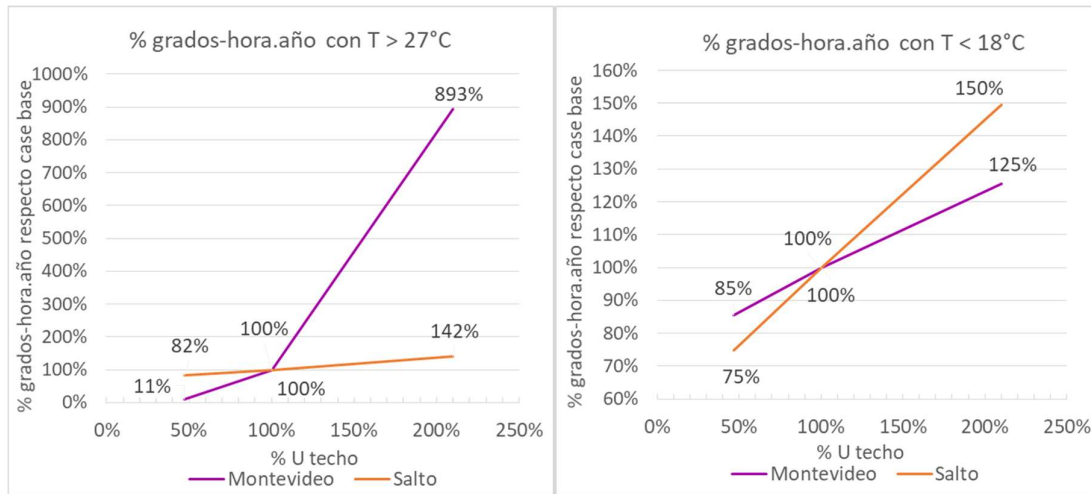


Figura 22 – Porcentaje grados-hora año T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario e).

Análogo a lo ocurrido con los escenarios anteriores donde se modificaba la transmitancia de la fachadas (*Escenarios d.1 y d.2*), se produce – para todos los casos – un mayor disconfort al aumentar la transmitancia (en este caso de la cubierta) y un menor disconfort al reducirla.

Si comparamos con los *Escenarios d*) podemos observar cómo para el caso de disconfort por temperaturas frías (T < 18 °C), la vivienda es prácticamente igual de sensible ante la variación de transmitancia ya sea de fachada o de cubierta. Es decir, una variación en la transmitancia de la fachada genera una variación en el disconfort análoga a la generada por una variación de transmitancia de cubierta de igual orden. Esto ocurre para ambas localidades estudiadas.

Por el contrario, si centramos el estudio en el disconfort producto de temperaturas superiores al rango de confort, las viviendas no presentan la misma sensibilidad ante cambios de transmitancia de cubierta y cambios de transmitancia de fachada.

Escenario	Escenario: d) Fachada		e) Cubierta		d) Fachada		e) Cubierta	
	Montevideo		Montevideo		Salto		Salto	
	T > 27°C		T > 27°C		T > 27°C		T > 27°C	
	% °C.año		% °C.año		% °C.año		% °C.año	
< U	64%		11%		94%		82%	
U base	100%		100%		100%		100%	
> U	243%		893%		113%		142%	

Tabla 58 – Comparativa grados-hora al año fuera del rango de confort con $T > 27^\circ\text{C}$ entre Escenarios d) y e).

Esto puede explicarse dado que en verano el sol se encuentra en una posición más vertical, teniendo una mayor incidencia en la cubierta en verano, lo que genera una mayor sensibilidad.

En ambas localidades, ocurre que la sensibilidad ante cambios de transmitancia de la cubierta es mayor que ante cambios de transmitancia de igual orden en la fachada. A su vez, la radiación solar es considerablemente mayor en la época calurosa, y siendo la radiación la carga principal (significativamente mayor que las cargas internas), cualquier efecto que disminuya la carga de radiación impactará sustancialmente en el confort.

Se observa que esta diferencia resulta porcentualmente mucho mayor para el caso de Montevideo, aunque no es menor que el disconfort por temperaturas elevadas en este emplazamiento es considerablemente menor al disconfort producto de temperaturas por debajo del rango (relación aproximada 1-20) por lo que este bajo número podría influir en que la variación porcentual resulte tan abultada.

Combinación escenarios d) + e)

Resulta interesante analizar también que ocurre si se combinan los escenarios d) y e), reduciendo y aumentando simultáneamente la transmitancia de ambos elementos que componen la envolvente de la vivienda analizada.

Se generan entonces dos escenarios más para el análisis:

- Escenario d.1) + e.1): Combinación de muros de fachada con transmitancia reducida del *Escenario d.1)* y cubierta con transmitancia reducida del *Escenario e.1)*
- Escenario d.2) + e.2): Combinación de muros de fachada con mayor transmitancia (muros del *Escenario d.2)* y cubierta con mayor transmitancia (análoga al *Escenario e.2)*.

A continuación se exponen los resultados y análisis de estos dos escenarios planteados.

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
d.1) + e.1)	50%	5	10%	2.305	82%	2.310	81%	1.034	83%	939	64%	1.973	73%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
d.2) + e.2)	200%	264	528%	3.232	115%	3.496	122%	1.485	119%	1.930	132%	3.415	126%

Tabla 59 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario d+e).

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
d.1) + e.1)	50%	1	4%	5.238	69%	5.239	69%	1.627	76%	1.270	48%	2.896	61%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
d.2) + e.2)	200%	192	1154%	10.950	144%	11.142	146%	3.196	150%	4.962	189%	8.158	171%

Tabla 60 - Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario d+e).

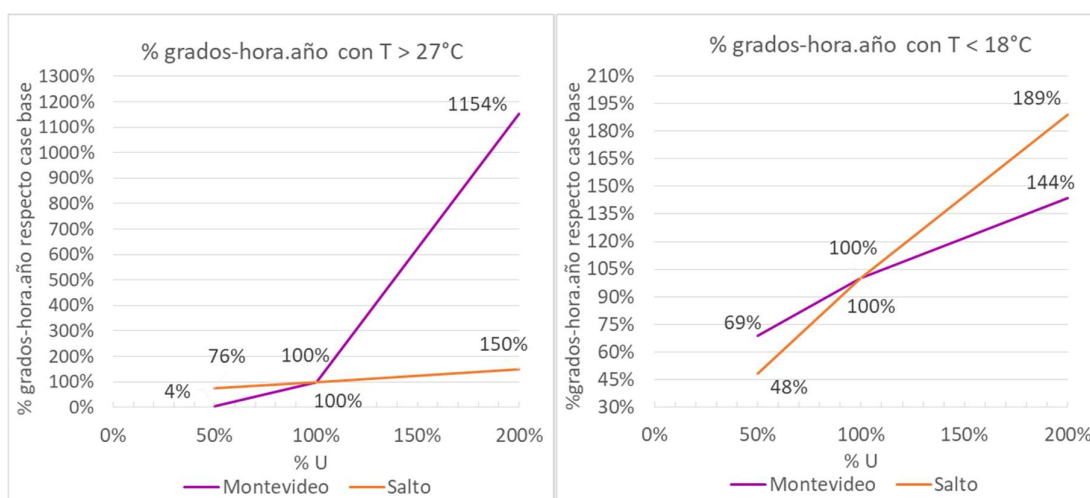


Figura 23 – Porcentaje grados-hora.año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario d+e).

Como es de esperar, al combinar ambos escenarios las diferencias respecto al caso base se acentúan. Si se reduce la transmitancia de la fachada y se reduce a su vez la de la cubierta, se produce una mejora en el confort mayor que si se realiza solamente uno de los dos cambios en forma aislada. El mismo razonamiento se da al aumentar las transmitancia: el aumento en conjunto de la transmitancia de ambos elementos de la envolvente perjudica el confort en mayor medida que el aumento por separado de cada una.

Se observa también que la sensibilidad frente a cambios de transmitancia es mayor en Salto respecto a Montevideo

A continuación se resume en la *Tabla 61* el confort total anual resultante para los *Escenarios d)*, *Escenarios e)*, y para la combinación de ambos escenarios.

Escenario:		d) Fachada	e) Cubierta	d) + e)	d) Fachada	e) Cubierta	d) + e)
		Montevideo	Montevideo	Montevideo	Salto	Salto	Salto
Escenario		Total disconfort % °C.año	Total disconfort % °C.año	Total disconfort % °C.año	Total disconfort % °C.año	Total disconfort % °C.año	Total disconfort % °C.año
< U		85%	85%	69%	83%	78%	61%
U base		100%	100%	100%	100%	100%	100%
> U		124%	127%	146%	132%	146%	171%

Tabla 61 – Grados-hora al año fuera del rango de confort – Escenario d)+e).

Para ambas localidades ocurre que la suma lineal de mejora del confort al reducir las transmitancia de fachada y cubierta en forma individual (Escenarios d.1) y e.1)) equivalen a la mejora total de confort al combinar ambos escenarios. Es decir que en este caso los efectos prácticamente se suman en su totalidad (no hay superposición en las mejoras que hagan que la suma de mejora combinada sea menor a la mejora de ambas variantes por separado).

Para el caso del aumento de transmitancia, sí ocurre que parte de los efectos se solapan, y el aumento en disconfort total de la combinación de ambos es en parte menor al aumento de ambos escenarios por separado. Esto también se da tanto para Salto como para Montevideo.

El mismo comportamiento se da también si en lugar de considerar el disconfort total tomamos por separado el disconfort por temperaturas elevadas y el disconfort por bajas temperaturas, como se muestra en las tablas a continuación:

Escenario:		d) Fachada	e) Cubierta	d) + e)	d) Fachada	e) Cubierta	d) + e)
		Montevideo	Montevideo	Montevideo	Salto	Salto	Salto
Escenario		T > 27°C % °C.año	T > 27°C % °C.año	T > 27°C % °C.año	T > 27°C % °C.año	T > 27°C % °C.año	T > 27°C % °C.año
< U		64%	11%	4%	94%	82%	76%
U base		100%	100%	100%	100%	100%	100%
> U		243%	893%	1154%	113%	142%	150%

Tabla 62 – Comparativa del disconfort (medido en grados hora al año) por exceso de temperatura (época calurosa) para los escenarios d), e) y d)+e).

Escenario:		d) Fachada	e) Cubierta	d) + e)	d) Fachada	e) Cubierta	d) + e)
		Montevideo	Montevideo	Montevideo	Salto	Salto	Salto
Caso :		T < 18°C % °C.año	T < 18°C % °C.año	T < 18°C % °C.año	T < 18°C % °C.año	T < 18°C % °C.año	T < 18°C % °C.año
< U		85%	85%	69%	74%	75%	48%
U base		100%	100%	100%	100%	100%	100%
> U		124%	125%	144%	148%	150%	189%

Tabla 63 – Comparativa del disconfort (medido en grados hora al año) por temperaturas inferiores al rango (época fría) para los escenarios d), e) y d)+e).

Escenario f) Puentes térmicos

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
f.1)	0%	73	146%	2.472	88%	2.545	89%	1.417	114%	1.131	77%	2.548	94%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
f.2)	200%	47	94%	2.870	102%	2.917	102%	1.219	98%	1.516	103%	2.735	101%

Tabla 64 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario f).

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
f.1)	0%	26	159%	6.100	80%	6.127	80%	2.465	116%	1.760	67%	4.225	89%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
f.2)	200%	15	92%	7.895	104%	7.910	104%	2.080	98%	2.792	106%	4.872	102%

Tabla 65 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario f).

Confirmando los conceptos teóricos, se observa que el no considerar en la simulación el efecto de los puentes térmicos resulta en un mejor confort en la vivienda. El *escenario k.1)* nos permite cuantificar para la vivienda de este estudio cuánto incide la consideración o no de puentes térmicos.

No considerar puentes térmicos resulta en una mejora del confort de un 20% para el caso de Montevideo y de un 11% en el caso de Salto. Esto evidencia la importancia que tienen los mismos en la simulación y lo fundamental de no despreciarlos al momento del análisis.

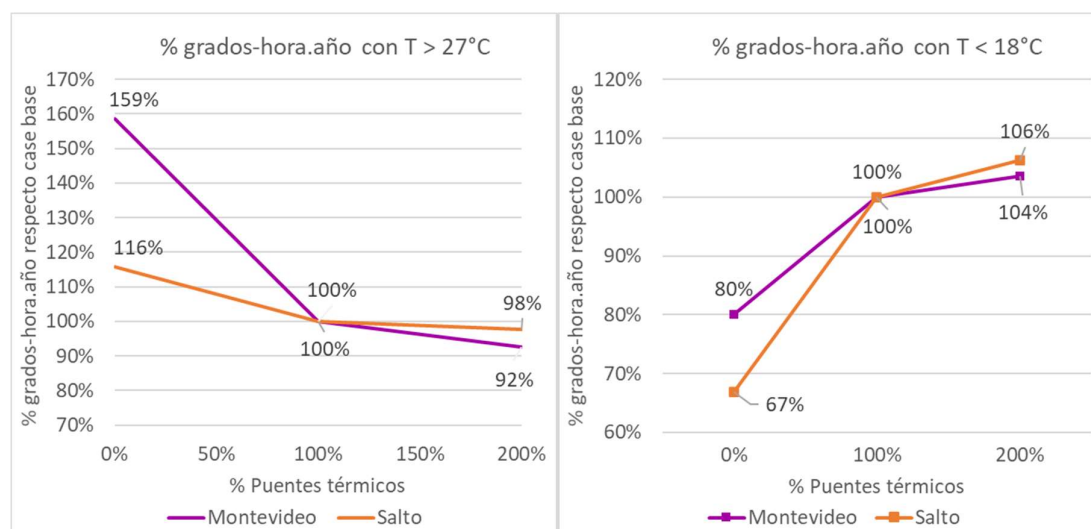


Figura 24 – Porcentaje grados-hora año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario f).

Por otro lado se evaluó cómo afectaría los resultados el considerar coeficientes de transmitancia térmica lineal (ψ) del orden del 200% respecto a los considerados de acuerdo a la norma. Esto nos permite detectar cuán sensible están siendo los resultados obtenidos a los coeficientes fijados por norma (*Escenario k.2*). Como es de esperar, considerar mayores coeficientes produce mayor discomfort en la simulación de la

vivienda. De todas formas, la incidencia de incluso duplicar dichos valores no es tan significativa como ocurría con el *Escenario k.1*). Y aquí una conclusión muy importante a la que permite arribar el análisis de este escenario en particular, y es el desestimar que al considerar los coeficientes por defecto de la norma se arriba a resultados de confort distorsionados por no considerar los valores exactos de la vivienda en particular. Sabiendo que los valores de la norma se basan en modelos numéricos estudiados y que reflejan puentes térmicos lineales que se encuentran habitualmente en la edificación, se entiende que los valores exactos no distarán tanto respecto a la estimación aproximada de la norma. Por tanto, si el caso extremo de duplicarlos resulta en una variación de entre un 2% y un 4% de los resultados obtenidos de confort, se entiende que la diferencia entre la estimación y evaluación exacta no altera en forma significativa los resultados y análisis que puedan establecerse en este estudio. Por tanto se toma como válido la adopción de los valores establecidos en las hipótesis primarias del modelo.

Escenario g) Activación persianas

Escenario	Parámetro	Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
		horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
g.1)	24 hs activas	50	100%	3.633	129%	3.683	129%	1.060	85%	2.031	138%	3.091	114%
Caso base	perfil base	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
g.2)	24 hs inactivas	585	1170%	2.889	103%	3.474	121%	1.966	158%	1.508	103%	3.474	128%

Tabla 66 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario g).

Escenario	Parámetro	Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
		°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
g.1)	24 hs activas	17	100%	11.108	146%	11.124	146%	1.814	85%	4.403	168%	6.217	131%
Caso base	perfil base	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
g.2)	24 hs inactivas	720	4325%	8.096	106%	8.816	115%	4.783	225%	2.908	111%	7.690	162%

Tabla 67 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario g).

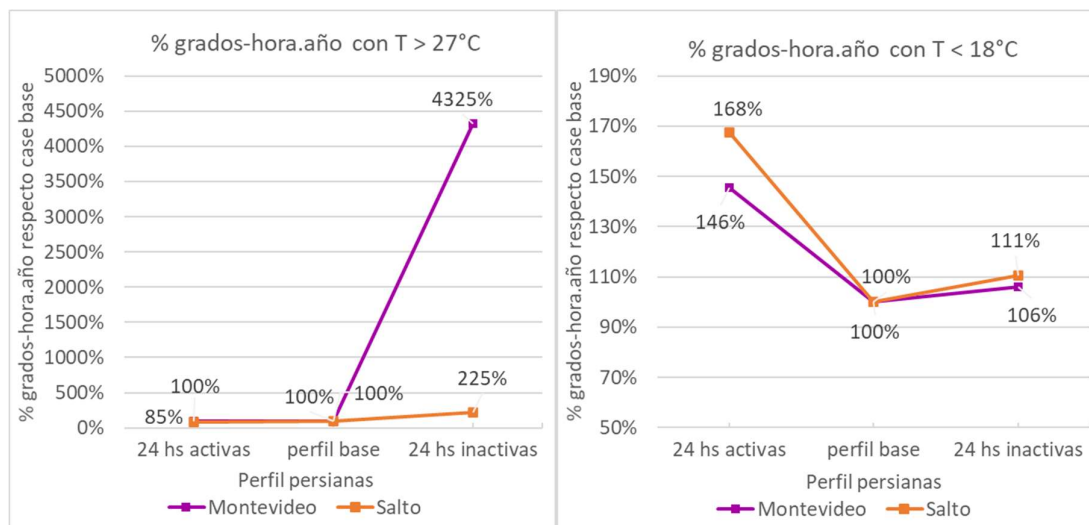


Figura 25 – Porcentaje grados-hora. año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario g).

Ambos escenarios extremos (persianas las 24 hs abiertas/activas o las 24 hs cerradas) son menos favorables que el caso de referencia, siendo Salto la localidad más sensible de las dos. Basándose en los grados-hora al año, en Montevideo estos escenarios perjudican el confort de la vivienda entre un 15% y un 46%, mientras que en Salto lo perjudican entre un 31% y un 62%. Resulta coherente la mayor afección sea en Salto puesto que este emplazamiento presenta una mayor irradiación; cualquier parámetro que este directamente relacionado con el ingreso de irradiación tendrá mayor peso cuanto mayor sea la irradiación incidente.

Analizando por separado el caso de temperaturas superiores e inferiores al rango de confort, se observa que el único caso en donde resulta más favorable alguno de estos escenarios respecto al caso base es para temperaturas altas, manteniendo activas las persianas (es decir bajas) las veinticuatro horas (*Escenario g.1*). Se aprecia, a su vez, que el disconfort debido a temperaturas altas resulta más sensible que el debido a bajas temperaturas.

Estas dos últimas observaciones planteadas tienen su explicación en que en el caso de referencia contra el cual se está midiendo la sensibilidad ya mantiene activas las persianas en los horarios de temperaturas más bajas (horario nocturno) durante todo el año. Si bien en los meses más calurosos de verano también las mantiene activas durante los horarios de mayor irradiación, no lo hace todo el año; debido a esto parece haber cierto margen de mejora en Salto al comparar con el caso de persianas activas las 24 horas (en Montevideo no tiene el mismo interés el análisis puesto que en este caso el disconfort en época calurosa es poco significativo).

Otro aspecto a destacar es la alta sensibilidad del confort de la vivienda frente al perfil de uso de las persianas. Esto hace que amerite su evaluación a la hora de presentar posibles mejoras para la vivienda de partida de este estudio, ya sea estableciendo perfiles de uso recomendados o bien planteando la incorporación de este tipo de dispositivos para otras aberturas de la vivienda que no cuentan con protección. En verano se buscará controlar el ingreso de energía solar para evitar ganancias térmicas innecesarias, y en invierno la estrategia será la ganancia solar activa.

Se presenta a continuación el comportamiento de temperaturas interiores y exteriores para el caso en que las persianas no se activan en ningún momento (*escenario g.2*). Se observa allí cómo las temperaturas máximas interiores acompañan la tendencia de los máximos exteriores durante todo el año, comprobando la hipótesis asumida en la *sección 4.1.1.*; el accionar de las persianas durante el día – de noviembre a abril – explica el apartamiento entre temperaturas máximas interiores y exteriores en esos meses calurosos.

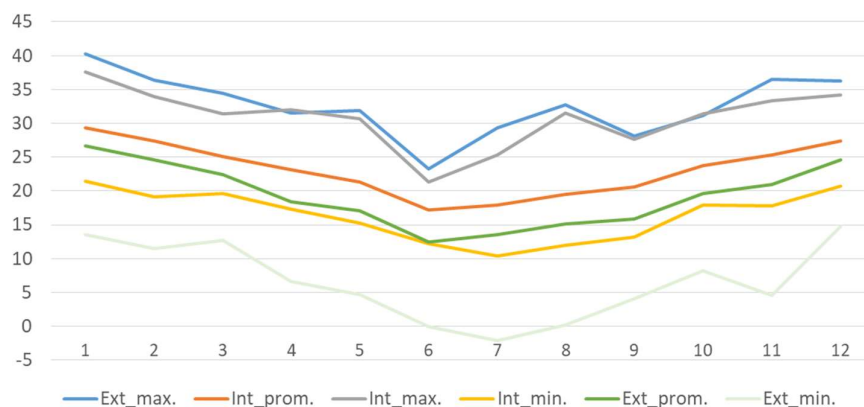


Figura 26 – Temperaturas máximas, promedio y mínimas (interiores y exteriores) en Salto para escenario sin persianas activas.

Escenario h) Ventilación nocturna

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
h.1)	0%	146	292%	2.796	99%	2.942	103%	1.774	142%	1.467	100%	3.241	119%
h.2)	50%	85	170%	2.807	100%	2.892	101%	1.437	115%	1.467	100%	2.904	107%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
h.3)	200%	25	50%	2.853	101%	2.878	100%	1.067	86%	1.482	101%	2.549	94%

Tabla 68 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario h).

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
h.1)	0%	69	412%	7.601	100%	7.670	100%	3.287	154%	2.628	100%	5.916	124%
h.2)	50%	32	192%	7.606	100%	7.638	100%	2.534	119%	2.628	100%	5.162	108%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
h.3)	200%	7	45%	7.673	101%	7.680	101%	1.759	83%	2.637	100%	4.396	92%

Tabla 69 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario h).

En primer lugar es importante aclarar que la ventilación nocturna considerada para este estudio – de acuerdo a lo establecido por el Documento Básico HE Ahorro de energía – Apéndice C.1 para perfiles de uso residencial – se trata de una estrategia que apunta a atacar el discomfort producto de temperaturas elevadas, al generar renovaciones del aire interior sustituyéndolo con aire exterior con temperatura sustancialmente inferior (ventilación entre las 01 y 08 horas en los meses de verano). Los resultados que arrojan los *Escenarios h* de este análisis de sensibilidad muestran cómo al variar el número de renovaciones por hora de la ventilación establecida, se ven afectadas las mejoras térmicas en verano, resultando mayor el discomfort al reducir el número de renovaciones. Esto se da tanto para Montevideo como para Salto.

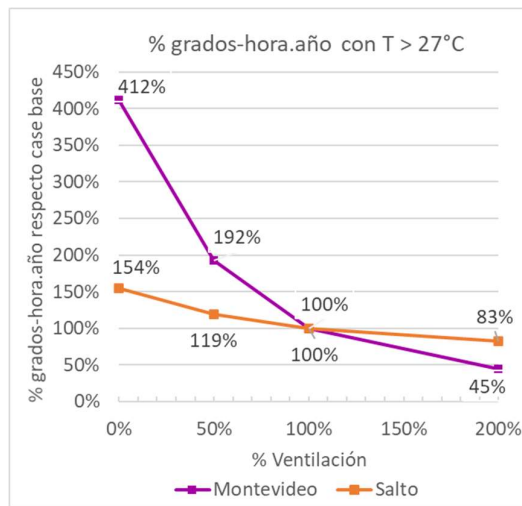


Figura 27 – Porcentaje grados-hora.año con T > 27 °C – Escenario h).

Comparando los resultados del *Escenario h.1)* (donde no se aplica ninguna estrategia de ventilación nocturna) con el caso base (donde sí se aplicó), se observa un notorio incremento del discomfort por altas temperaturas.

Los resultados de estos escenarios nos muestran la importancia que tiene la aplicación de la ventilación nocturna de la vivienda en su confort en época calurosa. Al tratarse de una estrategia pasiva y que no implica un costo, la ventilación será estudiada más adelante en este trabajo para proponer mejoras en el confort.

Escenario i) Conductividad térmica terreno

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
i.1)	50%	132	264%	2.737	97%	2.869	100%	1.477	119%	1.467	100%	2.944	109%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
i.2)	200%	8	16%	2.920	104%	2.928	102%	933	75%	1.456	99%	2.389	88%

Tabla 70 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario i).

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
i.1)	50%	61	367%	7.667	101%	7.728	101%	2.788	131%	2.783	106%	5.572	117%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
i.2)	200%	1	8%	7.572	99%	7.573	99%	1.442	68%	2.420	92%	3.863	81%

Tabla 71 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario i).

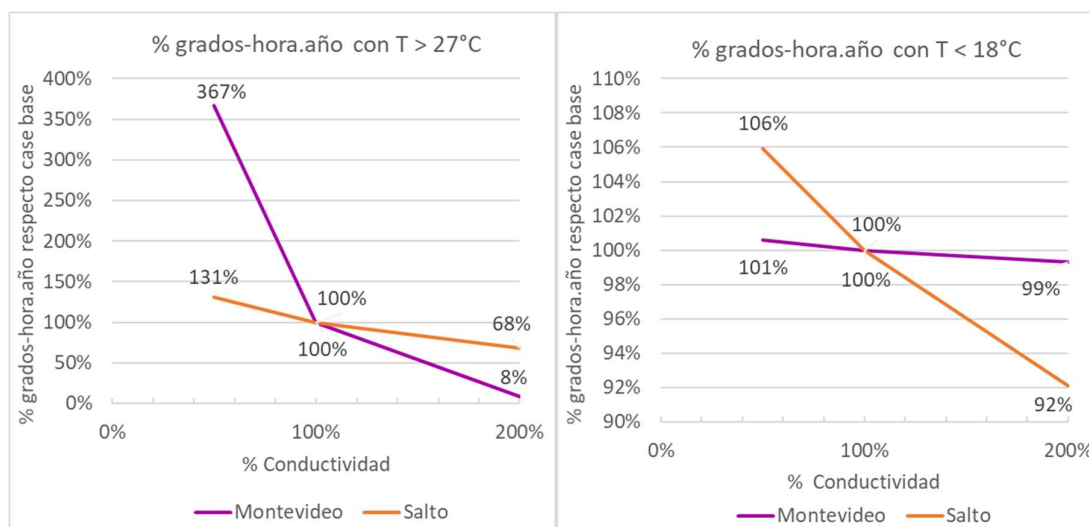


Figura 28 – Porcentaje grados-hora año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario i).

Se observa claramente como a mayor conductividad, mayor confort resultante en la vivienda, en ambas localidades. Esta afirmación no solo es válida considerando el confort global anual, sino también considerando en forma aislada el disconfort producto de temperaturas mayores o menores al rango.

El disconfort producto de temperaturas por encima del rango resulta mucho más sensible frente a los cambios de conductividad del terreno que aquel producto de temperaturas inferiores al rango. El hecho de que en Montevideo el peso del disconfort por T>27 °C de la vivienda del caso base sea prácticamente despreciable (tan solo un 0.22% del total de grados-hora totales en el año corresponden a temperaturas mayores a 27 °C), hace que el disconfort total para la vivienda emplazada en esta localidad sólo varíe 1% para los escenarios planteados. En la localidad de Salto, donde el disconfort por temperaturas por encima de los 27 °C sí tiene peso en el disconfort total (en el orden del 45%) la variación del confort de los Escenarios i.1) e i.2) es más pronunciada, siendo cercana al 20% (81% - 117%). De todas formas, es importante hacer notar que la variación de la conductividad considerada para estos escenarios es algo extrema, de acuerdo a referencia del Capítulo 26 del Manual de ASHRAE (ASHRAE, 2009) para los distintos suelos posibles como se expuso previamente en la sección 4.2.1 al definirse los escenarios para la variable de conductividad del terreno. En tal sentido, es altamente probable que el error generado por las diferencias de este parámetro sean bastante menores.

Escenario j) Temperatura no perturbada terreno

		Montevideo						Salto					
		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
Escenario	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
j.1)	80%	17	34%	3.095	110%	3.112	109%	966	78%	1.741	119%	2.707	100%
Caso base	100%	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
j.2)	120%	114	228%	2.507	89%	2.621	91%	1.532	123%	1.191	81%	2.723	100%

Tabla 72 – Horas año fuera del rango de confort – Escenario j).

		Montevideo						Salto					
Escenario	%	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
		°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%	°C-hs	%
j.1)	80%	5	28%	8.986	118%	8.990	118%	1.586	74%	3.506	133%	5.092	107%
Caso base	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
j.2)	120%	48	289%	6.398	84%	6.446	84%	2.801	132%	1.919	73%	4.720	99%

Tabla 73 – Grados-hora año fuera del rango de confort – Escenario j).

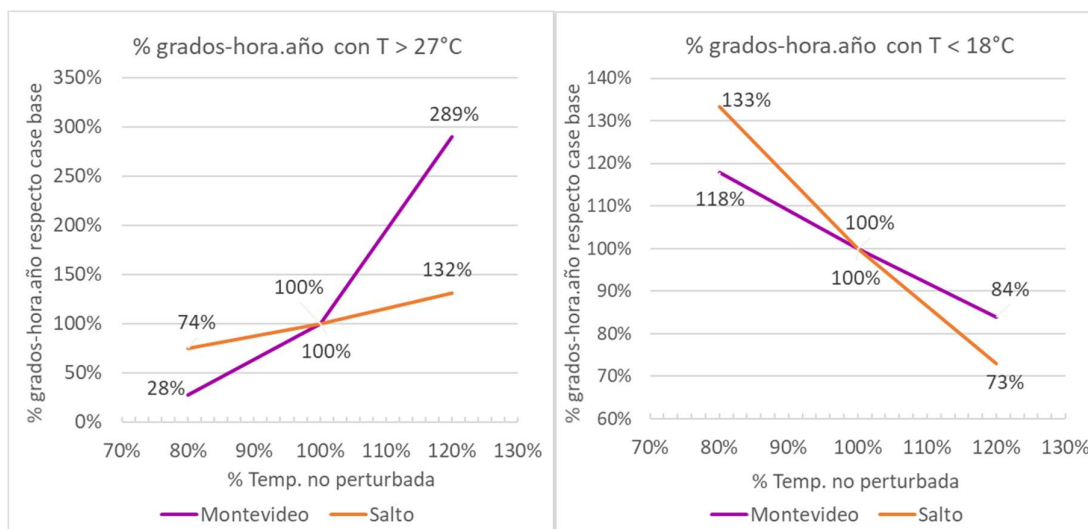


Figura 29 – Porcentaje grados-hora año con T > 27 °C y T < 18 °C – Escenario j).

Se observa que una mayor temperatura no perturbada del terreno (*Escenario j.2)*) produce un menor discomfort por temperaturas inferiores al rango de confort y un mayor discomfort producto de temperaturas superiores al rango. En el global, resulta para ambos emplazamiento una disminución del discomfort. En Montevideo el confort total mejora un 16%, mientras que para Salto la mejora global de confort es mucho menor: 1%.

A su vez, una menor temperatura no perturbada del terreno (*Escenario j.1)*) produce un mayor discomfort por temperaturas inferiores al rango y un menor discomfort producto de temperaturas superiores al rango. El discomfort total aumenta entre un 7% para el caso de Salto y un 18% para el caso de Montevideo.

Para ambos escenarios, el discomfort por temperaturas por encima del rango de confort es más sensible que el discomfort por temperaturas menores que dicho rango. Esto se da tanto para Montevideo como para Salto. Como en Montevideo el discomfort producto de temperaturas por debajo del rango tiene un peso mucho mayor sobre el discomfort total que lo que lo tiene en Salto (99.8% vs. 45%), el confort global (considerando grados-hora por encima y por debajo del rango) resulta bastante mayor que el de Salto (16% vs 1%).

Es interesante hacer notar que los valores altos de temperatura no perturbada del terreno (*Escenario j.2)*) quedan dentro del rango de confort definido, mientras que los de temperatura más bajos no (*Escenario j.1)*).

Ocurre también – tanto para Salto como para Montevideo – que el confort de la vivienda se ve más afectado al reducirse la temperatura no perturbada del terreno (*Escenario j.1*) que al aumentarse dicha temperatura a igual variación. (*Escenario j.2*), sobre un rango definido por la amplitud de temperaturas medias mensuales de cada localidad.

A continuación se presenta – análogo a lo presentado para el *Escenario a)* – una tabla comparativa de las temperaturas promedio interiores de la vivienda respecto al caso base de cada localidad.

		Montevideo			Salto				
		Caso base	a.1)	a.2)			Caso base	a.1)	a.2)
		Exterior (°C)	Interior (°C)		Exterior (°C)	Interior (°C)			
T		16,5	19,9	19,46	20,33	19,3	22,5	21,98	23,00
ΔT/caso base		-3,4		-0,44	0,43	-3,2		-0,52	0,50

Tabla 74 – Resumen de temperaturas medias interiores de la vivienda – escenario j).

Se observa entonces que para la vivienda implantada en Montevideo una la variación de 3.3 °C en la temperatura no perturbada del terreno varía la temperatura interior promedio de la vivienda en ± 0.4 °C, mientras que para el caso de la vivienda ubicada en Salto una variación de 3.8 °C de temperatura no perturbada del terreno varía la temperatura interior de la vivienda en ± 0.5 °C.

Por último es importante comentar que las variaciones aquí consideradas (al igual que lo que ocurre con escenario de conductividad de terreno) parecen ser extremas. Se considera más razonable contemplar variaciones del orden de 1 °C para la temperatura no perturbada, con lo cual los errores esperados por efecto de incertidumbres en este parámetro deberían estar bastante más acotados.

4.3 Análisis Orientaciones

En esta sección el análisis se centra en cómo se ve afectado el confort de la vivienda de estudio en función de la orientación de la misma, es decir, se considera como parámetro a evaluar la orientación de la vivienda. Todos los análisis se realizan tanto para Montevideo como para Salto.

Para la primer parte de esta sección (4.3.1), se toma como partida el caso base de vivienda, analizado en la sección 4.1, y se simula el mismo rotando la vivienda 90, 180 y 270°, como se muestra en la Figura 30, siendo la rotación de la vivienda el único cambio para la simulación.

En una segunda etapa (sub-sección 4.3.2), se realiza un análisis de sensibilidad acotado para cada una de las nuevas orientaciones estudiadas. Se toman para el mismo sólo algunos de los parámetros evaluados en el análisis de sensibilidad de la sección 4.2, los cuales se entienden presentan mayor interés para este análisis en concreto. En consecuencia, resulta posible evaluar cómo esos parámetros inciden de igual o distinta forma respecto al caso a base, en función de la orientación que presenta la vivienda.

Como último punto de este apartado (*sub-sección 4.3.3*), se hará mención a la incidencia que tiene el optar por evitar colocar las ventanas de dormitorios esquina hacia el sur (práctica que actualmente se realiza en MEVIR para cada vivienda, en función de la orientación de las viviendas implantadas).

4.3.1 Orientaciones 0°, 90°, 180° y 270° - Caso base

Tal como se mencionó, el primer análisis a realizar es evaluar el caso base de vivienda presentado para Montevideo y para Salto (*M.I* y *S.I*) rotado 90°, 180° y 270° respecto a la orientación original presentada. Como convención respecto a las rotaciones, se establece:

- Asignar como orientación 0° la orientación del caso base ya estudiado (con el ventanal del living apuntando hacia el norte, por ejemplo).
- Los grados de rotación asignados son grados en sentido anti-horario, medidos siempre respecto a la orientación original (0°) (pensando en rotación de la vivienda, podría decirse rotación en sentido horario).

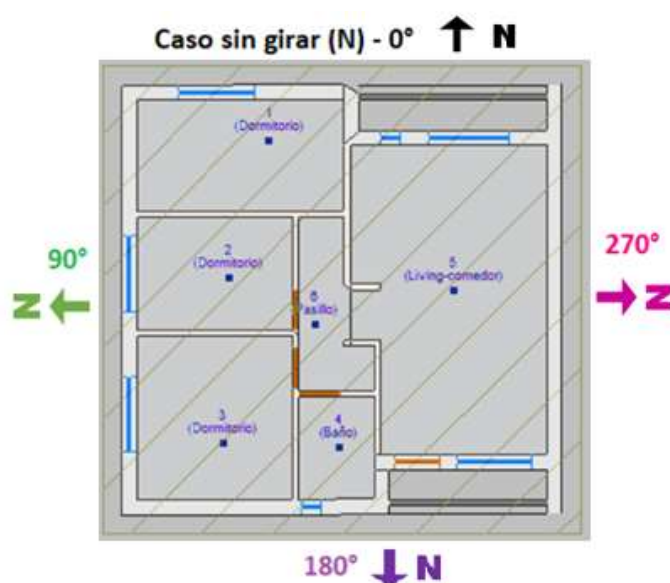


Figura 30 – Convención de rotaciones establecida. Por simplicidad, se presenta sin rotar, pero se rota la dirección en la que apunta el Norte (N), en sentido contrario a la rotación de la vivienda.

Para la realización de este primer análisis lo que se hace es tomar la vivienda del caso base con la orientación original, mantener las mismas condiciones e hipótesis establecidas previamente²² y afectar solamente la rotación de la vivienda, de acuerdo a las otras tres orientaciones mencionadas.

²² Las hipótesis y consideraciones tomadas para el caso base, orientación original, pueden encontrarse en el *Capítulo 3 – Metodología* y en la *Sección 4.1 – Presentación y análisis de Caso Base*

Resultados obtenidos para las simulaciones realizadas para las cuatro orientaciones:

Se presentan a continuación los resultados de confort obtenidos al simular el caso base para las otras tres orientaciones mencionadas, tanto en formato de tabla de datos como gráficamente.

Orientación	Montevideo						Salto					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	horas.año	%	horas.año	%	horas.año	%	horas.año	%	horas.año	%	horas.año	%
0° (original)	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%
90°	168	336%	2.793	99%	2.961	103%	1.492	120%	1.447	99%	2.939	108%
180°	37	74%	3.361	119%	3.398	119%	1.088	87%	1.929	131%	3.017	111%
270°	197	394%	3.301	117%	3.498	122%	1.437	115%	1.907	130%	3.344	123%

Tabla 75 – Horas año fuera del rango de confort por orientaciones.

Orientación	Montevideo						Salto					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%
0° (original)	17	100%	7.623	100%	7.640	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
90°	89	532%	7.731	101%	7.819	102%	2.740	129%	2.626	100%	5.366	113%
180°	13	78%	10.405	136%	10.418	136%	1.799	84%	4.121	157%	5.921	124%
270°	119	712%	10.627	139%	10.745	141%	2.727	128%	4.301	164%	7.027	148%

Tabla 76 – Grados-hora año fuera del rango de confort por orientaciones.

Orientación	Δ HORAS AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT						Δ GRADOS -HORA AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	Montevideo			Salto			Montevideo			Salto		
	T > 27°C	T < 18°C	Total Δ	T > 27°C	T < 18°C	T < 18°C	T > 27°C	T < 18°C	Total Δ	T > 27°C	T < 18°C	T < 18°C
hs.año	hs.año	hs.año	hs.año	hs.año	hs.año	°C-hs.año	°C-hs.año	°C-hs.año	°C-hs.año	°C-hs.año	°C-hs.año	°C-hs.año
0° (original)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90°	118	-22	96	246	-20	226	72	108	180	610	-2	608
180°	-13	546	533	-158	462	304	-4	2.782	2.778	-331	1.493	1.162
270°	147	486	633	191	440	631	102	3.004	3.106	597	1.672	2.269

Tabla 77 – Variación grados-hora año fuera del rango de confort entre orientaciones.

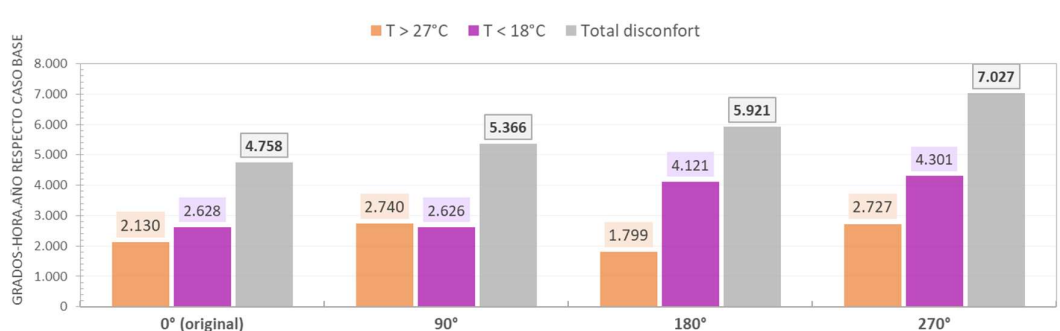


Figura 31 – Grados-hora.año fuera del rango de confort – SALTO.

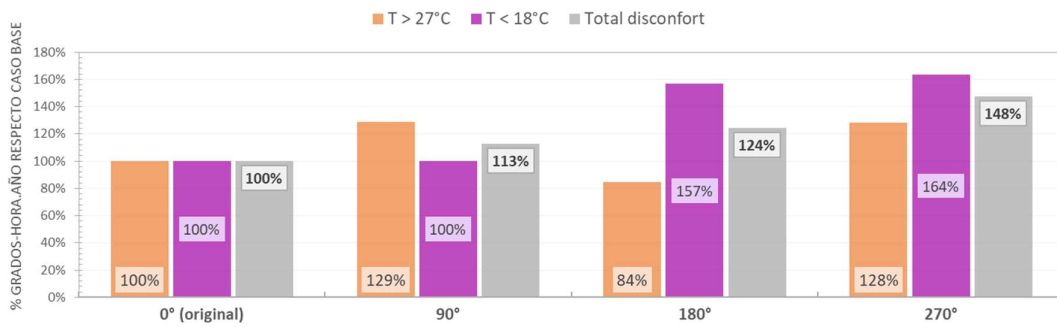


Figura 32 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – SALTO.

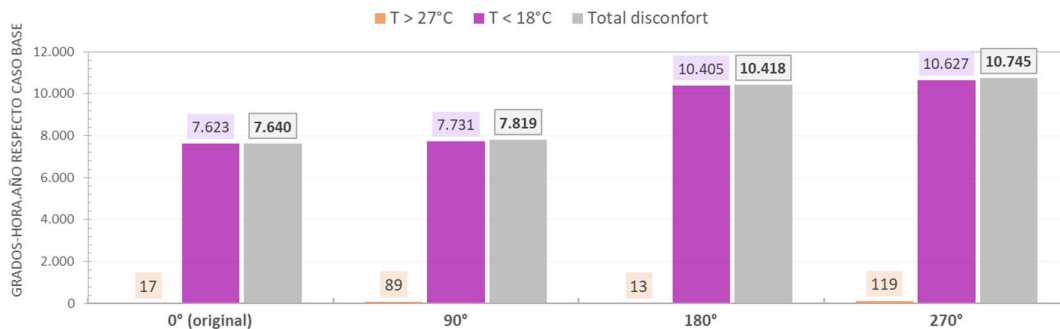


Figura 33 – Grados-hora.año fuera del rango de confort – MONTEVIDEO.

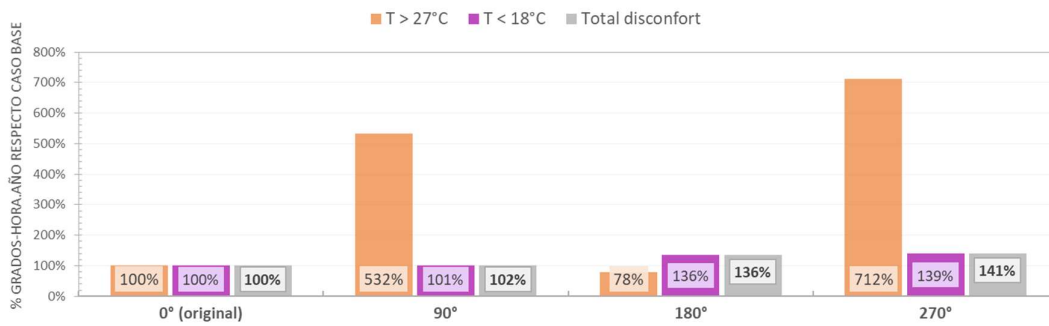


Figura 34 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – MONTEVIDEO.

Conclusiones primarias

A continuación se destacan las conclusiones más importantes de los resultados presentados, conclusiones válidas tanto para Montevideo como para Salto. Salvo se indique lo contrario, los valores mencionados toman siempre como medida de referencia los grados-hora de confort.

- La orientación más desfavorable, es decir, aquella que presenta mayor discomfort térmico, resulta la **orientación 270°**. Para esta orientación, el discomfort anual aumenta en ambos casos (Montevideo y Salto) más del 40% (**41%** y **48%** respectivamente).
- De las cuatro orientaciones estudiadas, la **orientación original (0°)** es la que presenta un mejor confort anual.
- De menor a mayor discomfort (anual), pueden ordenarse las orientaciones estudiadas de la siguiente forma: 0°, 90°, 180° y 270°.

- La **orientación 90°** prácticamente no ve afectado su confort por bajas temperaturas respecto a la orientación original (variación menor al 1% en ambos casos). A pesar de que considerando el análisis global anual esta orientación presenta un confort considerablemente mayor que la orientación más desfavorable (variación mayor al 35% para ambos emplazamientos), puede observarse como el confort en el período caluroso de la orientación 90° se asemeja al de la orientación 270° (variación máxima de 30 grados-hora en todo el período).
- La **orientación 180°** es la única que presenta una mejora en el confort, en el período caluroso, obteniéndose reducciones de confort por temperaturas mayores a los 27 °C del orden del 20% respecto a la orientación original.

Análisis de resultados:

Para el análisis e interpretación de los resultados obtenidos es importante comprender cuáles son los parámetros que se ven afectados al variar la orientación del modelo estudiado.

Al modificar solamente la orientación – no así ninguno de los otros supuestos – lo que se ve afectado fundamentalmente son las áreas de fachada expuestas para cada punto cardinal, según cómo se oriente la vivienda. Es importante discriminar, a su vez, las áreas opacas de muros y aberturas de cada fachada puesto que la carga térmica por radiación solar será mayor o menor en función del tipo y orientación de la superficie considerada

Es importante destacar que, al rotar la vivienda también podrían verse afectados los valores de ventilación producto de la apertura de ventanas y puertas, en función de la dirección del viento y la ubicación de dichas aberturas. En este estudio en particular, la herramienta de simulación que se utiliza para crear y estudiar el modelo no permite correlacionar estas variables, pudiendo solamente establecerse la ventilación como un parámetro de entrada, independiente de la orientación, tal como fuese descrito previamente en el *Capítulo 3 - Metodología*. Por ello, para este estudio teórico en particular no se considera la variación de la ventilación en función de la orientación.

A su vez, el modelo de Walker & Wilson utilizado para el cálculo de infiltraciones en este estudio (tal como se detalló previamente en el *Capítulo 3*) solamente considera la velocidad del viento, no así la dirección del mismo, por lo que tampoco deberían variar estos valores por la orientación. En caso de presentarse pequeñas diferencias en las infiltraciones, las mismas pueden deberse al efecto de chimenea (ya que el flujo depende de las diferencias de temperaturas interior-exterior), y a que el valor de las infiltraciones depende de la temperatura interior, no solamente del flujo de aire.

Es decir que, en definitiva, el único aspecto que cambia con la orientación, en estas simulaciones, es el efecto de la radiación solar, haciendo que el mayor impacto del análisis de esta sección en particular esté dado por los cambios de áreas expuestas según cada orientación.

Se presenta para el análisis un cuadro con las áreas de envolvente por cada fachada – discriminando entre áreas opacas y acristalamientos – indicando la orientación de cada fachada para los cuatro casos estudiados. También resulta de interés hacer la distinción entre aquellas áreas de aberturas que cuentan con elementos de protección (que para el caso base son las ventanas de dormitorios AM01) y aquellas que no, dado que la radiación tendrá mayor incidencia en aquellas aberturas que no presenten persianas.

También es importante mencionar que estas últimas, si bien no tienen la protección de persianas, sí se encuentra bajo un alero, lo cual afecta la radiación solar directa incidente, sobre todo en horas cercanas al mediodía en verano

Orientación:				m2 por fachada:					
0°	90°	180°	270°	Total envolvente:	muro exterior	Total ventanas	ventanas CON protección	ventanas SIN protección	Puertas
N	E	S	O	21,81	16,34	5,47	1,73	3,74	
E	S	O	N	22,95	22,95			-	
S	O	N	E	21,49	17,38	2,26		2,26	1,85
O	N	E	S	18,18	14,73	3,45	3,45	-	
Total m2:				84,42	71,40	11,18	5,18	6,00	1,85

Tabla 78 – Áreas de envolvente por fachada en función de la orientación, según se observa en Figura 30.

Los datos del cuadro resumen ayudan a explicar las conclusiones iniciales listadas anteriormente.

- Se observa que el mayor **disconfort por bajas temperaturas** se presenta para el caso en que la fachada ciega (sin ventanas) apunta al norte, que es la orientación de 270°. Esto es debido a que la fachada norte presenta mayor carga por radiación, y los acristalamientos permiten un mayor ingreso de radiación que los muros (opacos).
- En lo que refiere al **confort durante el período caluroso**, tanto la orientación 90° como la 270° presentan un mayor disconfort respecto al caso base. Estas dos orientaciones son las únicas que presentan superficies vidriadas sin protección en la fachada este, donde hay carga por radiación en la mañana. En el caso base, por el contrario, la fachada este es ciega, por lo que la radiación directa en ventanas recién comienza sobre el mediodía. A su vez el caso base presenta ventanas con protección al oeste mientras que las orientaciones 90° y 270° no tienen protecciones en los acristalamientos al oeste, donde hay carga por radiación en la tarde.

Un detalle no menor a mencionar es que si bien el ventanal del living (que da al norte en el caso base) no tiene protección por persiana, sí tiene un alero. Esto hace que la incidencia de la radiación solar directa, en las horas en que el sol está más sobre la vertical (alrededor del mediodía) se bloquee, al menos parcialmente. Este es un aspecto muy importante pues incide directamente en los resultados; sería de esperar que en caso de no contar con dicho alero, la orientación del caso base presentaría un aumento significativo del disconfort

en el período caluroso, pues contaría con 3.74 m² apuntando al norte, es decir, totalmente expuestos durante la mayor parte del día.

Como se mencionó, algunas de las ventanas cuentan con elementos de protección, y estos juegan un papel importante en cómo incide la radiación sobre dichas aberturas, lo que se refleja claramente en el confort interior. Es por ello que se deja para profundizar más sobre el efecto de la orientación de las aberturas en el siguiente apartado (4.3.2) donde se puede ver cómo resulta el confort interior de cada una de las orientaciones propuestas pero sin la activación de las persianas. De esta forma podrá analizarse por separado el efecto de orientación de aberturas y el de los elementos de protección correspondientes.

4.3.2 Orientaciones 0°, 90°, 180° y 270° - Análisis de sensibilidad

Tomando como base el análisis de sensibilidad realizado en la *Sección 4.2*, se seleccionan algunos de los escenarios estudiados para los casos base de orientación original, para proceder aquí a analizar cómo afectan los mismos al confort de la vivienda en función de la orientación de ésta. Se eligieron sólo aquellas variables que se entiende pueden verse afectadas directamente y/o que interesa ver su impacto puntual al cambiar la orientación asignada para la vivienda de estudio. Se priorizaron aquellas sobre las que se entiende puede actuarse para proponer mejoras por sobre escenarios que dependen de factores externos a la vivienda (velocidades de viento, características terreno, ocupación). Las variables seleccionadas para este análisis son: transmitancia de fachada, transmitancia de cubierta y activación de persianas.

Es importante mencionar que el fin de este breve análisis de sensibilidad es poder evaluar si los comportamientos observados y conclusiones arribadas en el análisis de sensibilidad realizado para la orientación original (*Sección 4.2*) son válidos también para las demás orientaciones o si se presenta alguna singularidad en particular.

Presentación de resultados y análisis

Se presentan a continuación los resultados del análisis de sensibilidad realizado para las cuatro orientaciones estudiadas – tanto para Montevideo como para Salto – correspondiente a los escenarios seleccionados antes mencionados. Los valores que se presentan en las tablas a continuación corresponden – para cada orientación de estudio – a los porcentajes de grados-hora de discomfort anuales respecto al caso base de la orientación correspondiente.

GRADOS-HORA al AÑO			Salto - 0°			Salto - 90°			Salto - 180°			Salto - 270°		
<i>FUERA DEL RANGO DE CONFORT</i>														
Escenario	valor	T > 27°C	T < 18°C	Total	T > 27°C	T < 18°C	Total	T > 27°C	T < 18°C	Total	T > 27°C	T < 18°C	Total	
		% grados-hora.año			% grados-hora.año			% grados-hora.año			% grados-hora.año			
Caso base	Caso base	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
d.1)	Transmitancia fachada	50%	94%	74%	83%	99%	74%	87%	91%	84%	86%	98%	86%	90%
d.2)		200%	113%	148%	132%	105%	147%	126%	118%	127%	125%	106%	124%	117%
e.1)	Transmitancia cubierta	50%	82%	75%	78%	86%	76%	81%	79%	83%	82%	85%	84%	85%
e.2)		200%	142%	150%	146%	132%	147%	139%	148%	130%	135%	131%	129%	130%
g.1)	Activación persianas	ON	85%	168%	131%	88%	188%	137%	95%	126%	117%	95%	122%	111%
g.2)		OFF	225%	111%	162%	170%	111%	141%	197%	107%	135%	170%	108%	132%

Tabla 79 – Porcentaje de grados-hora de disconfort anual respecto al caso base – Salto.

GRADOS-HORA al AÑO			Montevideo - 0°			Montevideo - 90°			Montevideo - 180°			Montevideo - 270°		
<i>FUERA DEL RANGO DE CONFORT</i>														
Escenario	valor	T > 27°C	T < 18°C	Total	T > 27°C	T < 18°C	Total	T > 27°C	T < 18°C	Total	T > 27°C	T < 18°C	Total	
		% grados-hora.año			% grados-hora.año			% grados-hora.año			% grados-hora.año			
Caso base	Caso base	-	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Transmitancia fachada	50%	64%	85%	85%	88%	86%	86%	61%	92%	91%	89%	92%	92%	
	200%	243%	124%	124%	137%	123%	123%	262%	113%	113%	135%	112%	112%	
Transmitancia cubierta	50%	11%	85%	85%	34%	86%	86%	8%	91%	90%	45%	91%	90%	
	200%	893%	125%	127%	352%	124%	126%	969%	116%	117%	290%	116%	118%	
Activación persianas	ON	100%	146%	146%	100%	154%	153%	100%	119%	119%	100%	116%	116%	
	OFF	4325%	106%	115%	775%	106%	113%	2281%	104%	107%	588%	105%	110%	

Tabla 80 - Porcentaje de grados-hora de disconfort anual respecto al caso base – Montevideo.

Escenario: Transmitancia muros fachada y Transmitancia Cubierta

En lo que se refiere al comportamiento de la vivienda frente al cambio de transmitancias de la envolvente, se genera un comportamiento similar para ambas localidades, tanto para el cambio de transmitancia de los muros de la fachada como de la cubierta. Esto que ocurría ya para la orientación original, se mantiene para todas las demás orientaciones.

Considerando el **confort global anual** de la vivienda, resulta más sensible frente a los cambios de transmitancia el caso de la orientación original (0°). Esto se da manteniéndose siempre mayor – ante iguales variaciones porcentuales de transmitancia – la variación de confort ante el cambio de la cubierta que de la fachada.

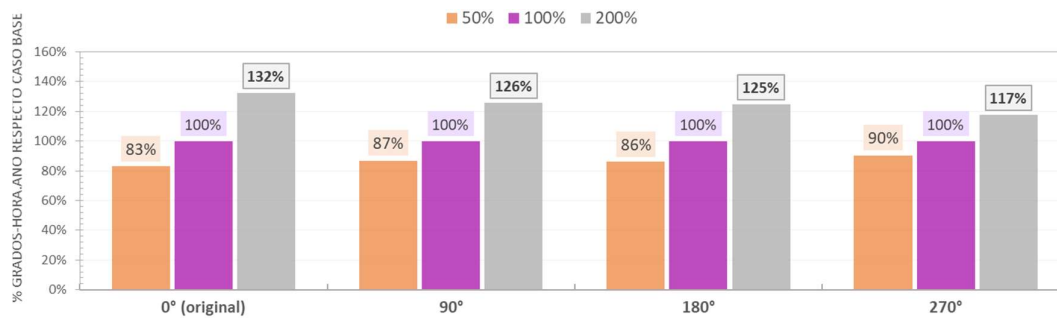


Figura 35 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia fachada – Salto

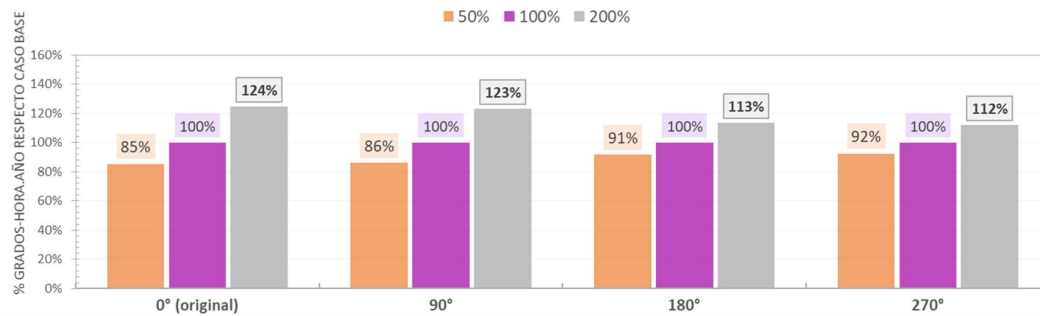


Figura 36 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia fachada – Mdeo.

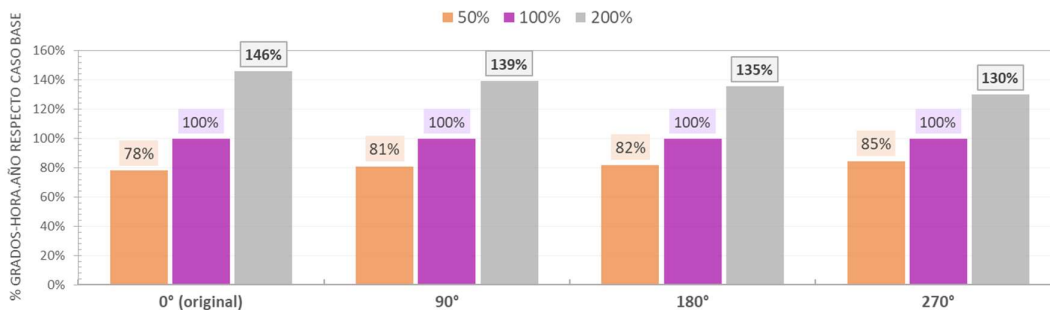


Figura 37 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia cubierta – Salto

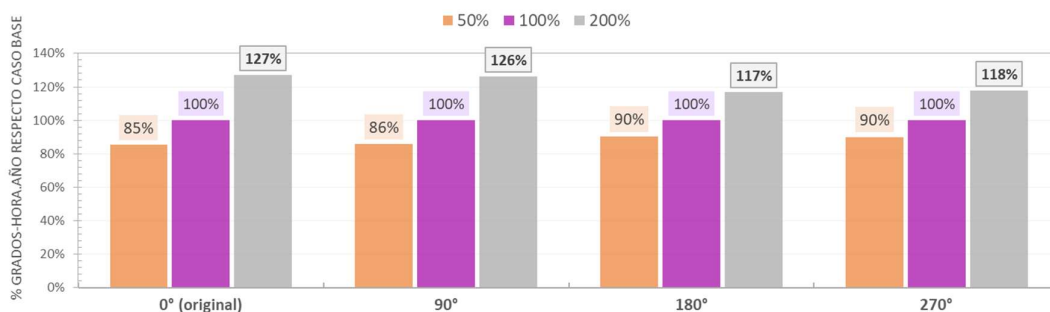


Figura 38 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Transmitancia cubierta – Mdeo.

En cuanto al confort durante el **período caluroso**, la orientación más sensible resulta la de 180° y las menos sensibles la de 90° y 270°.

Para el **período frío**, presentan comportamientos muy similares entre sí las orientaciones 0° y 90° por un lado, y las orientaciones 180° y 270° por otro, siendo las primeras dos que presentan mayores sensibilidades.

Se destaca que para todos los casos, la línea de comportamientos es la misma tanto para Salto como para Montevideo, y la misma para cambios de transmitancia de fachada y de cubierta.

Se valida para todas las orientaciones las siguientes dos observaciones realizadas en la *Sección 4.2*:

- para el caso de desconfort por temperaturas por debajo del rango de confort ($T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$), la vivienda es prácticamente igual de sensible ante la variación de transmitancia ya sea de fachada o de cubierta, para ambas localidades estudiadas.
- Por el contrario, para el caso de desconfort producto de temperaturas superiores al rango de confort, las viviendas no presentan la misma sensibilidad ante cambios de transmitancia de cubierta y cambios de transmitancia de fachada

Escenario: Activación persianas

Como se ilustra en los gráficos a continuación, en forma complementaria a la tabla resumen ya presentada, ambos escenarios extremos (persianas las 24 hs abiertas/activas o las 24 hs cerradas) son menos favorables que el caso de referencia. Esto que ocurría ya para el caso de la orientación original, se valida para el resto de las orientaciones estudiadas, en ambas localidades.

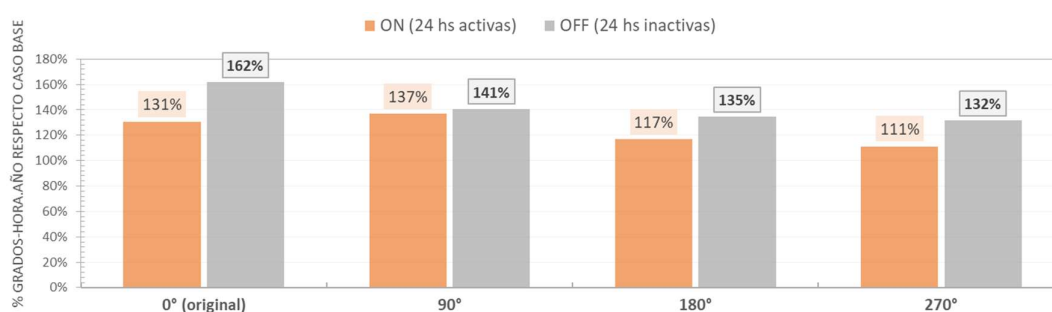


Figura 39 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Activación persianas – Salto.

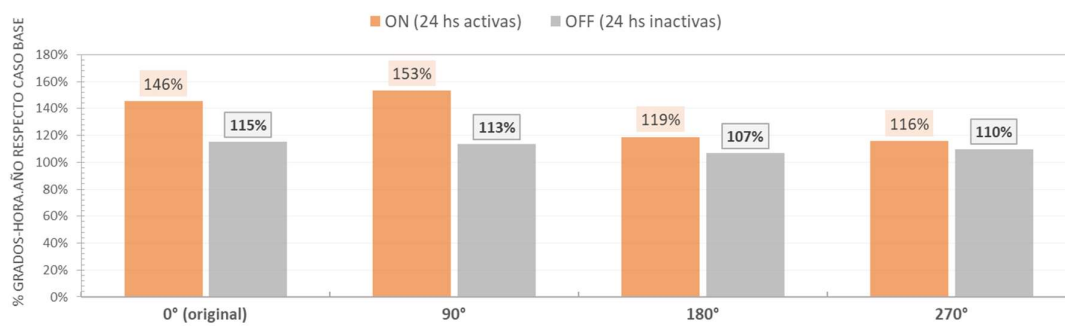


Figura 40 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Activación persianas – Montevideo.

Sigue pudiéndose destacar la importancia que tiene el perfil de uso de las persianas en el confort de la vivienda, lo que amerita considerar esta estrategia para la evaluación de mejoras en la vivienda, no solo para la orientación original sino también en todos los casos.

De todas formas – y a diferencia de lo que ocurría con los cambios de transmitancia y cubierta ya descritos – los escenarios de activación de persianas sí presentan una alta variabilidad de sensibilidad según la orientación, lo cual es de esperar dado que está fuertemente ligada a la radiación solar. Se observa claramente cómo la mayor sensibilidad frente a activar o no las persianas se da para las orientaciones 0° y 90°, donde se llega incluso a superar el 50% de discomfort respecto a sus respectivos casos base en ambas orientaciones (162% para el escenario de persianas inactivas las 24 hs en Salto para la orientación original y 153% para el escenario de persianas activas las 24 hs en Montevideo para la orientación 90°).

La sensibilidad disminuye en gran medida para las otras dos orientaciones (180° y 270°) donde se registra un pico de 35% de aumento de discomfort para el caso de Salto y tan solo un 19% para el caso de Montevideo.

Estas observaciones resultan de interés pues ocurre que el mayor aumento de discomfort frente al uso o no de persianas se da para las dos orientaciones más favorables en cuanto a confort de las cuatro orientaciones estudiadas (0° y 90°). Desde otra perspectiva, las orientaciones más desfavorables en cuanto a confort (180° y 270°), son las que resultan menos sensibles frente a un uso más o menos óptimo de los elementos de protección en ventana. Éstas últimas dos orientaciones tienen una ventana con protección mirando al sur, lo cual implica una menor efectividad de la protección ante la radiación.

Esto hace que la diferencia de confort de la vivienda según su orientación pueda ser mayor o menor en función del perfil de uso que tenga el usuario de la vivienda para las persianas. Por lo expuesto hasta el momento, se espera que un perfil de uso más óptimo de las persianas genere una mayor dispersión en los resultados de confort entre las distintas orientaciones de viviendas estudiadas; diferencia relativa que puede verse reducida frente a perfiles de uso no tan eficientes.

Complemento de análisis de comportamientos registrados en *sub-sección 4.3.1*

En la primera parte de este apartado (*sub-sección 4.3.1*) se hizo mención a que el mayor discomfort por bajas temperaturas se presenta para el caso en que la fachada ciega (sin ventanas) apunta al norte (orientación 270°). Bajo ese mismo razonamiento podría esperarse, por contraposición, que el mayor discomfort producto de altas temperaturas se diera para el caso en que la fachada con mayor área de aberturas apunta al norte, fachada que recibe mayor radiación solar directa (orientación 0°). Sin embargo no ocurría esto, sino que el mayor discomfort se registró en las orientaciones 90° y 270°.

Habiendo realizado ahora el análisis de sensibilidad, se cuenta con la simulación para las cuatro orientaciones de estudio sin activación de persianas, lo que permite observar el comportamiento de los acristalamientos sin incluir elementos de protección que puedan interferir.

Como se muestra a continuación, al no activar elementos de protección en ninguno de los acristalamientos, sí se da lo que era de esperarse: el mayor discomfort producto de altas temperaturas se produce para la

orientación 0°, con la fachada con mayor área de aberturas apuntando al norte (orientación 0°). A su vez, tal como se comentó anteriormente, el comportamiento de la orientación 0° probablemente sería aún peor si el ventanal orientado al norte no estuviera bajo un alero.

PERSIANAS NO ACTIVAS	HORAS AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	Montevideo			Salto		
Orientación	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	horas.año	%	horas.año	%	horas.año	%
0° (original)	585	100%	2.889	100%	3.474	100%
90°	591	101%	2.865	99%	3.456	99%
180°	369	63%	3.403	118%	3.772	109%
270°	565	97%	3.368	117%	3.933	113%

Orientación	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	horas.año	%	horas.año	%	horas.año	%
0° (original)	1.966	100%	1.508	100%	3.474	100%
90°	2.039	104%	1.498	99%	3.537	102%
180°	1.650	84%	1.963	130%	3.613	104%
270°	1.869	95%	1.949	129%	3.818	110%

Orientación	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%
0° (original)	720	100%	8.096	100%	8.816	100%
90°	687	95%	8.179	101%	8.866	101%
180°	297	41%	10.852	134%	11.148	126%
270°	696	97%	11.122	137%	11.819	134%

Orientación	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%	°C-hs.año	%
0° (original)	4.783	100%	2.908	100%	7.690	100%
90°	4.651	97%	2.904	100%	7.555	98%
180°	3.544	74%	4.429	152%	7.974	104%
270°	4.634	97%	4.633	159%	9.266	120%

Tabla 81 – Disconfort para las distintas orientaciones con persianas inactivas.

Otras observaciones adicionales a destacar de este análisis sin acción de persianas:

- La orientación más desfavorable continúa siendo la orientación 270°, aunque el aumento porcentual de disconfort respecto a la orientación original se reduce en forma no menor respecto a lo que ocurría con el escenario base: 34% en lugar de 41% para el caso de Montevideo y 20% en lugar de 48% para Salto. Esto debido a que ahora el mayor disconfort por temperaturas por encima del rango de confort se produce para la orientación original, contrarrestando en el global el mayor disconfort en el período frío de las demás orientaciones respecto a la 0°. La mayor diferencia respecto a la comparativa análoga de casos base se da para Salto (donde la diferencia entre la orientación 0° y la más desfavorable se reduce en 28 puntos porcentuales) pues en el caso de Montevideo el disconfort del período caluroso es considerablemente inferior y pesa mucho menos en el global (tal como se mencionara en secciones anteriores, representa menos del 1% del disconfort total anual).
- Así como se mantiene como orientación más desfavorable la orientación 270°, ahora la orientación 90° presenta un confort más similar al de la orientación original, ocurriendo que para Salto la orientación más favorable pase a ser la orientación 90° en lugar de la 0° como en los casos anteriores.

4.3.3 Evaluación cambio de fachada para ventanas dormitorios

Actualmente la institución que construye estas viviendas de estudio (MEVIR), al implantar las viviendas en un plan implementa como buena práctica colocar las aberturas de los dormitorios en esquina evitando la orientación sur y priorizando la orientación norte. Es por esto que en esta sub-sección se incorpora al análisis esta consideración adicional. Es decir, se simulan los casos base para las cuatro orientaciones de estudio, pero modificando a su vez – según corresponda en cada caso – la ubicación en la fachada de las ventanas de los dormitorios colocándolas siempre que se pueda en la fachada que apunta al norte y evitando colocarlas en la fachada que apunta al sur.

Una vez simulados estos cuatro casos, se comparan con los respectivos casos base de la orientación correspondiente, resultados que se muestran en las tablas a continuación, donde el 100% corresponde al valor del caso base de cada orientación específica.

Presentación de resultados

Cabe mencionar que para la orientación original (0°) no se presenta una comparativa entre el escenario *caso base* y el escenario *ajuste ventanas AM01* dado que para esta orientación el caso base ya tiene incorporada la premisa de priorizar la fachada norte y evitar la fachada sur.

<u>HORAS al AÑO</u>							<u>GRADOS-HORA al AÑO</u>					
FUERA DEL RANGO DE CONFORT							FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
Salto 90°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
caso base	1.492	100%	1.447	100%	2.939	100%	2.740	100%	2.626	100%	5.366	100%
ajuste AM01	1.508	101%	1.283	89%	2.791	95%	2.824	103%	2.180	83%	5.004	93,3%

Salto 180°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
caso base	1.088	100%	1.929	100%	3.017	100%	1.799	100%	4.121	100%	5.921	100%
ajuste AM01	1.153	106%	1.681	87%	2.834	94%	1.901	106%	3.254	79%	5.155	87,1%

Salto 270°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
caso base	1.437	100%	1.907	100%	3.344	100%	2.727	100%	4.301	100%	7.027	100%
ajuste AM01	1.475	103%	1.849	97%	3.324	99%	2.793	102%	4.069	95%	6.861	97,6%

Tabla 82 - Resultados para la localidad de Salto.

<u>HORAS al AÑO</u>						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u>						
FUERA DEL RANGO DE CONFORT						FUERA DEL RANGO DE CONFORT						
Mdeo. 90°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
Escenario												
caso base	168	100%	2.793	100%	2.961	100%	89	100%	7.731	100%	7.819	100%
ajuste AM01	165	98%	2.586	93%	2.751	93%	89	100%	6.827	88%	6.916	88,4%

Mdeo. 180°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
Escenario												
caso base	37	100%	3.361	100%	3.398	100%	13	100%	10.405	100%	10.418	100%
ajuste AM01	40	108%	3.094	92%	3.134	92%	14	106%	8.886	85%	8.900	85,4%

Mdeo 270°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
Escenario												
caso base	197	100%	3.301	100%	3.498	100%	119	100%	10.627	100%	10.745	100%
ajuste AM01	202	103%	3.225	98%	3.427	98%	122	103%	10.240	96%	10.362	96,4%

Tabla 83 - Resultados para la localidad de Montevideo.

Análisis de resultados

En primer lugar se destaca que ambas localidades presentan comportamientos y tendencia de resultados similares, donde para las tres orientaciones con escenarios de ajuste de ventanas (90°, 180° y 270°), el cambio de fachadas de aberturas realizado resulta efectivamente en una **mejora del confort** de la vivienda, que va **desde un 2.6%** (para el caso de Salto 270°) **hasta un 14.6%** (para el caso de Montevideo 180°), medido en grados-hora anuales de discomfort.

Para ambos emplazamientos ocurre que:

- la orientación que presenta una mayor reducción del discomfort frente a la reubicación en fachada de aberturas de dormitorios es la orientación 180°, con reducciones de 12.9% y 14.6% para Salto y Montevideo respectivamente. Esto es coherente dado que esta es la única orientación donde se realiza más de una mejora: se evita una ventana que daba al sur y además se agrega otra al norte (2 mejoras); no quedando ninguna abertura apuntando hacia el sur.
- la orientación que presenta una menor reducción del discomfort de las tres optimizadas con este ajuste es la orientación 270°, con reducciones de 2.4% (Salto) y 3.6% (Montevideo). Esto también es coherente dado que para esta orientación se realiza un único cambio que mejora pero sólo modifica una ventana del sur al este, sin incorporar ninguna abertura en la fachada norte y manteniendo una de las ventanas de los dormitorios hacia el sur.
- para el caso intermedio (orientación 90°) se realiza un único cambio de ventana – al igual que para la orientación 270° – con la diferencia de que este cambio sí agrega una ventana más en la fachada norte,

y por ello se genera una mayor reducción porcentual del discomfort comparado con la del caso de orientación 270°.

Otro análisis que resulta interesante realizar, es evaluar cómo se ve modificada la comparativa realizada en primera parte de este apartado (*sub-sección 4.3.1*) si en lugar de comparar los casos base sólo modificando la orientación, se toman para cada orientación los casos base con la consideración adicional de re-ubicar las ventanas de dormitorios de acuerdo a los criterios ya establecidos.

A continuación se presentan para cada localidad esta nueva comparativa y – a modo de referencia – la comparativa original de partida.

Localidad de Salto

Comparativa original casos bases												
Salto	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT				GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT							
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Orientación	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
0° (original)	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
90°	1.492	120%	1.447	99%	2.939	108%	2.740	129%	2.626	100%	5.366	113%
180°	1.088	87%	1.929	131%	3.017	111%	1.799	84%	4.121	157%	5.921	124%
270°	1.437	115%	1.907	130%	3.344	123%	2.727	128%	4.301	164%	7.027	148%

Tabla 84 – Comparativa original casos base – Salto.

Comparativa con ajuste óptimo fachada aberturas dormitorios												
Salto	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT				GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT							
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Orientación	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
0° (original)	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
90°	1.508	121%	1.283	87%	2.791	103%	2.824	133%	2.180	83%	5.004	105%
180°	1.153	93%	1.681	115%	2.834	104%	1.901	89%	3.254	124%	5.155	108%
270°	1.475	118%	1.849	126%	3.324	123%	2.793	131%	4.069	155%	6.861	144%

Tabla 85 – Comparativa con ajuste ubicación aberturas AM01 – Salto.

Tanto para la orientación 90° como 180° – orientaciones para las que se habían observado las mayores reducciones de discomfort con el cambio de ubicación de las aberturas – se reduce la brecha porcentual respecto a la orientación original en más de la mitad (de 13% pasa a 5% y de 24% a tan solo 8%). Para la orientación 270°, la reducción es considerablemente menor: de 48% pasa a 44%.

Se observa que en los tres casos, la reducción de discomfort viene dada por la mejora de confort en el período frío, no presentándose mejoras en ninguno de los casos para el período caluroso (T>27 °C).

Puede decirse que a pesar de que para todos los casos se reduce la diferencia respecto a la orientación original, la orientación con mejor situación de confort continúa siendo la orientación original (0°), y la orientación más desfavorable (270°) sigue presentando importantes diferencias respecto a la orientación 0°.

Localidad de Montevideo

Comparativa original casos bases												
Montevideo	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT						
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
Orientación	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
0° (original)	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%
90°	168	336%	2.793	99%	2.961	103%	89	532%	7.731	101%	7.819	102%
180°	37	74%	3.361	119%	3.398	119%	13	78%	10.405	136%	10.418	136%
270°	197	394%	3.301	117%	3.498	122%	119	712%	10.627	139%	10.745	141%

Tabla 86 – Comparativa original casos base – Montevideo.

Comparativa con ajuste óptimo fachada aberturas dormitorios												
Montevideo	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT						
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
Orientación	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
0° (original)	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%
90°	165	330%	2.586	92%	2.751	96%	89	533%	6.827	90%	6.916	91%
180°	40	80%	3.094	110%	3.134	109%	14	83%	8.886	117%	8.900	116%
270°	202	404%	3.225	115%	3.427	120%	122	732%	10.240	134%	10.362	136%

Tabla 87 - Comparativa con ajuste ubicación aberturas – Montevideo.

Ocurre un comportamiento similar al de la localidad de Salto, donde para las tres orientaciones se reduce la diferencia respecto a la orientación original, siendo la reducción más pronunciada la de la orientación de 180°, que se reduce en 20 puntos porcentuales (de 136% a 116% respecto a la orientación 0°, medido en grados-hora al año).

Se observa que en los tres casos de orientación, la reducción porcentual de esta segunda comparativa respecto a la primera es mayor que en el caso de Salto. Esto se debe a que – como bien fue observado – la reducción de disconfort viene dada por la mejora de confort en el período frío, que para el caso de Montevideo es mucho más significativo que para Salto (representa más del 99% del disconfort total de la localidad, mientras que para Salto el disconfort producto de bajas temperaturas no llega al 50% del disconfort total).

Para la localidad de Montevideo, también sigue manteniéndose la orientación 270° como la más desfavorable de las cuatro, aunque la diferencia está en que, bajo la condición planteada en esta sub-sección

de reubicar las ventanas de dormitorios, la orientación más favorable pasa ahora a ser la orientación 90° , con una reducción de discomfort respecto a la orientación original de casi 10 puntos porcentuales.

Nuevamente, la orientación más desfavorable (270°) sigue presentando grandes diferencias respecto a la orientación 0° , y un 50% por encima del discomfort de la orientación más favorable de 90° (10.362 vs. 6.916 grados-hora al año de discomfort).

Capítulo 5. Propuestas de mejoras

En este capítulo se evaluarán mejoras para los casos base de ambos emplazamientos, así como también para los casos base con orientación más desfavorable (orientación con ventanal del living al oeste, en función de lo presentado en la *sección 4.3*).

Las mejoras propuestas se basan en los resultados obtenidos a partir de los análisis de sensibilidad expuestos previamente en la *sección 4.2* y serán realizadas en forma simultánea.

Las posibles mejoras en cada emplazamiento se evaluarán en forma independiente por considerar que los dos emplazamientos considerados en este estudio afectan en forma distinta el confort resultante de la misma vivienda, y por tanto han de presentarse medidas distintas para atacar las problemáticas particulares de cada caso. Lo mismo aplica para las orientaciones más extremas (caso base con ventanal al norte y opción con orientación oeste).

5.1 Mejoras para caso base en Salto (S.1)

En primer lugar las mejoras a realizarse apuntan a optimizar las hipótesis consideradas para el modelo del caso base, en función de los resultados obtenidos y analizados en la sección anterior. Estas mejoras involucran dos de los parámetros considerados en el análisis de sensibilidad presentado: elementos de protección en ventanas (persianas) y ventilación. Se apunta a optimizar los perfiles de uso considerados de forma de mejorar el confort resultante en la vivienda (medidas *S.1.1* y *S.2*).

En segundo lugar se propondrán medidas de mejoras en el diseño de la vivienda, ya sea incorporando nuevos elementos (conjunto de medidas *S.3.i*) como también proponiendo variantes a nivel constructivo (*S.4*).

S.1.1 _ Ajuste de uso en persianas existentes (dormitorios)

Como puede observarse en el cuadro a continuación, para el caso base de Salto (S.1) la vivienda presenta un mayor desconfort en octubre que en noviembre, a pesar de que en octubre las temperaturas exteriores son menos extremas que en noviembre (por ejemplo: temperatura exterior máxima en octubre es 31,2 °C y a en noviembre 36,6 °C).

Mes	Temp. Exterior			Temp. Interior			n° hs	n° hs	°C	°C
	máx	mín	media	máx	mín	media	>27°C	<18°C	>27°C	<18°C
Setiembre	28,1	4,1	15,9	27,8	13,4	20,8	3	152	2	256
Octubre	31,2	8,2	19,6	31,5	18,1	23,9	113	-	147	-
Noviembre	36,6	4,6	20,9	30,1	17,3	23,7	56	10	58	4
Diciembre	36,3	14,8	24,6	30,9	20,5	25,9	226	-	308	-

Tabla 88 – S.1 – Caso base Salto S.1 – desconfort octubre y noviembre.

Esto se explica pues en noviembre las persianas de los dormitorios están bajas todo el día²³ mientras que en octubre solo están bajas de 19 a 08 hs.

Basándose en las elevadas temperaturas y radiación que se registran en los meses de verano en la localidad de Salto, se había considerado la activación de las persianas durante todo el día durante los meses de verano, extendiendo dicho régimen también en los meses contiguos (noviembre y abril) que también presentan temperaturas exteriores muy elevadas. Para los meses restantes solo se activan de 19 a 08 hs²⁴.

Mes		Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Temp. Exterior (°C)	máx	40,3	36,4	34,5	31,5	31,9	23,3	29,4	32,7	28,1	31,2	36,6	36,3
	mín	13,6	11,5	12,7	6,6	4,7	- 0,1	- 2,1	0,2	4,1	8,2	4,6	14,8
	media	26,7	24,6	22,4	18,4	17,1	12,5	13,5	15,1	15,9	19,6	20,9	24,6

hs activación persianas	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
	24 hs	24 hs	24 hs	24 hs	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	24 hs	24 hs

Tabla 89 – Detalle por mes de temperaturas exteriores y horario de activación persianas S.1

En vista de los resultados de confort interior obtenidos para la vivienda en esos dos meses, se resuelve extender el régimen de activación de persianas de 24 hs también para el mes de octubre.

Esto genera una mejora sustancial en el confort interior del mes de octubre, reduciendo las horas con temperaturas mayores a 27 °C de 113 a 16 y los grados-hora por encima del rango de confort de 147 a 8.

escenario	Temp. Interior			n° hs	n° hs	°C	°C
	máx	mín	media	>27°C	<18°C	>27°C	<18°C
S.1	31,5	18,1	23,9	113	-	147	-
S.1.1	28,1	17,4	22,4	16	8	8	3

Tabla 90 – Confort interior Octubre S.1– S.1.1.

Los resultados anuales de dicha optimización se presentan en la tabla a continuación.

Salto	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT						GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.1	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
S.1.1	1.148	92%	1.482	101%	2.630	97%	1.991	93%	2.639	100%	4.630	97%

Tabla 91 - Confort interior S.1.1 vs S.1.

²³ Para las hipótesis del modelo base emplazado en Salto, el régimen de uso establecido para meses de verano con persianas activas las veinticuatro horas se aplicó desde el 01 de noviembre hasta el 30 de abril.

²⁴ Recordar – tal como se explicitó en el Capítulo 3 previamente – que a efectos de este trabajo sólo se consideró el efecto de las persianas a nivel térmico, no teniéndose en cuenta la iluminación (sección 3.2.2).

Se destaca que modificando solamente en el mes de octubre el perfil de activación de persianas, se genera una mejora de un **3%** anual en el total de desconfort de la vivienda (ya sea medido en horas o grados-hora).

Cabe mencionar que la mejora se produce solamente en el desconfort por temperaturas por encima del rango de confort (reducción del entorno del 7% anual), sin afectar en forma significativa el confort por temperaturas por debajo del rango del confort.

S.2 _ Ventilación adicional

Otra de las medidas de mejora que se propone para el modelo es incrementar el horario de ventilación de la vivienda. Esta medida apunta a lograr reducir la temperatura interior de la vivienda cuando esta se encuentra por encima del rango de confort y por encima de la temperatura exterior en ese momento.

Cabe recordar que para las hipótesis del modelo base se tomó como referencia para el perfil horario de ventilación natural lo establecido por la Normativa española (*Apéndice C.1 del Documento Básico HE Ahorro de energía* (Ministerio de Fomento, 2017)): ventilación de 01 a 08 hs durante los meses de verano.

Tomando como partida el caso S.1.1 se tiene que el desconfort por temperaturas por encima del rango de confort son 1.148 hs al año. El 78% de esas 1.148 hs de desconfort se da entre los meses de diciembre a febrero. A su vez, prácticamente la mitad de esas horas (556 hs) la temperatura interior es mayor que la temperatura exterior, como se muestra en el cuadro a continuación:

Mes	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
n° hs >27°C	456	216	30	22	52	-	-	72	3	16	55	226	1.148
% >27°C	40%	19%	3%	2%	5%			6%	0%	1%	5%	20%	100%
n° hs T.int>27°C y T.int>T.ext	233	98	8	11	39	-	-	59	3	4	19	92	566
% sobre hs >27°C	51%	45%	27%	50%	75%			82%	100%	25%	35%	41%	49%

Tabla 92 – Detalle desconfort por mes caso S.1.1.

Esto evidencia que puede lograrse una mejora importante si recurrimos a la estrategia de ventilación natural en dichas horas. Se considerará en estos casos incluir en la simulación ventilación natural (adicional a la nocturna), manteniendo como valor de ventilación las 4 renovaciones por hora, de acuerdo con el valor establecido por la norma de referencia antes mencionada para la ventilación nocturna.

La aplicación de la medida se centrará en los tres meses que concentran el 75% de esas 556 hs mencionadas: enero, febrero y diciembre.

Para lograr establecer el o los rangos horarios óptimos para aplicar la ventilación adicional se elabora el siguiente cuadro para los meses de aplicación de la medida, donde se discrimina hora a hora el número de veces que se dan en simultáneo las dos condiciones planteadas para establecer cuándo activar la ventilación:

- Temperatura interior por encima del rango de confort ($T_{int} > 27\text{ °C}$)
- Temperatura interior mayor a temperatura exterior ($T_{int} > T_{ext}$)

		Horas del día																								
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
		Enero																								
n°hs:		23	15	10	9	8	8	8	7	5	4	3	5	5	5	3	2	6	6	6	6	11	16	19	25	24
% mes		74%	48%	32%	29%	26%	26%	26%	23%	16%	13%	10%	16%	16%	16%	10%	6%	19%	19%	19%	35%	52%	61%	81%	77%	
		Febrero																								
n°hs:		11	3	3	2	2	2	2	1	1	0	0	1	1	3	3	2	2	2	3	7	11	12	13	11	
% mes		39%	11%	11%	7%	7%	7%	7%	4%	4%	0%	0%	4%	4%	11%	11%	7%	7%	7%	11%	25%	39%	43%	46%	39%	
		Diciembre																								
n°hs:		11	4	3	2	2	2	1	1	2	2	3	2	2	2	0	0	1	2	1	5	8	13	12	11	
% mes		35%	13%	10%	6%	6%	6%	3%	3%	6%	6%	10%	6%	6%	6%	0%	0%	3%	6%	3%	16%	26%	42%	39%	35%	

Tabla 93 - Resumen de n° de horas con $T_{int} > 27$ y $T_{int} > T_{ext}$ según rango horario – caso S.1.1

En base a la *Tabla 93* se establecen los posibles mejores rangos para accionar la ventilación y se resuelve probar mediante simulación computacional cuatro alternativas para cada mes, de forma de verificar el mejor rango a establecer.

Observando la tabla antes presentada – y partiendo de horas donde más del 50% de los días se cumplen las condiciones antes establecidas – se considera como mejores rangos horarios: de 19 a 08 hs, de 20 a 08 hs, de 20 a 09 hs y de 20 a 10 hs.

Se presentará a continuación para los meses seleccionados (enero, febrero y diciembre) los resultados de las simulaciones de estas cuatro alternativas, marcando en verde la alternativa con mejor confort.

Enero					Febrero					Diciembre				
inicio	fin	n° hs >27°C	°C >27°C	T.int > °C y T.int > T.ext	inicio	fin	n° hs >27°C	°C >27°C	T.int > °C y T.int > T.ext	inicio	fin	n° hs >27°C	°C >27°C	T.int > °C y T.int > T.ext
CASO BASE		456	1.133	233	CASO BASE		216	244	98	CASO BASE		226	308	92
19	8	404	1.017	188	19	8	181	201	66	19	8	187	265	62
20	8	404	1.006	188	20	8	176	195	65	20	8	186	257	61
20	9	403	997	187	20	9	172	190	64	20	9	184	253	58
20	10	400	1.000	183	20	10	173	192	63	20	10	185	255	57

Tabla 94 – Alternativas horario ventilación enero, febrero y diciembre_ Salto.

Resultados de mejora con ventilación adicional

Se adoptan los mejores casos seleccionados de la tabla anterior, resultando como recomendación adicional ventilación en horario de 20 a 09 hs para los meses de enero, febrero y diciembre.

Esto genera una mejora sustancial en el confort interior de esos meses, resultando en una optimización del orden del **5.5%** en el confort anual (medido en grados-hora), tal como se muestra en la tabla a continuación:

HORAS al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

GRADOS-HORA al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

Salto	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.1.1	1.148	100%	1.482	100%	2.630	100%	1.991	100%	2.639	100%	4.630	100%
S.2	1.008	88%	1.482	100%	2.490	95%	1.738	87%	2.639	100%	4.377	94,5%

Tabla 95 – Confort interior S.2 vs S.1.1.

S.3 _ Protecciones adicionales en ventanas

Tal como se demostró en el estudio de sensibilidad realizado y presentado en la *sección 4.2* anterior, el confort de la vivienda resultó altamente sensible frente al uso de persianas, mejorando considerablemente si se considera un perfil de uso que controle el ingreso de energía solar en verano (evitando así ganancias térmicas no deseadas) y que potencie la ganancia solar activa en invierno.

Se resuelve entonces plantear como mejora para la vivienda de estudio la incorporación de elementos de protección en las aberturas del living-comedor, análogos a los ya existentes en las aberturas de los dormitorios (persianas de iguales características a las descritas en el *Capítulo 3. Metodología*, e igual perfil de uso).

Se evalúa en primera instancia la incorporación por separado para la ventana por un lado (caso *S.3.1*) y para el ventanal principal por otro (caso *S.3.2*), para luego evaluar la mejora en conjunto (caso *S.3.3*).

A su vez, el agregado de protecciones para las aberturas implica cambiar la permeabilidad de las mismas. Estas serán ajustadas de acuerdo a los criterios y clasificaciones ya establecidos en las hipótesis del caso base (ver *Capítulo 3* para más detalle).

Ajuste de permeabilidad para abertura A7

Al incorporar persianas en la abertura A7, la misma clasifica ahora como *abertura chica de baja prestación con cajón de cortina*, pasando su permeabilidad de 45 m³/h.m² a 65 m³/h.m².

Ajuste de permeabilidad para abertura A20

Al incorporar persianas en el ventanal A20, clasifica ahora como *abertura grande de baja prestación con cajón de cortina*, pasando su permeabilidad de 38.5 m³/h.m² a 47.5 m³/h.m²²⁵.

De igual forma, es importante mencionar que las persianas también implican una mayor resistencia a la transferencia de calor a través de las ventanas, la cual es calculada por el programa en forma automática.

²⁵ Se asume para la permeabilidad de referencia para la categoría *abertura grande de baja prestación sin cajón de cortina* el valor promedio de muestras representativas del Informe de referencia, que resulta en el valor de 47.5 m³/h.m².

S.3.1 _ Incorporación de persianas en ventana living (A7)

Considerando los supuestos antes expuestos – y partiendo de la situación de mejora S.2 – la incorporación de persianas en la ventana del living produce una mejora del confort en la vivienda del orden del 6% anual, medido en grados-hora.

Salto	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.2	1.008	100%	1.482	100%	2.490	100%	1.738	100%	2.639	100%	4.377	100%
S.3.1	936	93%	1.457	98%	2.393	96%	1.570	90%	2.547	97%	4.117	94%

Tabla 96 – Confort interior S.3.1 vs S.2.

S.3.2 _ Incorporación de persianas en ventanal living (A20)

Considerando los supuestos antes expuestos – y partiendo de la situación de mejora S.2 – la incorporación de persianas en el ventanal del living produce una mejora del confort en la vivienda del orden del 11% anual, medido en grados-hora.

Salto	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.2	1.008	100%	1.482	100%	2.490	100%	1.738	100%	2.639	100%	4.377	100%
S.3.2	831	82%	1.478	100%	2.309	93%	1.388	80%	2.496	95%	3.884	89%

Tabla 97 – Confort interior S.3.2 vs S.2.

Como era de esperar, la incorporación de persianas en el ventanal del living produce una mejora en el confort de mayor magnitud que la incorporación de persianas en la ventana del mismo recinto, dado que – ante igual perfil de uso – el área del ventanal es mayor que la de la ventana. Más precisamente, el porcentaje de mejora en el confort producto de la incorporación de persianas en aberturas – para los dos casos presentados – resulta proporcional al área de la abertura: 6% de mejora para la ventana de área 1.80 m² y 11% de mejora para el ventanal de área 3.23 m².

Otro aspecto a tener en cuenta es que el ventanal da al norte y la ventana al sur, influyendo también en una reducción del discomfort más acentuada en el caso del ventanal.

S.3.3_ Incorporación en simultáneo de persianas en ventana y ventanal del living

Considerando los supuestos antes expuestos – y partiendo de la situación de mejora S.2 – la incorporación de persianas tanto en la ventana como en el ventanal del living produce una mejora del confort en la vivienda del orden del 16.4% anual (medido en grados-hora).

HORAS al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

GRADOS-HORA al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

Salto	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.2	1.008	100%	1.482	100%	2.490	100%	1.738	100%	2.639	100%	4.377	100%
S.3.3	750	74%	1.460	99%	2.210	89%	1.250	72%	2.408	91%	3.658	83,6%

Tabla 98 – Confort interior S.3.3 vs S2.

Resulta coherente que la mejora de incorporar persianas en ambas aberturas (S.3.3) sea mayor que las medidas por separado (S.3.1 y S.3.2).

S.3.4_ Evaluación del perfil de uso óptimo para persianas del living

Como primera alternativa de mejora se supuso aplicar para las nuevas persianas el mismo perfil de uso que el ya establecido para las persianas de los dormitorios. Tal como fuese demostrado en el análisis de sensibilidad realizado, dicho perfil resultaba notoriamente en un mayor confort que los escenarios extremos de 24 hs activo o inactivo.

Para el caso del análisis de persianas en el living, sin embargo, la exigencia de mantenerlas bajas en horario nocturno por un tema de oscuridad deja de ser mandatorio. Se plantea entonces evaluar distintos escenarios – sin esta limitante – para así determinar si cambiar o no el perfil supuesto en principio.

Mediantes distintas simulaciones se evalúa, fundamentalmente, el efecto de eliminar la activación nocturna de persianas durante los distintos meses del año (es decir, sólo mantenerlas bajas en horarios diurnos). Los resultados muestran que durante los meses más fríos del año este accionar genera un aumento del discomfort, respecto al perfil original, por temperaturas menores al rango de confort.

De las distintas simulaciones realizadas se concluye que el perfil de uso original se encuentra ya muy cerca del óptimo. Se propone como única mejora respecto al perfil original el cambiar el régimen de activación durante el mes de octubre, manteniendo para este mes la activación de persianas las 24 hs.

Por lo tanto, el perfil de uso optimizado resulta de la siguiente manera:

- Del 01 de mayo al 30 de setiembre: la persiana se mantiene baja en horario de 19 a 08 hs.
- Del 01 de octubre al 30 de abril : la persiana se mantiene baja las 24 hs

Se presenta finalmente a continuación, los resultados de confort interior para el perfil optimizado seleccionado, comparándolo como referencia con el perfil original propuesto (S.3.3)

HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT							GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
Salto	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.3.3	750	100%	1.460	100%	2.210	100%	1.250	100%	2.408	100%	3.658	100%
S.3.4	726	97%	1.468	101%	2.194	99%	1.222	98%	2.416	100%	3.638	99%

Tabla 99 – Confort interior S.3.4 vs S.3.3.

S.4 _ Cubierta con placa de poliestireno expandido

Tal como fuese expuesto previamente en el análisis de sensibilidad presentado, la reducción de la transmitancia de la cubierta genera una mejora no menor en el confort de la vivienda. De acuerdo a los resultados obtenidos en dicho análisis, una reducción del orden del 50% de la transmitancia de la solución de cubierta actual genera – para una vivienda emplazada en Salto – una reducción mayor al 20% en el discomfort anual (medido en grados-hora año).

Se propone como mejora – teniendo en cuenta los resultados mencionados – sustituir la solución actual de cubierta por una cubierta de placa de poliestireno expandido de espesor 10 cm, la cual presenta una transmitancia térmica de 0.33 W/(m².K). Esta mejora se aplicará partiendo ya del caso optimizado S.3.4.

Esta propuesta de mejora se sustenta tanto en su magnitud en la optimización del confort de la vivienda así como también en la viabilidad técnica y económica de aplicar esta nueva solución de cubierta para este tipo de viviendas, pensando también en el contexto de viviendas de interés social. A pesar de que en materiales resulta más cara que la solución actual de chapa con cielorraso de madera, se ahorra mucho tiempo y costo en mano de obra, no resultando un sobrecosto excesivo el cambio.

Como antecedente de su viabilidad técnica, se tiene que MEVIR ha experimentado ya con soluciones de cubierta de placa de poliestireno expandido de estas características en algunas de sus viviendas.

Los resultados anuales de la aplicación de esta mejora propuesta se presentan en la tabla a continuación, partiendo de la mejora anterior S.3.4 y comparando los resultados contra este punto de partida.

HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT							GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
Salto	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.3.4	726	100%	1.468	100%	2.194	100%	1.222	100%	2.416	100%	3.638	100%
S.4	590	81%	1.200	82%	1.790	82%	999	82%	1.741	72%	2.740	75%

Tabla 100 – Confort interior S.4 vs S.3.4.

Algo interesante a observar para esta medida – la cual se simuló para el análisis de sensibilidad en la sección 4.2 (Escenario e.1) – es que a pesar de partir de un marco en el cual el confort térmico fue optimizado respecto al caso base (el escenario S.3.4. presenta 1.120 grados-hora al año menos que el caso base (mejora de 23.5 % respecto a este caso), se estaría obteniendo por la sustitución de la cubierta una mejora porcentual

del mismo orden porcentual que la obtenida al sustituir la cubierta partiendo del caso base. Al sustituir la cubierta en el caso base de Salto, se genera una reducción del desconfort de 1.039 grados-hora al año (22%)²⁶, mientras que sustituir la cubierta en el escenario de mejora S.3.4 genera una reducción de 898 grados-hora al año, lo que representa una mejora del orden del 25% en el confort anual.

Síntesis de mejoras para el caso base de Salto (S.1)

Finalmente se presenta un cuadro resumen de las mejoras parciales y acumuladas de cada una de las mejoras presentadas hasta llegar a la propuesta final de mejora para la vivienda de Salto (orientación caso base con ventanal apuntando al Norte) (caso S.4) la cual resulta en una mejora de 42.4% del confort anual (medido en grados-hora) respecto al caso base.

Salto	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT				GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT							
	T > 27°C		T < 18°C		Total desconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total desconfort	
Escenario	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.1	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
S.1.1	1.148	92%	1.482	101%	2.630	97%	1.991	93%	2.639	100%	4.630	97%
S.2	1.008	81%	1.482	101%	2.490	92%	1.738	82%	2.639	100%	4.377	92%
S.3.1	936	75%	1.457	99%	2.393	88%	1.570	74%	2.547	97%	4.117	87%
S.3.2	831	67%	1.478	101%	2.309	85%	1.388	65%	2.496	95%	3.884	82%
S.3.3	750	60%	1.460	100%	2.210	81%	1.250	59%	2.408	92%	3.658	77%
S.3.4	726	58%	1.468	100%	2.194	81%	1.222	57%	2.416	92%	3.638	76%
S.4	590	47%	1.200	82%	1.790	66%	999	47%	1.741	66%	2.740	57,6%

Tabla 101 – Síntesis de mejoras para el caso base de Salto.

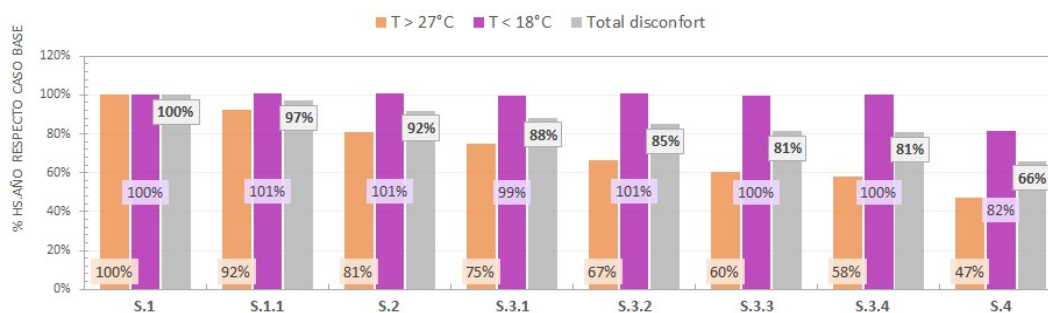


Figura 41 – Porcentaje horas al año fuera del rango de confort por escenarios – Salto.

²⁶ De acuerdo a los resultados arribados para el Escenario e.1) del análisis de sensibilidad (sección 4.2), sustitución de cubierta para el caso base en la localidad de Salto genera una reducción del desconfort anual de 1.039 grados-hora, lo cual representa una mejora de 22% del confort anual.

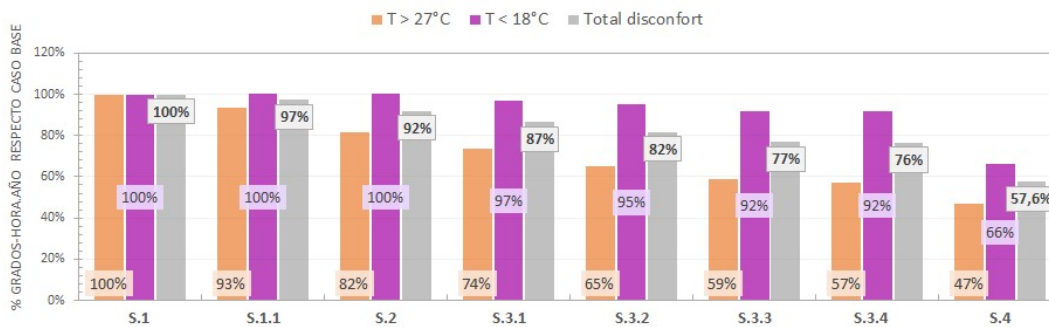


Figura 42 - Porcentaje grados-hora al año fuera del rango de confort por escenarios – Salto.

Si se analiza por separado el desconfort por temperaturas por encima y por debajo del rango de confort, puede observarse que la aplicación de todas estas propuestas generó una mayor reducción en el desconfort producto de temperaturas elevadas (53%) que en el desconfort por temperaturas por debajo de los 18 °C (34%). Esto se explica ya que las primeras medidas adoptadas que optimizaron hipótesis del modelo base (ajuste de perfiles de uso de persianas existentes y ventilación) apuntaron a estrategias para atender sobre todo los problemas del período caluroso. Hay que tener presente también que para las persianas existentes se partió de un perfil de uso optimizado que – tal como se mostró en el análisis de sensibilidad (escenarios g.1) y g.2) – aprovecha ya al máximo la ganancia solar en invierno y protege a su vez el control de ingreso de energía solar durante el período caluroso. De haber partido de un perfil de uso no optimizado (o de una vivienda sin protección solares en ninguna abertura) el desconfort por temperaturas por encima del rango del caso base hubiese sido el doble del considerado para el punto de partida de estas propuestas de mejora²⁷, pudiendo reducirse también con esta medida de evaluación de protecciones existentes el desconfort en el período frío.

La propuesta presentada que produjo una mayor reducción del desconfort para el período frío fue la reducción de transmitancia de la cubierta, medida que atacó ambas problemáticas (desconfort producto de bajas y altas temperaturas).

Como complemento se muestra a continuación los valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores de vivienda para el caso de partida (S.1) y la propuesta integral de mejoras (S.4).

Caso	Temp. Interior (°C)			amplitud °C
	máx	mín	media	
S.1	35,2	10,6	22,5	24,6
S.4	33,4	11,6	22,1	21,8
S.4 - S.1	- 1,8	1,0	- 0,4	- 2,8

Tabla 102 – Valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores S1 vs S4.

²⁷ De acuerdo a los resultados obtenidos para el escenario g.2) del análisis de sensibilidad, el cual planteaba las persianas 100% inactivas, el desconfort anual por temperaturas por encima de los 27 °C (medido en grados-hora) para la ciudad de Salto resultaba en un 225% respecto al del caso base.

Se observa que producto de las medidas de mejora implementadas, la temperatura media anual de la vivienda se reduce 0.4 °C (pasa de 22.5 °C a 22.1 °C), mientras que la temperatura máxima se reduce 1.8 °C (variación más significativa) y la temperatura mínima 1.0 °C. Se destaca entonces la reducción cercana a los dos grados en la temperatura máxima interior.

5.2 Mejoras para orientación más desfavorable _ caso Salto (S.S.1)

Teniendo en cuenta el análisis y propuestas de mejora realizadas para el caso base de Salto, se evaluará el impacto que las mismas generan para la orientación más desfavorable de las estudiadas en la *sección 4.3*.

En la *sección 4.3* se presentó el confort para la misma vivienda girando 90°, 180° y 270°. De las cuatro orientaciones analizadas, la más desfavorable resultó el giro de 270°. Solamente realizando el cambio de orientación, se obtenía un aumento del disconfort total anual (medido en grados-hora) del orden del **47.7%** respecto a la orientación original del caso base, lo que equivale a 2.269 grados-hora más de disconfort en el año.

Salto	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT				<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT							
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
Orientación	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
0° (caso base)	1.246	100%	1.467	100%	2.713	100%	2.130	100%	2.628	100%	4.758	100%
270°	1.437	115%	1.907	130%	3.344	123%	2.727	128%	4.301	164%	7.027	147,7%

Tabla 103 – Confort interior Salto _ Orientaciones 0° y 270°.

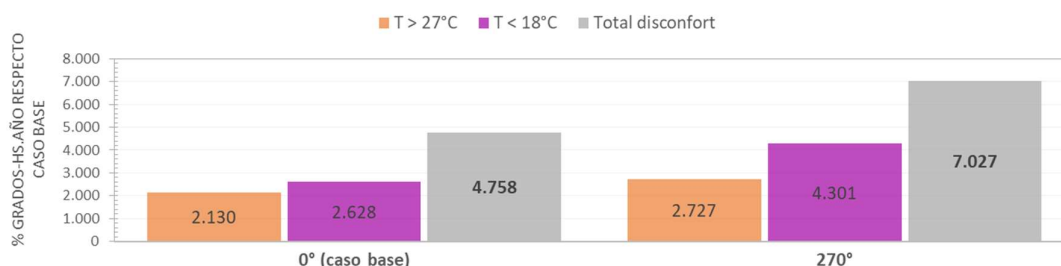


Figura 43 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Orientaciones 0° y 270°_ Salto.

Tomando ahora como caso de partida la vivienda de Salto orientada a 270°, se implementan las medidas ya propuestas para la vivienda con orientación original (*sección 5.1*) y se evalúa como impactan las mismas sobre la orientación más desfavorable.

A modo resumen, las medidas a implementar entonces son:

S.S.1.0 _ Aberturas dormitorios evitando la fachada sur

En primera instancia se comienza aplicando una de las medidas que en MEVIR ya se implementa que es evitar colocar la ventana de los dormitorios en la fachada que da al sur (en el caso de los dormitorios

esquinas donde se puede optar entre dos fachadas posibles). Esta modificación mejora la situación de confort de la vivienda, tal como se expuso en la sección dedicada a orientaciones (*sección 4.3*).

S.S.1.1 _ Ajuste de uso en persianas existentes (dormitorios)

Se ajusta el horario de uso de las persianas del dormitorio análogo a la optimización realizada para las mejoras del caso de base de Salto (mejora *S.I.I*), que consiste en extender el régimen de 24 hs cerradas para el mes de octubre también.

S.S.2 _ Ventilación adicional

Se incorpora la ventilación adicional establecida para la propuesta optimizada de mejoras del caso base de Salto: extender de 20 a 09 hs la ventilación durante los meses de diciembre, enero y febrero.

S.S.3 _ Protecciones adicionales en ventanas

Se incorporan persianas para la ventana y el ventanal del living, de iguales características e igual perfil de uso que las de los dormitorios.

S.S.3.4 _ Perfil de uso óptimo para persianas del living

Para las mejoras propuestas para la vivienda del caso base se planteó evaluar alternativas para el perfil de uso de las persianas del living (donde a diferencia de las de los dormitorios, no era necesario mantenerlas bajas durante la noche). Las alternativas propuestas para el caso base, sin girar, fueron:

- Activación de persianas únicamente de octubre a abril en horario de 8 a 19 hs
- Activación de persianas de octubre a abril en horario de 8 a 19 hs, y de mayo a setiembre en horario de 19 a 8 hs

Se evalúan mediante simulación ambas alternativas, obteniéndose mejores resultados de confort interior para todos los meses con el perfil de uso análogo a las persianas de los dormitorios (caso *S.I.I*). Se resuelve por tanto mantener el mismo perfil de uso para todas las persianas de la vivienda.

S.S.4 _ Cubierta con placa de poliestireno expandido

Se sustituye la solución actual de cubierta por una cubierta de placa de poliestireno expandido de 10 cm de espesor (análoga a la propuesta de mejora *S.4*).

Síntesis de mejoras para el caso base de Salto orientación 270° (S.S.1)

Se presenta a continuación los resultados obtenidos al aplicar las medidas de mejora antes listadas en la vivienda de Salto, con orientación más desfavorable de las cuatro analizadas en la *sección 4.3*.

El cuadro resumen muestra las mejoras parciales y acumuladas de cada una de las medidas presentadas hasta llegar a la propuesta final de mejora para la vivienda de Salto (orientación 270°, con ventanal apuntando al Oeste) (caso S.S.4) la cual resulta en una mejora de **43.5%** del confort anual (medido en grados-hora) respecto al caso base de la misma orientación (S.S.1):

Salto	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.S.1	1.437	100%	1.907	100%	3.344	100%	2.727	100%	4.301	100%	7.027	100%
S.S.1.0	1.475	103%	1.849	97%	3.324	99%	2.793	102%	4.069	95%	6.861	98%
S.S.1.1	1.391	97%	1.859	97%	3.250	97%	2.660	98%	4.072	95%	6.732	96%
S.S.2	1.224	85%	1.859	97%	3.083	92%	2.245	82%	4.072	95%	6.317	90%
S.S.3	719	50%	1.854	97%	2.573	77%	1.140	42%	3.817	89%	4.956	71%
S.S.4	566	39%	1.680	88%	2.246	67%	886	32%	3.084	72%	3.970	56,5%

Tabla 104 – Síntesis de mejoras por escenario en Salto – Orientación 270°.

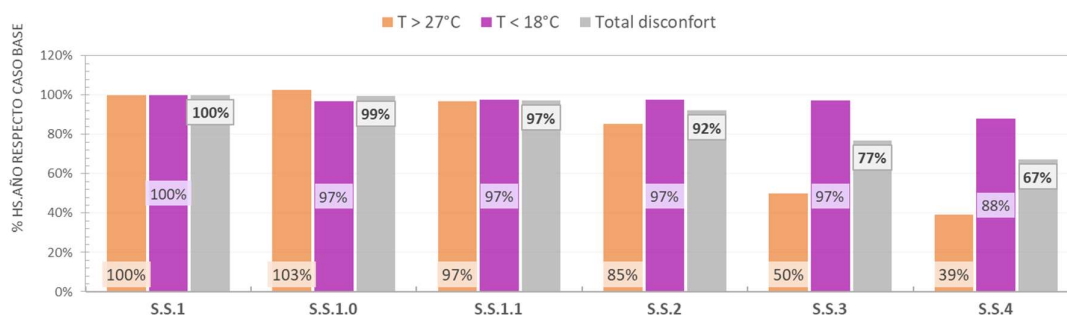


Figura 44 – % horas al año fuera del rango de confort _ Salto 270°.

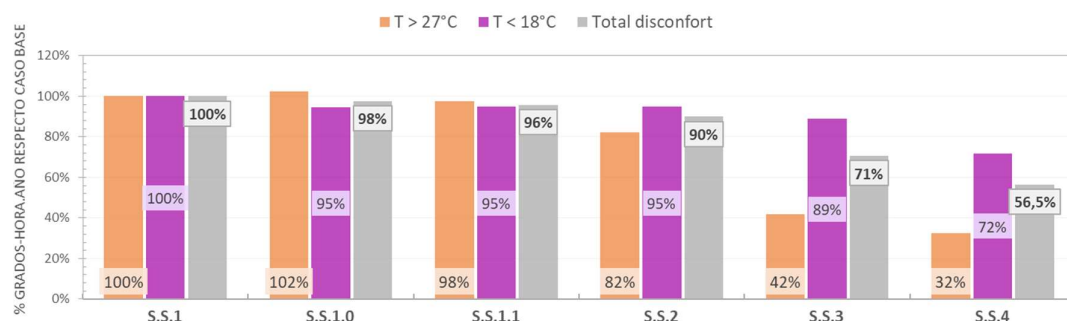


Figura 45 – % grados-hora al año fuera del rango de confort _ Salto 270°.

Si se analiza por separado el disconfort por temperaturas por encima y por debajo del rango de confort, puede observarse que – al igual que lo que ocurría con la aplicación de mejoras para el caso con orientación original – se obtiene mayor reducción en el disconfort producto de temperaturas elevadas (68%) que en el disconfort por temperaturas por debajo de los 18 °C (28%). Se destaca también que esta diferencia entre disconfort por encima y por debajo del rango resulta aún más pronunciada que para el caso de orientación original (68% - 28% vs. 53% - 34%).

La propuesta presentada que produjo una mayor reducción del discomfort para el período frío fue – al igual para el caso de orientación original – la reducción de transmitancia de la cubierta (redujo 733 grados-hora al año el discomfort por temperaturas inferiores a los 18 °C). Por otro lado también ocurre que, tanto para esta orientación como para la original, la medida que produjo una mayor reducción del discomfort para el período caluroso fue la incorporación de persianas en las aberturas del living-comedor (1.105 grados-hora al año el discomfort por temperaturas mayores a 27 °C). Considerando el discomfort total en el año (producto de bajas y altas temperaturas), la medida que mayor reducción generó fue la incorporación de las persianas en las aberturas del living (1.361 grados-hora.año).

Como complemento se muestra a continuación los valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores de vivienda para el caso de partida (S.S.1) y la propuesta integral de mejoras (S.S.4).

Caso	Temp. Interior (°C)			amplitud
	máx	mín	media	°C
S.S.1	35,7	10,2	22,3	25,6
S.S.4	33,5	11,2	21,7	22,3
S.S.4 - S.S.1	- 2,2	1,1	- 0,5	- 3,3

Tabla 105 – Valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores S.S.1 vs S.S.4.

Se observa que producto de las medidas de mejora implementadas, la temperatura media anual de la vivienda se reduce 0.5 °C (pasa de 22.3 °C a 21.7 °C), mientras que la temperatura máxima se reduce 2.2 °C (variación más significativa) y la temperatura mínima 1.1 °C. Se destaca entonces la reducción mayor a dos grados Celsius en la temperatura máxima interior. Con estas variaciones se logra una reducción de 3.3 °C de la amplitud térmica anual. En todos los casos, las variaciones en las temperaturas resultaron mayores que las variaciones producto de las mejoras para el caso.

Esto último va en línea con la mayor reducción de grados-hora año de discomfort lograda con las mejoras para esta orientación menos favorable, comparativa que se explica con más detalle a continuación.

Comparativa mejoras para el caso base de Salto _ orientación 0° y 270°

Resulta de interés realizar un análisis comparativo de los impactos generados con medidas análogas para ambas orientaciones. Se presenta primero un cuadro resumen comparativo con dichos impactos (en grados-hora año y porcentajes respecto a puntos de partida) para luego pasar a explicar las principales conclusiones a las que se arriba, en luz de estos resultados.

Salto		Orientación 0°			Orientación 270°		
Escenario		Total disconfort anual			Total disconfort anual		
S./S.S.	Medida incorporada	grados-hora	Δ (°C-hs)	Δ (%)	grados-hora	Δ (°C-hs)	Δ (%)
1	Caso base	4.758			7.027		
1.0	cambio fachada abertura dormitorio (AM01)	4.758	-		6.861	-166	-2,4%
1.1	Ajuste perfil de uso persianas dormitorios	4.630	-128	-2,7%	6.732	-129	-1,9%
2	Ventilación adicional	4.377	-252	-5,5%	6.317	-415	-6,2%
3.3	Persianas en living (A7 + A20)	3.658	-719	-16,4%	4.956	-1.361	-21,5%
3.4.3	Ajuste perfil de uso persianas living	3.638	-20	-0,6%	4.956	-	
4	Cubierta Isopanel	2.740	-898	-24,7%	3.970	-987	-19,9%
Total:			-2.018	-42,4%		-3.058	-43,5%

Tabla 106 – Comparativa disconfort mejoras para el caso base de Salto – Orientación 0° y 270°.

Principales conclusiones

- Habiendo aplicado la totalidad de mejoras para la viviendas se obtiene una reducción del disconfort del orden del **43.5% vs. 42.5%** respecto al caso base para orientación 270° y 0° respectivamente. La única diferencia respecto a la medidas de mejoras aplicadas, fue – como medida adicional para la orientación más desfavorable – la modificación de fachada de ventana de dormitorio que daba al sur (S.S.I.0), medida que aportó un 2.4% de reducción de disconfort en el 43,5% total mencionado.
- Partiendo entonces de un aumento de disconfort total anual (medido en grados-hora) del orden del 47.7% respecto a la orientación original del caso base, se pasa a un aumento del **44.9%** para la orientación menos favorable una vez aplicadas todas las medidas:

Salto	HORAS al AÑO						GRADOS-HORA al AÑO					
	FUERA DEL RANGO DE CONFORT						FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
c/mejoras	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
Orientación												
0° (S.4)	590	100%	1.200	100%	1.790	100%	999	100%	1.741	100%	2.740	100%
270° (S.S.4)	566	96%	1.680	140%	2.246	125%	886	89%	3.084	177%	3.970	144,9%

Tabla 107 – Confort interior S.S.4 vs S.4.

A pesar de haber reducido la diferencia, sigue siendo más elevado el disconfort para la orientación menos favorable.

- De todas formas, analizando en **grados-hora** en lugar de porcentualmente, podemos decir que las mejoras incorporadas produjeron un mayor impacto para el caso de orientación más desfavorable: **3.058 vs. 2.018** grados hora-año.
- Respecto al impacto puntual de cada medida, hay dos observaciones a destacar, respecto a las dos medidas que generaron una mayor reducción de disconfort para ambas orientaciones: incorporación de persianas en el living y sustitución de la cubierta por una solución de placa de poliestireno expandido.

Respecto a ésta última medida, con la **cubierta de placa de poliestireno expandido** se logra una mejora no menor en ambos casos, aunque porcentualmente la reducción resulta más acentuada para la orientación original: 24.7° vs. 19.9%. Esto es coherente con los resultados que había arrojado el análisis de sensibilidad para el apartado de orientaciones (*sección 4.3*), donde se había observado que la reducción de la transmitancia de cubierta generaba un impacto porcentual mayor para la orientación base respecto a la orientación menos favorable de 270° (diferencia porcentual del orden del 6%), arribándose aquí a resultados del orden de lo esperado.

En cuanto a la medida de incorporar **persianas en las aberturas del living** ocurre distinto: tanto en grados-hora como porcentualmente la mayor reducción se logra para la orientación menos favorable (16.4% vs. 21.5%). Tal como se observó en la sección de *4.3 Orientaciones*, uno de los motivos por el cual la orientación llamada “menos favorable” (giro 270°) presenta un mayor discomfort es que las ventanas del living dan al este y al oeste, y por ende durante el verano la radiación entra de lleno en la mañana y en la tarde, aumentando la temperatura interior de la vivienda. Al proteger dichas aberturas, el impacto resulta mayor en aquellos casos en que la carga térmica por radiación resulta mayor, es decir, en la orientación de 270°. Como puede observarse en el cuadro a continuación, la mayor diferencia en el impacto de esta medida si se compara ambas orientaciones está en la reducción del discomfort por temperaturas por encima del rango de confort: para la orientación original (0°) se reduce un 28% mientras que para la orientación más desfavorable (270°) la reducción se eleva a prácticamente la mitad (49%). Esta diferencia es la que hace que en impacto global anual la reducción del discomfort por la aplicación de esta medida resulte mayor para la orientación más desfavorable.

<u>HORAS al AÑO</u>						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u>						
FUERA DEL RANGO DE CONFORT						FUERA DEL RANGO DE CONFORT						
Salto 0°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.2	1.008	100%	1.482	100%	2.490	100%	1.738	100%	2.639	100%	4.377	100%
S.3.3	750	74%	1.460	99%	2.210	89%	1.250	72%	2.408	91%	3.658	83,6%

Salto 270°	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
S.S.2	1.224	100%	1.859	100%	3.083	100%	2.245	100%	4.072	100%	6.317	100%
S.S.3	719	59%	1.854	100%	2.573	83%	1.140	51%	3.817	94%	4.956	78,5%

Tabla 108 – Confort interior Salto: S.3.3. vs. S.2 y S.S.3. vs. S.S.2.

- Aplicando todas medidas de mejoras de uso sin necesidad de inversión económica (cambio de fachadas de ventanas, horarios ventilación y activación persianas) sobre la vivienda de orientación más desfavorable, el discomfort anual igual sigue siendo mayor que el de la vivienda del caso base sin aplicación alguna de medida (6.317 vs 4.758 grados-hora). Dicho en otras palabras, para la vivienda de orientación más desfavorable es necesario aplicar medidas que conllevan una inversión económica para alcanzar un confort equiparable al de la vivienda con orientación original. Incluso incorporando

persianas para las aberturas del living (sobrecosto no menor²⁸) el discomfort sigue siendo mayor al de la vivienda caso base, orientación original: 4.956 vs 4.758 grados-hora.año. **La conclusión principal a la que se arriba con esto entonces es la importancia de adoptar como medida de mejora la elección adecuada de la orientación de la vivienda al proyectar su implantación.** Esta medida es fundamental para poder obtener un mejor confort térmico evitando luego la necesidad de invertir para lograr resultados de confort equiparables al de la vivienda del caso base, orientación original.

Se entiende posible elegir la orientación de la vivienda, dado que las viviendas de MEVIR se construyen en zonas rurales, donde la orientación no necesariamente está predefinida por la organización de las manzanas de toda una ciudad, por ejemplo, a diferencia de lo que ocurre en las zonas urbanas.

5.3 Mejoras para caso base en Montevideo (M.1)

Análogo a lo realizado para las mejoras de los casos en Salto, se busca, por un lado, optimizar las hipótesis consideradas para el modelo del caso base, involucrando dos de los parámetros considerados en el análisis de sensibilidad presentado: elementos de protección en ventanas (persianas) y ventilación (conjunto de medidas *M.2* y *M.7.i*)

Por otro lado, se proponen medidas de mejoras en el diseño de la vivienda, ya sea incorporando nuevos elementos (conjunto de medidas *M.3.i*) como también proponiendo variantes a nivel constructivo y/o diseño (*M.4*, *M.5*, *M.6* y *M.8*).

Es importante hacer notar que el mismo modelo de vivienda ubicado en Montevideo presenta un comportamiento muy distinto en lo que a confort térmico refiere respecto al modelo análogo pero ubicado en Salto. Como se observó en la *sección 4.1*, al emplazar la vivienda en Salto (caso base) el discomfort producto de bajas temperaturas resulta del mismo orden que el discomfort producto de temperaturas elevadas. Por el contrario, al emplazar la misma vivienda en Montevideo se obtiene que más del 99% del discomfort térmico (medido en grados-hora año) se debe a temperaturas por debajo del rango del confort. En este sentido, dado que las viviendas presentan un comportamiento distinto en cada localidad, las medidas a considerar para mejorar el confort no tienen por qué ser las mismas, ni es esperable que las medidas que se compartan generen los mismos resultados.

M.1.1 _ Evaluación del perfil de uso en persianas existentes (dormitorios)

En función de los resultados obtenidos para los *escenarios g.1*) y *g.2*) del análisis de sensibilidad de Montevideo, se evalúa la pertinencia de un ajuste en el perfil de uso de las persianas del dormitorio.

²⁸ El sobrecosto de incorporar persianas en aberturas de dormitorios ronda los 4.000 pesos uruguayos cada una, por lo que incorporar persianas en la ventana y el ventanal (de mayor tamaño) del living supera los 10.000 pesos uruguayos por vivienda.

Para ello se analizan comparativamente los resultados de confort obtenidos para el caso base (*M.1*) y los escenarios de activación extremos 100% y 0% planteados en la *sección 4.2 (escenarios g.1) y g.2)*.

Comparativa grados-hora año con $T > 27^{\circ}\text{C}$

Esc.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
<i>M.1</i>	14	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	17
<i>24 hs ON</i>	14	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,1	17
<i>24 hs OFF</i>	310	192	76	-	-	-	-	-	-	-	49	93	720

Comparativa grados-hora año con $T < 18^{\circ}\text{C}$

Esc.	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
<i>M.1</i>	-	-	22	1,5	546	2.178	2.603	1.695	498	42	37	0,1	7.623
<i>24 hs ON</i>	-	-	22	38	913	2.939	3.314	2.528	1.054	230	71	0,1	11.108
<i>24 hs OFF</i>	-	-	9	4	606	2.292	2.721	1.816	563	59	26	-	8.096

 escenario con mejor confort

Tabla 109 – Comparativa grados-hora año con $T > 27^{\circ}\text{C}$ y $T < 18^{\circ}\text{C}$ – M.1.1.

Se observa que para todos los casos, el escenario base *M.1* es que el presenta mejores resultados de confort. A pesar de que para los meses de marzo y noviembre el desconfort producto de bajas temperaturas es mayor para el caso base, si se considera el desconfort total (grados-hora con temperaturas mayores y menores al rango de confort) sigue resultando mejor el caso base. Se resuelve entonces mantener el régimen de activación de persianas del caso base *M.1*.

M.2 _ Ventilación adicional

Análogo a lo planteado para el caso de Salto, otra de las medidas de mejora propuestas es incrementar el horario de ventilación de la vivienda.

Sin embargo, a diferencia de lo ocurrido con la vivienda emplazada en Salto, es de esperar que esta medida no resulte en importantes mejoras para el caso de Montevideo, debido al bajo desconfort que presenta el interior de la vivienda en este emplazamiento: mientras que el modelo base ubicado en Salto (*Caso S.1*) partía de 2.130 grados-hora al año de desconfort por temperaturas superiores a los 27°C , el modelo base en Montevideo (*Caso M.1*) parte de tan solo 17 grados-hora al año. Resulta evidente entonces que habrán de tomarse otras medidas que apunten más al desconfort por bajas temperaturas para poder mejorar el confort global.

De los 17 grados-hora al año de desconfort mencionados, 14 se producen durante el mes de enero (*Tabla 38*), por lo que se considera amerita aplicar esta medida de ventilación adicional solo en ese mes.

Se evalúan mediante simulación computacional dos rangos horarios alternativos: de 20 a 08 hs y de 20 a 09 hs, presentando a continuación los resultados obtenidos para ambas simulaciones:

inicio	fin	n° hs T>27°C	°C-hora T>27°C	
CASO BASE		33	13,9	CASO BASE
20	8	26	11,3	
20	9	25	9,9	mejor caso

Tabla 110 – Alternativas horario ventilación para el mes de enero – M.2.

Se recomienda entonces extender durante el mes de enero el horario de ventilación de 20 a 09 hs.

Los resultados anuales de dicha optimización se presentan en la tabla a continuación.

Mdeo.	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT			GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT								
	T > 27°C		T < 18°C	T > 27°C		T < 18°C	Total discomfort					
Escenario	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.1	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%
M.2	42	84%	2.815	100%	2.857	100%	13	76%	7.623	100%	7.636	100%

Tabla 111 – Confort interior M.2 vs M.1.

A pesar de no ser un cambio muy significativo (situación inicial con discomfort por temperaturas elevadas bajo) es de interés mencionar que con la adopción de esta medida se logra reducir la temperatura media interior del mes de enero de 24.1 °C (caso base M.1) a 23.7 °C.

M.3 _ Protecciones adicionales en ventanas

Tal como se demostró en el estudio de sensibilidad realizado y presentado en la sección anterior 4.2, el confort de la vivienda resulta altamente sensible frente al uso de persianas, generando un gran impacto tanto para Salto como para Montevideo.

En este caso sí se genera una mejora no menor para el emplazamiento de Montevideo, dado que con un perfil de uso óptimo se logra no solo controlar la carga por radiación solar en verano sino también potenciar la ganancia solar activa en invierno, evitando la pérdida de energía durante las noches de invierno.

Se resuelve entonces plantear como mejora para la vivienda en Montevideo – al igual que se planteó para Salto – la incorporación de elementos de protección en las aberturas del living-comedor, análogos a los ya existentes en las aberturas de los dormitorios (persianas de iguales características e igual perfil de uso).

Se evalúa en primera instancia la incorporación por separado para la ventana por un lado (caso M.3.1) y para el ventanal principal por otro (caso M.3.2), para luego evaluar la mejora en conjunto (caso M.3.3).

Nuevamente se hace mención a que el agregado de protecciones para las aberturas implica también cambiar la permeabilidad de las mismas, así como genera también una mayor resistencia a la transferencia de calor a través de las ventanas. Tal como se mencionó para el caso de Salto, el aumento de resistencia lo calcula el programa en forma automática, mientras que la permeabilidad será ajustada en forma análoga a lo realizado para las mejoras en Salto (ver sección 5.1 para más detalle).

M.3.1 _ Incorporación de persianas en ventana living (A7)

Considerando los supuestos antes expuestos – y partiendo de la situación de mejora M.2 – la incorporación de persianas en la ventana del living produce una mejora del confort en la vivienda del orden del **2%** anual, medido en grados-hora.

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.2	42	100%	2.815	100%	2.857	100%	13	100%	7.623	100%	7.636	100%
M.3.1	22	52%	2.795	99%	2.817	99%	5	38%	7.475	98%	7.480	98,0%

Tabla 112 – Confort interior M.3.1. 2 vs M.2.

M.3.2 _ Incorporación de persianas en ventanal living (A20)

Considerando los supuestos antes expuestos – y partiendo de la situación de mejora M.2 – la incorporación de persianas en el ventanal del living produce una mejora del confort en la vivienda del orden del **3,9%** anual, medido en grados-hora.

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.2	42	100%	2.815	100%	2.857	100%	13	100%	7.623	100%	7.636	100%
M.3.2	7	17%	2.757	98%	2.764	97%	1	7%	7.340	96%	7.341	96,1%

Tabla 113 – Confort interior M.3.2 vs M2.

Análogo a los resultados para el caso de Salto, el porcentaje de mejora en el confort producto de la incorporación de persianas en aberturas – para los dos casos presentados – resulta en proporción al área de la abertura: 2 % de mejora para la ventana de área 1.80 m² y 3,9% de mejora para el ventanal de área 3.23 m².

M.3.3 _ Incorporación en simultáneo de persianas en ventana y ventanal del living

Considerando los supuestos antes expuestos – y partiendo de la situación de mejora M.2 – la incorporación de persianas tanto en la ventana como en el ventanal del living produce una mejora del confort en la vivienda del orden del **5,8%** anual (medido en grados-hora).

HORAS al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

GRADOS-HORA al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

Mdeo.	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.2	42	100%	2.815	100%	2.857	100%	13	100%	7.623	100%	7.636	100%
M.3.3	1	2%	2.738	97%	2.739	96%	0	0%	7.191	94%	7.191	94,2%

Tabla 114 – Confort interior M.3.3 vs M.2.

Resulta coherente que la mejora de incorporar persianas en ambas aberturas (M.3.3) sea mayor que las medidas por separado (M.3.1 y M.3.2).

Se observa claramente que la mejora en estos escenarios (M.3.1, M.3.2 y M.3.3) no se debe a minimizar la entrada de radiación solar, sino a las menores pérdidas de calor en la época fría (mayor resistencia a las pérdidas).

De los resultados obtenidos también se concluye que la adopción de estas medidas para la vivienda emplazada en Montevideo genera mejoras menos significativas que las generadas para la misma vivienda emplazada en Salto: 5,8% vs. 16,4%. Esto es coherente considerando que la irradiación en Salto es mayor que la irradiación en Montevideo. Condice a su vez con los resultados presentados en el análisis de sensibilidad para los escenarios g.1) y g.2), donde los casos extremos de activación de persianas presentaban mayores rangos de variación para el caso de Salto que para Montevideo.

Es importante mencionar también que la incorporación de persianas afecta en el caso de Montevideo a través de la disminución de las pérdidas de calor en época fría.

M.4 _ Cubierta de placa de poliestireno expandido

Tal como se expuso previamente en el análisis de sensibilidad presentado, la reducción de la transmitancia de la cubierta genera una mejora no menor en el confort de la vivienda. De acuerdo a los resultados obtenidos en dicho análisis, una reducción del orden del 50% de la transmitancia de la solución de cubierta actual genera – para una vivienda emplazada en Montevideo – una reducción de un 15% en el discomfort anual (medido en grados-hora año).

Teniendo en cuenta los resultados mencionados, se propone como mejora sustituir la solución actual de cubierta por una cubierta de placa de poliestireno expandido de espesor 10 cm, análogo a lo propuesto para la mejora S.4 de la vivienda emplazada en Salto. Esta mejora se aplicará partiendo ya del caso optimizado M.3.3 y aplican los mismos criterios, sustentos y justificaciones explicitados para lo propuesto en el caso de Salto (ver sección 5.1, mejora M.4 para mayores referencias).

Los resultados anuales de la aplicación de esta mejora propuesta se presentan en la tabla a continuación. Partiendo de la mejora anterior M.3.3 y comparando los resultados contra este punto de partida, se obtiene una reducción del discomfort de **15.9%** (medido en grados-hora).

HORAS al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

GRADOS-HORA al AÑO
FUERA DEL RANGO DE CONFORT

Mdeo.	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.3.3	1	100%	2.738	100%	2.739	100%	-		7.191	100%	7.191	100%
M.4	0	0%	2.528	92%	2.528	92%	-		6.044	84%	6.044	84,1%

Tabla 115 – Confort interior M.4 vs M.3.3.

Se destaca que a pesar de partir de un marco en el cual el confort térmico fue optimizado respecto al caso base (M.3.3 ya tiene una mejora de 5,9 % respecto a este caso) se obtiene por la sustitución de la cubierta una mejora porcentual incluso levemente mayor a la obtenida en el análisis de sensibilidad, donde al sustituir la cubierta por una de características análogas a la presentada en esta mejora, y aplicada al caso base, se obtenía una mejora de un 15% frente a los 15,9% obtenidos en este caso a partir de M.3.3.

M.5 _ Mejoras en la fachada: reducción de transmitancia

Hasta la medida M.4 se ha obtenido un 20% de mejora en el confort respecto al caso base (medido en grados-hora al año). Dado que para la vivienda emplazada en Salto se tomaron medidas que resultaron en una mejora superior al 40%, se continúa en la búsqueda de alguna medida complementaria para Montevideo que logre aumentar un poco más la mejora obtenida hasta ahora.

De los resultados del análisis de sensibilidad para el modelo emplazado en Montevideo se observa que otra de las medidas que logra un mejor confort es la reducción de la transmitancia de la fachada. Dado que ya se planteó la sustitución de la cubierta actual por una de placa de poliestireno expandido y se incorporaron persianas en las aberturas del living-comedor, se considera que los cambios a realizar en la fachada han de ser tales que no continúen incrementando los costos de inversión. Por ello se considera una mejora de costo razonable y sin cambio significativo en el sistema constructivo ni diseño de la vivienda: se plantea simplemente el aumento del espesor de la placa de espuma ya presente en el muro exterior de 3 a 4 cm. Esto no genera un aumento en costo de mano de obra para su colocación (misma espuma, solo que de mayor espesor) sino solo el sobrecosto de ese centímetro adicional de espesor de placa, que se estima ronde en aproximadamente 1.000 pesos uruguayos para el total de la vivienda considerada.

Este aumento de espesor resulta en una reducción de transmitancia del orden del 15%, pasando de 0.67 a 0.57 W/(m².K)²⁹.

Caracterización térmica	unidad	M.4	M.5
Transmitancia térmica:	W/(m ² .K)	0,67	0,57
Capacidad térmica:	kJ/(m ² .K)	65,6	65,4

Tabla 116 – Caracterización térmica fachada M.5 vs. M.4.

²⁹ Al cambiar la transmitancia del muro, se modifica también el coeficiente del puente térmico considerado en la unión platea-muro, el cual de acuerdo a los criterios considerados establecidos por CTE pasa de $\psi=0.459$ (para una transmitancia de muro de 0.67 W/(m².K) a $\psi=0.49$ (para una transmitancia de muro de 0.57W/(m².K)

En el análisis de sensibilidad se determinó que una reducción de la transmitancia de fachada del 50% generaba – aplicado sobre el caso base de Montevideo *M.1* – una mejora en el confort de del orden del 15%. Extrapolando linealmente, puede esperarse que reduciendo ahora la transmitancia un 15% la mejora del confort ronde en el entorno del 4,5 %.

Los resultados anuales de la aplicación de esta mejora propuesta para la fachada se presentan en la tabla a continuación, partiendo de la mejora anterior *M.4* y comparando los resultados contra este punto de partida.

Mdeo.	HORAS al AÑO						GRADOS-HORA al AÑO					
	FUERA DEL RANGO DE CONFORT						FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.4	-		2.528	100%	2.528	100%	-		6.044	100%	6.044	100%
M.5	-		2.434	96%	2.434	96%	-		5.658	94%	5.658	93,6%

Tabla 117 – Confort interior M.5 vs M.4.

Se observa que con el aumento de espesor de espuma en los muros de fachada se logra una mejora del confort en la vivienda del orden del **6.4%** anual respecto a la mejora *M.4* (medido en grados-hora). Esto supera – incluso partiendo de una mejora ya del 20% del confort interior de la vivienda respecto al caso base *M.1* – la mejora esperada en función de los resultados del análisis de sensibilidad. Esta incidencia tiene su coherencia e ya que cuando se van eliminando fuentes de ineficiencia, es razonable que aumente el porcentaje de afectación de nuevas medidas (aunque no en números absolutos).

M.6 _ Fachada: ajustes coeficiente de absorción solar paredes exteriores

En línea con el planteo realizado para la mejora anterior, se continúa buscando para la fachada medidas de baja inversión económica que permitan aumentar el confort (la inversión económica de más peso se destinó al cambio de cubierta y a la incorporación de protecciones adicionales en las aberturas del living-comedor).

El discomfort para el caso de esta vivienda en Montevideo se está dando por bajas temperaturas, por lo que se plantea como mejora posible lograr una mayor absortividad de la superficie de la fachada, lo cual se puede lograr con una terminación más oscura. En general los colores oscuros tienen mayor absortividad, lo que tiene como consecuencia una mayor relación absortividad solar/emisividad. Esto es fundamental para generar una mayor captación de energía.

El coeficiente de absorción solar actual de los muros de la envolvente es 0.70, valor extraído de la norma IRAM para ladrillos comunes. Se evalúa basándose en los valores proporcionados por dicha norma de referencia, una posible terminación para el tipo de muro que presenta la vivienda actual que tenga mayor coeficiente de absorción solar. Se busca que sea de costo razonable, de fácil implementación (sin cambios a nivel constructivo internos) y estéticamente aceptable.

Se plantea como alternativa posible una terminación en pintura beige oscura, con coeficiente de absorción solar de 0,90 de acuerdo a lo establecido por la tabla de valores de absorción de radiación solar para materiales y colores de pinturas de la norma IRAM 11.605 (IRAM, 1996).

Nota: Este agregado implica un bolseo exterior en la pared, seguido de una capa de pintura beige oscura. La incorporación de bolseado exterior genera, a su vez, una leve reducción adicional en la transmitancia de la fachada, lo cual se demostró – tanto en el análisis de sensibilidad como en la mejora M.5 anterior - que también genera una mejora en el confort resultante de la vivienda. De todas formas la afectación de este parámetro es menor.

La caracterización térmica de la fachada incorporando esta terminación exterior de bolseado más pintura resulta de la siguiente forma:

Caracterización térmica	
Transmitancia térmica:	0,56 W/(m ² .K)
Capacidad térmica:	65,3 kJ/(m ² .K)

Tabla 118 – Caracterización térmica de fachada M.6.

Se destaca que este cambio, que en primera instancia puede resultar de baja transcendencia, produce una mejora del confort en la vivienda del orden del **4,3%** anual (medido en grados-hora), lo cual no es para nada despreciable.

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.5	-		2.434	100%	2.434	100%	-		5.658	100%	5.658	100%
M.6	-		2.341	96%	2.341	96%	-		5.412	96%	5.412	95,7%

Tabla 119 – Confort interior M.6 vs M.5.

Cabe mencionar que tradicionalmente las viviendas de MEVIR sí eran con terminación de pintura al exterior, y que la terminación con ladrillo visto o sin pintar fue un cambio de tan solo un par de años atrás. Es por esto que se ve efectivamente viable esta modificación, considerando que para este emplazamiento genera una mejora de más del 4% en el confort anual.

M.7 _ Persianas: optimización perfil de uso en período frío

Dado que el único problema de confort que presenta la vivienda en esta etapa de mejoras es debido a bajas temperaturas en los meses más fríos del año, se busca intentar optimizar el uso de las protecciones de ventanas (ahora presentes tanto en dormitorios como en living-comedor).

Evaluando el perfil actual, se observa que en los meses menos calurosos (de abril a octubre inclusive) las persianas se encuentran activas de 19 a 8 hs. Es decir que en dichos meses ya se está permitiendo una mayor transferencia de calor por radiación solar durante todo el horario en donde puede obtenerse una ganancia apreciable por dicha carga. La optimización puede lograrse al extender el horario de cierre de las persianas en aquellas franjas horarias en el cual ya no hay una ganancia solar significativa, buscando con esto la generación de una barrera térmica que provoque una reducción de la energía transferida al exterior a través de los acristalamientos durante los períodos donde no hay ganancia solar.

Para la elección de un horario de uso más óptimo se evalúan mediante simulación computacional tres alternativas posibles, basadas en el discomfort que presenta la vivienda para el escenario de mejora *M.6* y los horarios de salida y puesta de sol durante los meses con mayor discomfort.

Como puede observarse en la tabla a continuación – donde se presentan mes a mes los horarios actuales de activación persianas y el discomfort (medido en grados-hora año) por temperaturas inferiores al rango de confort ($T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$) – los meses donde resulta interesante evaluar una posible mejora son de mayo a setiembre, meses donde se concentra más del 99% del total de grados-hora de discomfort por bajas temperaturas.

Escenario M.6	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
hs.activ.persianas	24 hs	24 hs	24 hs	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	24 hs	24 hs
°-hs.año con $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$	-	-	22	-	321	1.624	2.027	1.147	256	2,7	12	0,3

Tabla 120 – Datos mensuales de activación de persianas y discomfort con $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – M.6.

Dado que a partir de mayo la puesta de sol para Montevideo se da antes de las 18 hs, un primer planteo posible es activar las persianas a partir de las 18 hs en lugar de las 19 hs actuales establecidas.

Las alternativas que se resuelve probar mediante simulación computacional plantean los siguientes cambios respecto al régimen actual de persianas (Tabla 120):

- *M.7.1*: Activación de **18 a 08 hs** de mayo a setiembre (inclusive)
- *M.7.2*: Activación de **18 a 09 hs** de mayo a setiembre (inclusive)
- *M.7.3*: Activación de **18 a 08 hs** en mayo y setiembre y de **18 a 09 hs** de junio a agosto

Se presenta a continuación los resultados de las simulaciones de estas tres alternativas evaluadas:

Esc	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
M.6	-	-	22	-	321	1.624	2.027	1.147	256	2,7	12	0,3	5.412
M.7.1	-	-	22	-	315,6	1.606	2.008	1.130	254,7	2,7	12	0,3	5.351
M.7.2	-	-	22	-	315,8	1.597	1.997	1.124	256,4	2,7	12	0,3	5.326
M.7.3	-	-	22	-	315,6	1.597	1.997	1.124	254,7	2,7	12	0,3	5.325
% (M.7.3/M.6)					98,2%	98,3%	98,5%	98,0%	100%				98,4%

Tabla 121 – Comparativa grados-hora con $T < 18\text{ }^{\circ}\text{C}$ – M7.

Se observa que los meses donde se obtiene una mejora en el confort son de mayo a agosto, no obteniéndose mejora significativa con esta medida para el mes de setiembre. Para el último escenario la mejora de mayo a agosto es de entre un 2% y un 2.5% mensual (medido en grados-hora).

En función de estos resultados, se resuelve adoptar como perfil de uso optimizado para activación de persianas el perfil propuesto para la alternativa *M.7.3*:

Escenario	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
M.7.3	24 hs	24 hs	24 hs	19 a 8	18 a 8	18 a 9	18 a 9	18 a 9	18 a 8	19 a 8	24 hs	24 hs

Tabla 122 – Horarios de activación de persianas – *M.7.3*.

Se presenta finalmente a continuación los resultados de confort interior para el perfil optimizado seleccionado. Comparándolo como referencia con el escenario de mejora al momento *M.6*, se obtiene una mejora de **2.6%** anual (medido en grados-hora).

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Escenario	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.6	-		2.341	100%	2.341	100%	-		5.412	100%	5.412	100%
M.7.3	-		2.322	99%	2.322	99%	-		5.325	98%	5.325	98,4%

Tabla 123 – Confort interior *M.7.3* vs *M.6*.

M.8 _ Aberturas: reubicación en la fachada

Con el objetivo de aumentar la ganancia solar, para así reducir el discomfort producto de bajas temperaturas, se resuelve reubicar el único acristalamiento que se encuentra en la fachada sur (abertura A7 del living). Esto debido a que – en función de lo desarrollado en el marco teórico y observado en el apartado anterior *4.3 Análisis de orientaciones* – la fachada sur es en la que normalmente no incide el sol de forma directa, recibiendo sólo algo de radiación solar a primera y última hora durante los meses entorno al solsticio de verano, en los que el sol realiza un mayor recorrido o trayectoria.

Se propone entonces ubicar la ventana del living (A7), actualmente colocada a la derecha de la puerta principal y orientada hacia el sur, en la fachada este, como se muestra en la figura a continuación:

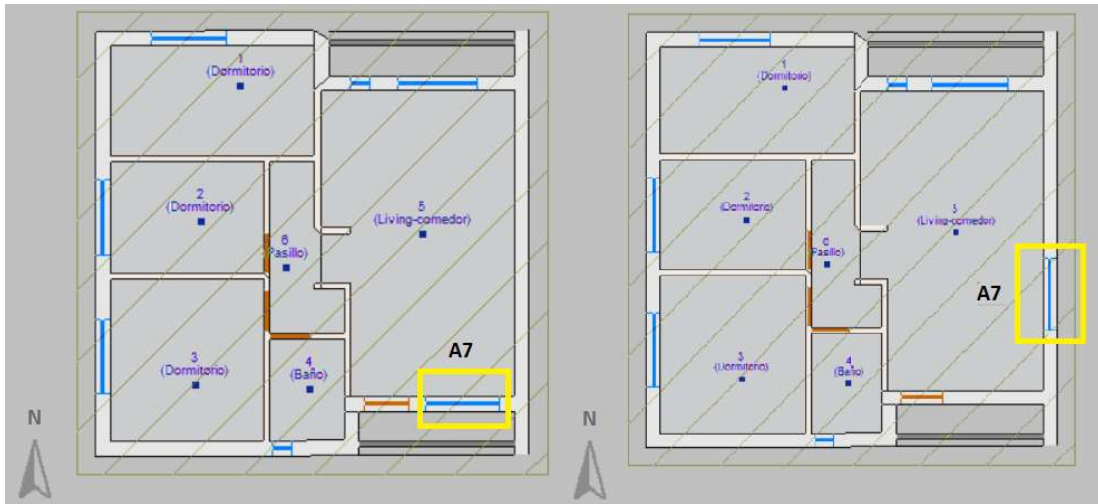


Figura 46 – Reubicación aberturas – M.8.

Como se observa en dicha comparativa en planta, el cambio de la abertura no perjudica en absoluto su función pues sigue estando dentro del mismo recinto (living-comedor) y es viable puesto que no hay obstáculos que impidan esta nueva ubicación.

Se presenta a continuación también una vista esquemática en 3D de cómo quedaría dicho cambio:

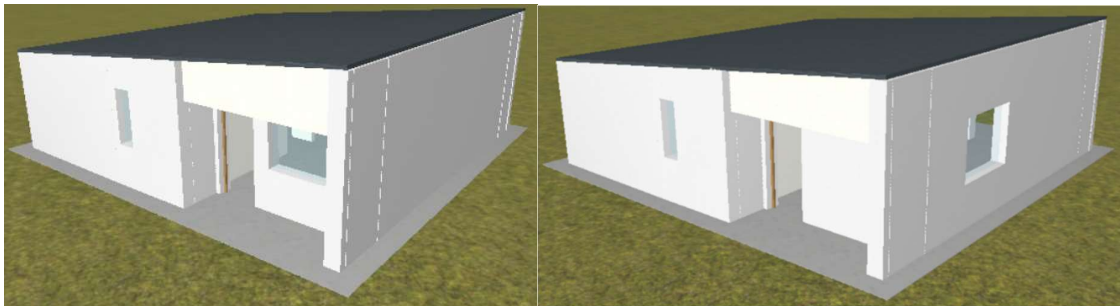


Figura 47 - Vista 3D con abertura A7 en la fachada sur (izquierda) vs. propuesta de mejora con abertura A7 en la fachada este (derecha).

Los resultados anuales de la aplicación de esta mejora propuesta para la ubicación de la abertura A7 se presentan en la tabla a continuación. Partiendo de la mejora anterior M.7.3 y comparando los resultados contra este punto de partida, se obtiene una mejora del confort en la vivienda del orden del **6.5%** anual (medido en grados-hora).

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.7.3	-		2.322	100%	2.322	100%	-		5.325	100%	5.325	100%
M.8	-		2.204	95%	2.204	95%	-		4.978	93%	4.978	93,5%

Tabla 124 – Confort interior M.8 vs M.7.3.

Síntesis de mejoras para el caso base de Montevideo (M.1)

Finalmente se presenta un cuadro resumen de las mejoras parciales y acumuladas de cada una de las medidas presentadas hasta llegar a la propuesta final de mejora para la vivienda de Montevideo (orientación caso base con ventanal apuntando al Norte) (caso M.8), la cual resulta en una mejora de **34.8%** del confort anual (medido en grados-hora) respecto al caso base:

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%		
M.1	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%
M.2	42	84%	2.815	100%	2.857	100%	13	76%	7.623	100%	7.636	100%
M.3.1	22	44%	2.795	99%	2.817	98%	5	29%	7.475	98%	7.480	98%
M.3.2	7	14%	2.757	98%	2.764	96%	1	6%	7.340	96%	7.341	96%
M.3.3	1	2%	2.738	97%	2.739	96%	-	-	7.191	94%	7.191	94%
M.4	-	-	2.528	90%	2.528	88%	-	-	6.044	79%	6.044	79%
M.5	-	-	2.434	86%	2.434	85%	-	-	5.658	74%	5.658	74%
M.6	-	-	2.341	83%	2.341	82%	-	-	5.412	71%	5.412	71%
M.7.3	-	-	2.322	82%	2.322	81%	-	-	5.325	70%	5.325	70%
M.8	-	-	2.204	78%	2.204	77%	-	-	4.978	65%	4.978	65,2%

Tabla 125 – Síntesis de mejoras para el caso base de Montevideo.

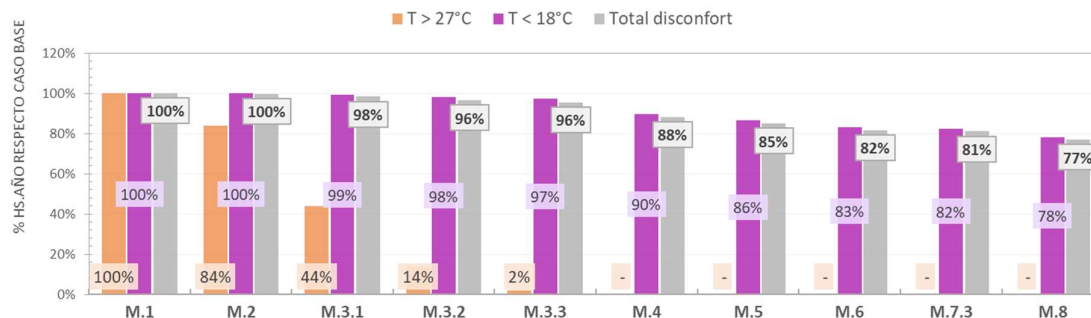


Figura 48 – Porcentaje horas al año fuera del rango de confort por escenarios – Montevideo.

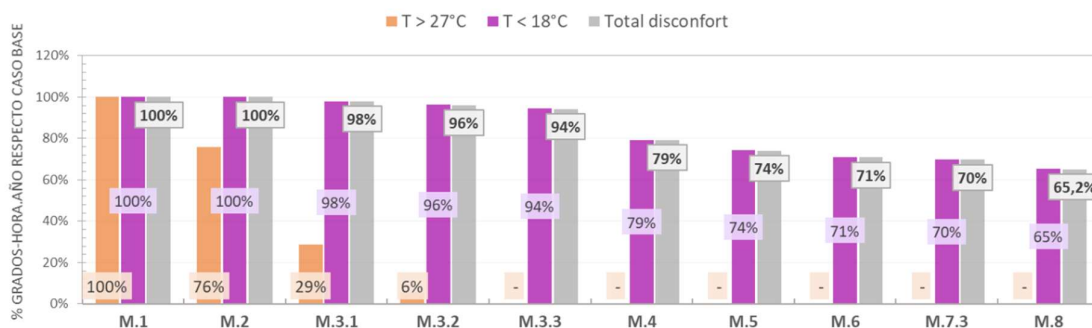


Figura 49 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort por escenarios – Montevideo.

Analizando estos resultados – y teniendo también los resultados para la vivienda mejorada en el departamento de Salto – podemos obtener varias conclusiones y puntualizaciones interesantes.

Por un lado es importante tener presente, como ya se ha mencionado, que el confort resultante para la misma vivienda emplazada en dos localidades distintas (Montevideo y Salto) es muy disímil. Mientras que en Salto los grados-hora año de desconfort para el caso base de partida (*S.1*) se distribuyen en forma bastante pareja durante meses fríos y meses calurosos, en Montevideo el desconfort por temperaturas por encima del rango de confort es prácticamente nulo (menor al 1% del total anual). Es por esto que las medidas de mejoras adoptadas no son todas las mismas para ambos emplazamientos. A su vez el comportamiento frente a mejoras iguales implementadas (por ejemplo la incorporación de persianas en aberturas del living) es distinto también, y las medidas impactan en mayor o menor grado según el caso.

Para la vivienda de estudio en Montevideo, luego de implementar la totalidad de medidas desarrolladas en esta sub-sección, se arriba a una reducción del 34,8% del desconfort (medido en grados-hora año). En otras palabras, más de un tercio del desconfort que presentaba la vivienda base de partida (*M.1*) logra eliminarse con la adopción de estas medidas propuestas.

A pesar de que el porcentaje global anual de desconfort obtenido para Montevideo (34,8%) es inferior al obtenido con las mejoras realizadas para Salto (42,4%) resulta interesante realizar las siguientes dos observaciones:

- 1) El porcentaje de desconfort por bajas temperaturas ($T < 18$ °C) que se logra reducir en ambos emplazamientos es prácticamente el mismo (incluso levemente mayor en el caso de Montevideo): 34% para Salto vs. 35% para Montevideo
- 2) Si en lugar de analizarlo porcentualmente, se analizan los grados-hora año de desconfort global que logran reducirse, es posible establecer una mayor reducción para el caso de Montevideo (2.662 grados-hora) respecto al caso de Salto (2.018 grados-hora). Esto se debe a que el desconfort del que se parte para el caso de la vivienda emplazada en Montevideo es mucho mayor que el desconfort del que se parte para la vivienda en Salto.

De todas las medidas implementadas la que mayor impacto generó – al igual que lo que ocurrió con las medidas de mejora implementadas para Salto – fue la sustitución de la cubierta actual por una de placa de poliestireno expandido (mejora *M.4*), medida que logró reducir el desconfort en 1.146 grados-hora anuales. Logra incluso una reducción mayor que para la vivienda Salto, donde la reducción fue cercana a los 900 grados-hora anuales.

Como complemento se muestra a continuación los valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores de vivienda para el caso de partida (*M.1*) y la propuesta integral de mejoras (*M.8*).

Caso	Temp. Interior (°C)			amplitud °C
	máx	mín	media	
M.1	28,0	8,8	19,9	19,3
M.8	26,8	9,9	20,2	16,8
M.8 - M.1	- 1,3	1,2	0,3	- 2,5

Tabla 126 – Valores máximos, mínimos y medios interiores de la vivienda – M1 y M8.

Se observa que producto de las medidas de mejora implementadas la temperatura media anual de la vivienda aumenta 0.3 °C (pasa de 19.9 °C a 20.2°C), mientras que la temperatura máxima se reduce 1.2 °C y la temperatura mínima aumenta 1.1 °C. Se destaca la reducción de 2.3 °C de la amplitud térmica anual, habiendo reducido las temperaturas máximas y mínimas en forma bastante pareja para ambos extremos (1.1-1.2 °C).

5.4 Mejoras para orientación más desfavorable _ caso Montevideo

Teniendo en cuenta el análisis y propuestas de mejora realizadas para el caso base de Montevideo, se evaluará el impacto que las mismas generan para la orientación más desfavorable de las estudiadas en la sección 4.3.

Al igual que lo que ocurre con el emplazamiento de Salto, de las cuatro orientaciones analizadas para Montevideo la más desfavorable resultó el giro de 270°. Solamente realizando el cambio de orientación, se obtenía una aumento del discomfort total anual (medido en grados-hora) del orden del **40.7%** respecto a la orientación original del caso base, lo que equivale a 3.105 grados-hora más de discomfort en el año.

Mdeo.	<u>HORAS al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT						<u>GRADOS-HORA al AÑO</u> FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort		T > 27°C		T < 18°C		Total discomfort	
Orientación	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
0° (caso base)	50	100%	2.815	100%	2.865	100%	17	100%	7.623	100%	7.640	100%
270°	197	394%	3.301	117%	3.498	122%	119	712%	10.627	139%	10.745	140,7%

Tabla 127 – Confort interior orientación 0° vs 270° - Montevideo.

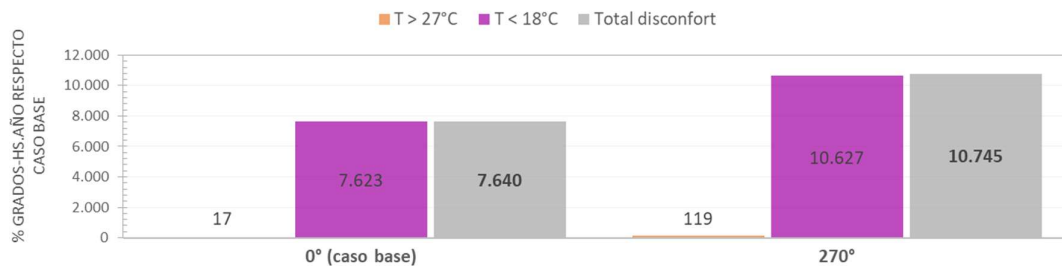


Figura 50 – Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort – Orientación 270° - Montevideo.

Tomando ahora como caso de partida la vivienda de Montevideo orientada a 270°, se implementan las medidas ya propuestas para la vivienda con orientación original (*sección 5.1*) y se evalúa como impactan las mismas sobre la orientación más desfavorable.

A modo resumen, las medidas a implementar entonces son:

M.M.1.0 _ Aberturas dormitorios evitando la fachada sur

En primera instancia se comienza aplicando una de las medidas que en MEVIR ya se implementa que es evitar colocar la ventana de los dormitorios en la fachada que da al sur (en el caso de los dormitorios esquinas donde se puede optar entre dos fachadas posibles). En este caso una de las ventanas del dormitorio que apunta hacia el sur se pasa a la fachada oeste. Esta modificación mejora la situación de confort de la vivienda, tal como se expuso en la sección dedicada a orientaciones (*sección 4.3*).

M.M.2 _ Ventilación adicional

Esta medida se aplicó para el caso de Montevideo (orientación 0°), donde aumentando el horario de ventilación en enero se logró una reducción del desconfort por temperaturas elevadas. De todas formas, se observa que al finalizar la implementación de mejoras, complementando con el resto de las medidas se llega a eliminar en su totalidad el desconfort por temperaturas por encima del rango de confort. Por ello en esta instancia se resuelve esperar a implementar el resto de las medidas de mejoras para luego, recién al final, evaluar si es necesario o no aplicar esta medida. En caso de que vuelva a ocurrir para esta orientación que el desconfort por temperaturas por encima del rango es nulo, no será necesario aplicarla.

M.M.3 _ Protecciones adicionales en ventanas

Se incorporan persianas para la ventana y el ventanal del living, de iguales características e igual perfil de uso que las de los dormitorios.

M.M.4 _ Cubierta placa de poliestireno expandido

Se sustituye la solución actual de cubierta por una cubierta de placa de poliestireno expandido de 10 cm de espesor (análoga a la propuesta de mejora *M.4*).

M.M.5 _ Disminución de transmitancia en muros exteriores

Al igual que el planteo realizado para la vivienda con orientación 0° (mejora *M.5*) se aumenta el espesor de la placa de espuma ya presente en el muro exterior de 3 a 4 cm, logrando así una reducción de transmitancia de los muros exteriores del orden del 15% (de 0.67 a 0.57 W/(m².K)).

M.M.6 _ Aumento del coeficiente de absorción solar de muros exteriores

Al igual que el planteo realizado para la vivienda con orientación 0° (mejora M.6) se incorpora una terminación beige oscuro para los muros exteriores, aumentando así el coeficiente de absorción solar de los mismos de 0.70 (ladrillos) a 0.90 (pintura beige oscuro).

M.M.7 _ Perfil de uso óptimo para persianas en período frío

Como se expuso ya para la vivienda de Montevideo con orientación original 0°, el único problema de confort que presenta la vivienda en esta etapa de mejoras es debido a bajas temperaturas en los meses más fríos del año, por lo que la optimización del uso de las protecciones de ventanas se busca para estos meses.

Las alternativas propuestas para la vivienda emplazada en Montevideo, orientación 0° sin girar fueron:

- 7.1: Activación de 18 a 08 hs de mayo a setiembre (inclusive)
- 7.2: Activación de 18 a 09 hs de mayo a setiembre (inclusive)

Luego mediante simulación computacional se evalúan ambas alternativas, en función de las cuales se propone un perfil 7.3 que resulta de seleccionar para cada mes la mejor alternativa entre la de partida (6) y 7.1 y 7.2

Habiendo simulado estas alternativas – partiendo ahora del caso M.M.6 – se concluye el perfil de uso óptimo para la vivienda con orientación 270° es el que se presenta a continuación como M.M.7.3:

hs activ.persianas	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Set.	Oct.	Nov.	Dic.
Escenario base	24 hs	24 hs	24 hs	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	19 a 8	24 hs	24 hs
M.7.1	24 hs	24 hs	24 hs	19 a 8	18 a 8	18 a 8	18 a 8	18 a 8	18 a 8	19 a 8	24 hs	24 hs
M.7.2	24 hs	24 hs	24 hs	19 a 8	18 a 9	18 a 9	18 a 9	18 a 9	18 a 9	19 a 8	24 hs	24 hs
M.7.3	24 hs	24 hs	24 hs	19 a 8	18 a 8	18 a 9	18 a 9	18 a 8	19 a 8	19 a 8	24 hs	24 hs

Tabla 128 – Perfil de uso óptimo para persianas en período frío – M.M.7.

M.M. 8 _ Reubicación de abertura living en la fachada

Para el caso de la vivienda con la orientación original se resolvió reubicar la ventana del living (A7) que se encontraba en la fachada sur, hacia la fachada este. En este caso (orientación 270°), sin embargo, la abertura A7 ya no se ubica en la fachada sur – fachada en la que normalmente no incide el sol de forma directa – sino en la fachada este. De todas formas, se resuelve reubicar la ventana del living, al momento orientada hacia el este, en la fachada norte, dado que esta última es la que – en contraposición con la sur – recibe la mayor ganancia solar de las cuatro fachadas posibles. Dado que esta abertura cuenta con elementos de protección solar (incorporación mejora M.M.3), con un perfil de uso pensado en función de las condiciones del clima del emplazamiento de Montevideo, no se espera genere problemas de desconfort en épocas de verano.

Síntesis de mejoras para el caso base de Montevideo orientación 270°

Se presenta a continuación los resultados obtenidos al aplicar las medidas de mejora antes listadas en la vivienda de Montevideo, con orientación más desfavorable de las cuatro analizadas en la *sección 4.3*.

El cuadro resumen muestra las mejoras parciales y acumuladas de cada una de las medidas presentadas hasta llegar a la propuesta final de mejora para la vivienda de Montevideo (orientación 270, con ventanal apuntando al Oeste) (caso *M.M.8*) la cual resulta en una mejora de **40.3%** del confort anual (medido en grados-hora) respecto al caso base de la misma orientación (*M.M.1*):

Mdeo. mejora	HORAS al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT						GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT					
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
M.M.1	197	100%	3.301	100%	3.498	100%	119	100%	10.627	100%	10.745	100%
M.M.2	202	103%	3.225	98%	3.427	98%	122	103%	10.240	96%	10.362	96%
M.M.3.3	5	3%	3.176	96%	3.181	91%	0,5	0%	9.819	92%	9.820	91%
M.M.4	-	-	3.016	91%	3.016	86%	-	-	8.752	82%	8.752	81%
M.M.5	-	-	2.968	90%	2.968	85%	-	-	8.444	79%	8.444	79%
M.M.6	-	-	2.897	88%	2.897	83%	-	-	8.099	76%	8.099	75%
M.M.7.3	-	-	2.896	88%	2.896	83%	-	-	8.034	76%	8.034	75%
M.M.8	-	-	2.529	77%	2.529	72%	-	-	6.414	60%	6.414	59,7%

Tabla 129 – Síntesis de mejoras para el caso base de Montevideo – Orientación 270°.

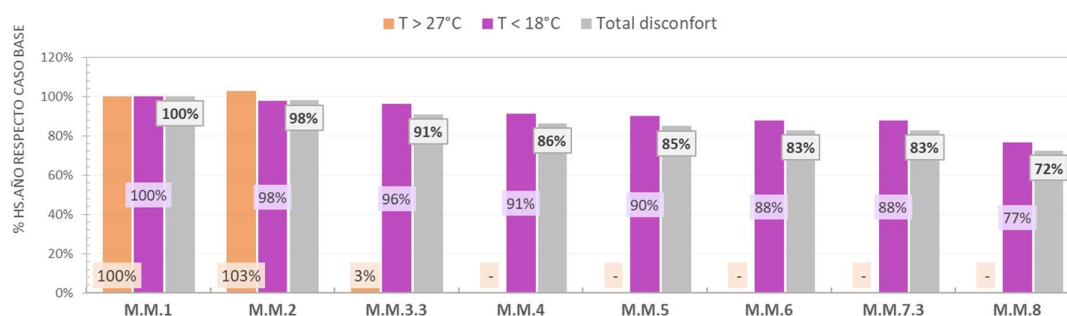


Figura 51 – Porcentaje horas al año fuera del rango de confort por escenarios –Montevideo – Orientación 270°.

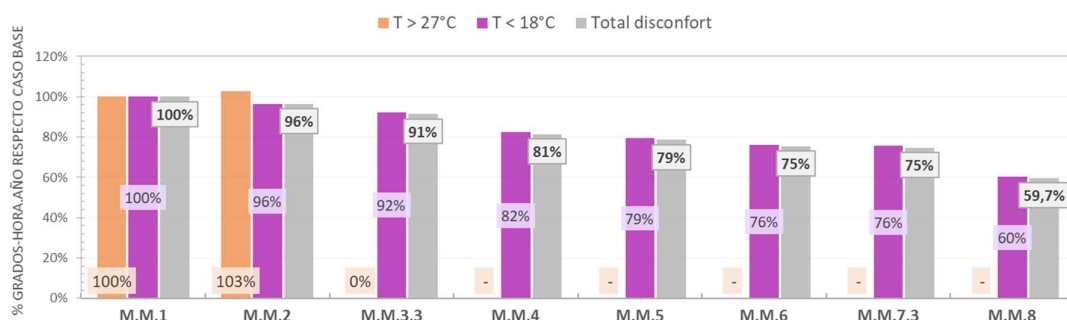


Figura 52 - Porcentaje grados-hora.año fuera del rango de confort por escenarios – Montevideo – Orientación 270°.

Respecto al disconfort producto de altas temperaturas, que para la vivienda emplazada en Montevideo tiene una incidencia muy baja, en el caso de esta orientación era de todas formas bastante mayor que para la vivienda con orientación original (119 vs. 17 grados-hora.año). A pesar de ser mayor logra también reducirse por completo con la implementación de medidas de mejoras propuestas (sin necesidad incluso de recurrir a la estrategia de ventilación natural adicional).

La propuesta presentada que produjo, notoriamente, una mayor reducción del disconfort fue el cambio de ubicación de la ventana del living, de la fachada este a la norte (medida *M.M.8*): redujo 1.619 grados-hora.año. Le sigue – en orden de magnitud de reducción – el cambio de cubierta por una solución de placa de poliestireno expandido, que redujo 1.068 grados-hora.año el disconfort, y luego la incorporación de persianas en las aberturas del living (reducción de 542 grados-hora al año).

Como complemento se muestra a continuación los valores máximos, mínimos y medios de temperaturas interiores de vivienda para el caso de partida (*M.M.1*) y la propuesta integral de mejoras (*M.M.8*).

Caso	Temp. Interior (°C)			amplitud °C
	máx	mín	media	
M.M.1	29,1	8,2	19,6	20,9
M.M.8	26,6	9,6	20,0	17,0
M.M.8- M.M.1	- 2,5	1,4	0,4	- 3,9

Tabla 130 – Valores máximos, mínimos y medios interiores de la vivienda – *M.M.1* y *M.M.8*.

Se observa que producto de las medidas de mejora implementadas la temperatura media anual de la vivienda aumenta 0.4 °C (pasa de 19.6 °C a 20.0 °C), mientras que la temperatura máxima se reduce 2.5 °C (variación más significativa) y la temperatura mínima aumenta 1.4 °C. Se destaca la reducción de casi cuatro grados Celsius de la amplitud térmica anual. Tanto las variaciones de temperaturas extremas como de la amplitud, resultaron mayores que las variaciones producto de las mejoras para el caso de mejoras en Montevideo con orientación original. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurría con la orientación 0°, donde las variaciones de temperaturas extremas resultaron en forma bastante pareja (1.1-1.2 °C), para esta

orientación más desfavorable la reducción de la temperatura máxima fue de casi el doble respecto a la de la temperatura mínima (2.5 vs. 1.4 °C).

Esto último va en línea con la mayor reducción de grados-hora año de disconfort lograda con las mejoras para esta orientación menos favorable, comparativa que se explica con más detalle a continuación.

Análisis comparativo de mejoras para el caso base – Orientación 0° y 270°

Resulta de interés realizar un análisis comparativo de los impactos generados con medidas análogas para ambas orientaciones. Se presenta primero un cuadro resumen comparativo con dichos impactos (en grados-hora año y porcentajes respecto a puntos de partida) para luego pasar a explicar las principales conclusiones a las que se arriba, en luz de estos resultados.

Montevideo		GRADOS-HORA al AÑO FUERA DEL RANGO DE CONFORT			Orientación 0°			Orientación 270°		
Escenario		Total disconfort anual			Total disconfort anual					
M./M.M.	Medida incorporada	grados-hora	Δ (°C-hs)	Δ (%)	grados-hora	Δ (°C-hs)	Δ (%)			
1	Caso base	7.640			10.745					
1.0	cambio fachada abertura dormitorio (AM01)	7.640	-	-	10.362	-383	-3,6%			
2	Ventilación adicional	7.636	-4	-0,1%	10.362	-	-			
3.3	Persianas en living (A7 + A20)	7.191	-445	-5,8%	9.820	-542	-5,2%			
4	Cubierta de placa de poliestireno expandido	6.044	-1.146	-15,9%	8.752	-1.068	-10,9%			
5	Muros exteriores_ aumento espesor espuma	5.658	-386	-6,4%	8.444	-308	-3,5%			
6	Muros ext._ aumento coeficiente absorción	5.412	-246	-4,3%	8.099	-345	-4,1%			
7.3	Ajuste perfil de uso persianas	5.325	-88	-1,6%	8.034	-65	-0,8%			
8	cambio fachada abertura living A7	4.978	-347	-6,5%	6.414	-1.619	-20,2%			
Total:			-2.662	-34,8%		-4.331	-40,3%			

Tabla 131 – Análisis comparativo – Montevideo_ Orientación 0° vs 270°.

Principales conclusiones

- Al aplicar la totalidad de mejoras para la viviendas se obtiene una reducción del disconfort del orden del **40.3% vs. 34.8%** respecto al caso base para orientación 270° y 0° respectivamente.
- Partiendo de un aumento de disconfort total anual (medido en grados-hora) del orden del **40.7%** respecto a la orientación original del caso base (*M.I* vs. *M.M.I*), se pasa a un aumento del **28.9%** para la orientación menos favorable, una vez aplicadas todas las medidas:

Mdeo.	HORAS al AÑO						GRADOS-HORA al AÑO					
	FUERA DEL RANGO DE CONFORT											
	T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort		T > 27°C		T < 18°C		Total disconfort	
c/mejoras	hs.año	%	hs.año	%	hs.año	%	°C.año	%	°C.año	%	°C.año	%
Orientación												
0° (M.8)	-		2.204	100%	2.204	100%	-		4.978	100%	4.978	100%
270° (M.M.8)	-		2.529	115%	2.529	115%	-		6.414	129%	6.414	128,9%

Tabla 132 – Confort interior M.M.8 vs M.8.

A pesar de que una vez aplicadas para ambas orientaciones las mejoras, sigue siendo notorio el mayor confort para el caso de orientación original respecto a la orientación 270°, la diferencia porcentual entre ambos – antes y después de la aplicación de medidas de mejoras – se acorta en forma importante: de 40.7% a 28.9%. Esto se diferencia respecto a lo que ocurría con la comparativa análoga para el departamento de Salto, donde la diferencia porcentual se reducía en menos de tres puntos porcentuales (de 47.7% a 44.9%).

- Analizando en **grados-hora** en lugar de porcentualmente, las mejoras incorporadas produjeron un mayor impacto aún para el caso de orientación más desfavorable: **4.331 vs. 2.662** grados hora-año.
- Respecto al impacto puntual de cada medida, merecen destacarse, sin dudas, las dos medidas que generaron mayor reducción del disconfort: la sustitución de la cubierta por una solución de placa de poliestireno expandido y el cambio de fachada para la abertura del living (A7).

La sustitución de cubierta por una **cubierta de placa de poliestireno expandido** logra una mejora no menor para ambas orientaciones, aunque porcentualmente la reducción resulta más acentuada para la orientación original: 15.9% vs. 10.9%. Esto es coherente con los resultados que había arrojado el análisis de sensibilidad para el apartado de orientaciones (*sección 4.3*), donde se había observado que la reducción de la transmitancia de cubierta generaba un impacto porcentual mayor para la orientación base respecto a la orientación menos favorable de 270° (15% vs. 10% en el análisis de sensibilidad de orientaciones), fenómeno que ocurre tanto para Montevideo como para Salto. Puede decirse entonces que en esta sección se arriba a resultados del orden de lo esperado.

En cuanto a la medida de **cambiar la fachada de la abertura del living**, mientras que para la vivienda con orientación original representó una reducción del 6.5% del disconfort anual (respecto a la vivienda ya con las demás mejoras incorporadas), para la orientación llamada “menos favorable” (giro 270°) esta propuesta se volvió la medida que mayor impacto generó, reduciendo un 20.2% el disconfort en iguales condiciones. En grados-hora, esta medida redujo 342 grados-hora al año el disconfort para la orientación 0° mientras que para la orientación de 270° redujo 1.619 grados-hora al año. Este notorio mayor impacto se explica puesto que para el caso de orientación menos favorable, la ventana se pasa a la fachada norte, que es la que mayor radiación recibe, mientras que en la orientación original el cambio es a la fachada oeste, donde la carga térmica por radiación no es tan elevada. Por ello el mayor aumento de temperatura – que logra

contrarrestar el desconfort por bajas temperaturas – se produce para el caso de orientación 270°. También es importante tener en cuenta que esta abertura (A7) cuenta, para el modelo mejorado, con elementos de protección con perfil optimizado, lo que evita que pueda generarse desconfort por temperaturas por encima del rango en épocas calurosas (persianas activas las 24 hs en meses de verano), lo cual reduciría el impacto de esta mejora.

- Hay otra observación interesante a mencionar, pues reafirma lo presentado en el análisis de orientaciones para Montevideo (*sección 4.3*), que es la mayor incidencia en la reducción porcentual del desconfort de la reducción de transmitancia del muro (medida *M./M.M.5*) para la orientación 0°. En el análisis de orientaciones se había notado que una reducción de la transmitancia del muro en un 50% produce una reducción del desconfort del orden del 15% para el caso de la orientación 0° y del orden del 8% para la orientación 270°. Con la mejora *M./M.M.5*, donde se reduce la transmitancia del muro en un 15%, la mejora del confort resultante resulta proporcional en ambas orientaciones a lo esperado en función de dicho análisis: 6.4% vs. 3.5%. Podemos reafirmar entonces que la reducción de transmitancia en la envolvente, tanto de la cubierta como de los muros exteriores, produce una mayor reducción porcentual del desconfort para la orientación original respecto a la orientación menos favorable.
- Es de interés poder discriminar entre lo que son las mejoras producto de medidas que llevan implícito una inversión económica, y aquellas que no. Esto es muy importante pues permite evaluar cuánto se puede mejorar el confort de este tipo de viviendas de interés social sin tener siquiera que invertir más para ello; esto sin desmedro de aquellas otras que sí requieren inversión, pero que como contrapartida traerán mejoras en el confort de las personas, así como también ahorros en satisfacer demandas energéticas.

En tal sentido, podemos clasificar las medidas de mejoras propuestas en este estudio de la siguiente forma³⁰:

<i>M./M.M.</i>	Medidas SIN INVERSIÓN económica	<i>M./M.M.</i>	Medidas CON INVERSIÓN económica
1.0	Cambio fachada abertura dormitorio (AM01)	3.3	Persianas en living (A7 + A20)
2	Ventilación adicional	4	Cubierta de placa de poliestireno expandido
7.3	Ajuste perfil de uso persianas	5	Muros exteriores_ aumento espesor espuma
8	Cambio fachada abertura living A7	6	Muros ext._ aumento coeficiente absorción

Tabla 133 – Clasificación de mejoras propuestas según la necesidad de inversión económica.

Al discriminar el peso de cada una de estas categorías sobre la mejora total, puede notarse claramente la diferencia entre ambas orientaciones, como se muestra en el cuadro a continuación.

³⁰ Los cambios de disposición de las aberturas en las fachadas se consideran como medidas sin inversión económica entendiéndose la propuesta es re-ubicarlas en la fachada propuesta como mejora antes de iniciar la construcción de la vivienda (no cambiarla una vez ya construida, lo cual sí traería un costo asociado).

Resumen reducción discomfort anual (grados-hora)		Orientación 0°		Orientación 270°	
M./M.M.	Medidas SIN INVERSIÓN económica	Δ (°C-hs)	%	Δ (°C-hs)	%
		-438	16%	-2.068	48%
1.0	Cambio fachada abertura dormitorio (AM01)	-		-383	
2	Ventilación adicional	-4		-	
7.3	Ajuste perfil de uso persianas	-88		-65	
8	Cambio fachada abertura living A7	-347		-1.619	
		-2.224	84%	-2.263	52%
3.3	Persianas en living (A7 + A20)	-445		-542	
4	Cubierta de placa de poliestireno expandido	-1.146		-1.068	
5	Muros exteriores_ aumento espesor espuma	-386		-308	
6	Muros ext._ aumento coeficiente absorción	-246		-345	
		-2.662	100%	-4.331	100%

Tabla 134 – Resumen reducción discomfort anual (medido en grados-hora) distinguiendo entre medidas con y sin inversión económica – Montevideo_ Orientación 0° y 270°.

Mientras que para la vivienda con orientación original (0°) las medidas que no implican un sobre costo/inversión económica adicional representan tan solo un 16% del total de reducción del discomfort generado, para la vivienda con orientación más desfavorable (270°) estas representan casi la mitad (48%).

Se observa cómo aplicando todas medidas de mejoras sin necesidad de inversión económica sobre la vivienda de orientación más desfavorable, el discomfort anual igual sigue siendo mayor que el de la vivienda del caso base sin aplicación alguna de medida. Dicho en otras palabras, es necesario aplicar medidas que conllevan una inversión económica para alcanzar un confort equiparable al de la vivienda con orientación original. Incluso el escenario donde se incorporan persianas para las aberturas del living (M.M.3.3) – lo cual trae implícito un sobre costo no menor) – el discomfort sigue siendo mayor al de la vivienda caso base, orientación original (9.820 vs 7.640 grados-hora.año). **La conclusión principal a la que se arriba con esto** – al igual que se concluyó para la vivienda emplazada en Salto – **es la importancia de adoptar como medida de mejora la elección adecuada de la orientación de la vivienda al proyectar su implantación.** Esta medida, reforzando lo planteado para el caso de Salto, es fundamental para poder obtener un mejor confort térmico evitando luego la necesidad de invertir para lograr resultados de confort equiparables al de la vivienda del caso base, orientación original.

Capítulo 6. Conclusiones y perspectivas

La evaluación termo-energética de la vivienda modelo arrojó resultados coherentes con la situación climática de cada emplazamiento considerado. La vivienda emplazada en Salto presentó mayor discomfort durante el período caluroso que la emplazada en Montevideo, pero también discomfort durante el período frío (medido en grados-hora, el discomfort por temperaturas por encima del rango de confort fue del mismo orden que el discomfort por temperaturas por debajo del rango). La vivienda emplazada en Montevideo, por otro lado, presentó prácticamente sólo discomfort durante el período frío, resultando en invierno mayor el discomfort en Montevideo respecto a Salto. En ambos casos se observó una reducción de la amplitud térmica diaria interior respecto a la exterior del orden de un tercio, lo cual evidencia una envolvente capaz de amortiguar los cambios bruscos de temperatura.

De los resultados del **análisis de sensibilidad** se destaca que el rol del usuario incide en forma importante en el confort de la vivienda. Un **perfil de uso** óptimo de las **persianas**, resulta para el caso de la vivienda emplazada en Salto en más de un 40% de reducción del discomfort. En Montevideo esta incidencia es menor (debido a una menor irradiación y al menor discomfort por altas temperaturas en la vivienda de partida), pero supera de todas formas el 10%.

El uso de elementos de protección en aberturas mejoran el confort tanto en invierno (pues permite generar una ganancia solar activa) como en verano (logrando controlar el ingreso de energía solar). La presencia de persianas puede lograr una mejora no menor en el confort de la vivienda, pero esto condicionado a un perfil de uso adecuado de las mismas. Un uso no adecuado, por el contrario, resulta en un discomfort para la vivienda mayor que el no contar con estos elementos de protección.

La estrategia de **ventilación** permite mejorar el confort durante el período caluroso. Dado que en la vivienda en Montevideo no presenta casi discomfort por temperaturas elevadas, es una estrategia interesante solo para el emplazamiento de Salto.

Por otro lado, se realizó un **análisis de orientaciones** (*sección 4.3*). Para ambos emplazamientos, la orientación más favorable de las cuatro analizadas fue la del caso base original, con el ventanal del living apuntando hacia el norte y la fachada ciega al este. A su vez, tanto para Salto como para Montevideo, la orientación más desfavorable de las cuatro resultó la orientación con la fachada ciega al norte. Para esta orientación, el discomfort anual aumenta en ambos emplazamientos en más de un 40% (tomando como medida los grados-hora de discomfort). Es de interés mencionar que estos resultados están afectados por el uso de las persianas, y por el hecho de que el ventanal en la fachada norte original es encuentra bajo alero (lo cual efecto la ganancia solar exagerada en época calurosa). El mal uso de las persianas y la ausencia de alero, probablemente modificarían estas conclusiones.

El estudio realizado para las orientaciones permite validar en líneas generales los comportamientos observados y las conclusiones arribadas en el análisis de sensibilidad (realizado para la orientación original)

para el resto de las orientaciones. Se observa a su vez que el grado de sensibilidad del confort de la vivienda ante cambios de escenarios de activación de persianas presenta una alta variabilidad según la orientación (lo cual es razonable pues está fuertemente ligada a la radiación solar).

Por otra parte, se validó mediante simulaciones la medida de mejora adoptada por MEVIR de reubicar las aberturas de los dormitorios en esquina de forma de colocarlas siempre que se pueda apuntando al norte. Se confirma que en todos los casos esta medida efectivamente genera una mejora en el confort, logrando reducir el desconfort entre un 2.4% y 12.9% en función de la orientación y emplazamiento considerado.

Propuestas de mejora

Se evaluó un conjunto de medidas (aplicadas en forma simultánea) para generar una mejora en el confort de la vivienda de estudio en ambos emplazamientos, en la orientación original y en la orientación que presentó mayor desconfort. Para la orientación más desfavorable el análisis realizado consistió, por otro lado, en evaluar cómo y en qué medida impactan las mismas propuestas de mejora aplicadas para el caso base.

En Montevideo, las medidas apuntaron a atacar la problemática del desconfort en meses frío. En Salto, por el contrario, sí fue importante atacar también el desconfort en los meses calurosos.

El conjunto de medidas de mejora incluyó modificaciones en los perfiles de uso considerados en las hipótesis del caso original (por ejemplo, perfiles de uso de persianas y horarios ventilación), así como también medidas de mejora en el diseño de la vivienda (tanto variantes a nivel constructivo como incorporación de nuevos elementos).

Localidad de Salto

Como primeras medidas de mejora se adoptaron dos estrategias para atacar el desconfort producto de altas temperaturas: ampliar los horarios de ventilación de la vivienda y extender el cierre de persianas en horarios con alta irradiación. La aplicación de estas dos medidas en conjunto generó una reducción del desconfort sobre la vivienda en Salto del orden del 8% (medido en grados-hora al año) para ambas orientaciones.

La **incorporación de persianas adicionales en las aberturas del living** logra una importante reducción sobre el desconfort total de la vivienda del 16,4% para el caso de orientación original y 21,5% para la orientación más desfavorable (con las medidas anteriores ya incorporadas). Esta medida generó tanto en grados-hora como porcentualmente una mayor reducción para la orientación menos favorable, lo cual se explica pues la protección de dichas aberturas genera un mayor impacto en aquellos casos en que la carga térmica por radiación resulta mayor. Esta fue la medida que en ambas orientaciones produjo mayor reducción del desconfort para el período caluroso.

Por último, las propuestas anteriores de mejora se complementan con otra medida a nivel constructivo de la vivienda: **reducir la transmitancia de la cubierta**. Se planteó entonces la propuesta de cubierta de placa

de poliestireno expandido, de espesor 10 cm, alternativa de cubierta ya ejecutada en algunos planes de viviendas de MEVIR (y por tanto viable técnicamente). Esta propuesta de cubierta liviana tiene una transmitancia térmica del orden de la mitad de la propuesta básica de econopanel, y genera una reducción adicional del desconfort del orden del 25% para la orientación original, y del orden del 20% para la orientación más desfavorable. Esta propuesta de mejora fue, dentro de las presentadas para la localidad de Salto, la que produjo una mayor reducción del desconfort para el período frío. Se considera que a pesar de que en materiales la cubierta original es más económica, gran parte de este sobrecosto en materiales se compensa con el ahorro en mano de obra necesaria (reduciendo también el tiempo de ejecución). A su vez, la mejora en el confort generada es tal que se considera importante tener esto presente a la hora de evaluar costo-beneficio. Se destaca que con esta medida no se precisa del rol del usuario para hacer efectivo su beneficio en confort, como sí sucede con la incorporación de elementos de protección de ventanas.

En síntesis, la incorporación de estas cuatro medidas de mejoras propuestas para la vivienda emplazada en Salto resulta en una mejora del confort anual global (medido en grados-hora) de 42.4% en el caso de la orientación del caso base y 43.5% en el caso de la orientación más desfavorable. Porcentualmente la mejora para ambas orientaciones es muy similar, aunque analizando en grados-hora se observa que las mejoras incorporadas produjeron un mayor impacto para el caso de la orientación más desfavorable: 3.058 vs. 2.018 grados-hora al año.

Discriminando entre desconfort producto de temperaturas por encima y por debajo del rango de confort, la mayor reducción del desconfort se logró para el período caluroso (53% para el caso de orientación original y 68% para la orientación más desfavorable). La reducción de desconfort para el período frío de todas formas fue importante también (34% y 28% respectivamente). Esta mayor mejora de confort para el período caluroso se explica en gran parte pues las primeras dos medidas implementadas como optimización de hipótesis del modelo base fueron estrategias que atendieron exclusivamente el desconfort producto de elevadas temperaturas.

Comparando los casos originales de ambas orientaciones, la orientación más desfavorable pasa de presentar – antes de aplicar las medidas – un aumento del desconfort total anual (medido en grados-hora) respecto a la orientación original del orden del 47,7% a un aumento de 44,9% una vez implementadas las propuestas de mejoras para ambas orientaciones.

Localidad de Montevideo

La adopción de la medida de incorporar persianas en el living, beneficiosa también para este emplazamiento, resultó de todas formas en mejoras menos significativas que las generadas para la misma vivienda en Salto (5.8% vs 16.4% de mejora anual).

Para el caso de Montevideo, la implementación de las cuatro medidas adoptadas para Salto logran una mejora porcentual del orden de la mitad de la obtenida en Salto (20.9% vs. 42.5%, comparando las

orientaciones originales de ambos emplazamientos). Es por eso que para el caso de Montevideo se adoptaron medidas complementarias, de forma de aumentar la mejora en confort obtenida, buscando sí medidas adicionales que no impliquen incrementos considerables en costos de inversión.

Las medidas adicionales a implementar consistieron en: reducir de la transmitancia de fachada mediante el aumento del espesor de la placa de espuma (reducción de transmitancia del 15%), aplicar una terminación para los muros de fachada con pintura beige oscura (colores más oscuros tienen mayor absortividad, lo que favorece la captación de energía, reduciendo así el desconfort por bajas temperaturas) y reubicar la ventana del living (única abertura presente en fachada sur en el caso de la orientación original. Estas tres medidas generaron mejoras adicionales de 6.4%, 4,3% y 6,5% respectivamente (para el caso de la orientación original).

En síntesis, la incorporación de la totalidad de medidas de mejoras propuestas para la vivienda en Montevideo resultan en una mejora del confort anual global (medido en grados-hora) del 34,8% para el caso de la orientación del caso base y 40.3% en el caso de la orientación más desfavorable. En este caso tanto porcentualmente como en valores netos se observa que las mejoras incorporadas produjeron un mayor impacto para el caso de la orientación más desfavorable.

Para la **orientación más desfavorable**, la propuesta que produjo una mayor reducción del desconfort fue el cambio de ubicación de la ventana del living hacia la fachada norte, seguido por el cambio de cubierta, y luego por la incorporación de persianas en aberturas del living.

Mientras que para la orientación original la medida de cambiar de fachada la ventana del living representó una reducción del 6.5% del desconfort anual para la orientación “menos favorable” esta propuesta fue la que mayor impacto generó, reduciendo un 20.2% (en ambos casos referido a la vivienda ya con las demás mejoras incorporadas). Esto se explica pues en el caso de la orientación más desfavorable la nueva ubicación pasa a ser la fachada que recibe mayor radiación de las cuatro (fachada norte).

Comparando los casos originales de ambas orientaciones, la orientación más desfavorable pasa de presentar – antes de aplicar las medidas – un aumento del desconfort total anual (medido en grados-hora) respecto a la orientación original del orden del 40,7% a un aumento de 28,9% una vez implementadas las propuestas de mejoras para ambas orientaciones.

A pesar de que este porcentaje global anual de desconfort obtenido para Montevideo es inferior al obtenido con las mejoras realizadas para Salto, resulta interesante observar que el porcentaje de desconfort por bajas temperaturas que se logra reducir es prácticamente el mismo para ambos emplazamientos (34% para Salto y 35% para Montevideo, para la orientación original). A su vez, si en lugar de analizar porcentualmente el desconfort total anual, se analizan los grados-hora netos de desconfort, se observa que la mayor reducción se da para Montevideo (2.662 vs. 2.018 grados-hora para Salto).

Reflexiones adicionales

Es de interés poder discriminar entre lo que son las mejoras producto de medidas que llevan implícito una inversión económica, y aquellas que no, dado que permite evaluar cuánto se puede mejorar el confort de este tipo de viviendas de interés social sin tener siquiera que invertir más para ello.

Aplicando todas medidas de mejoras de uso sin necesidad de inversión económica (cambio de fachadas de ventanas, horarios ventilación y activación persianas) sobre la vivienda de orientación más desfavorable, el disconfort igual sigue siendo mayor que el de la vivienda del caso base sin aplicación alguna de medida. En otras palabras: para la vivienda de orientación más desfavorable es necesario aplicar medidas que conllevan una inversión económica para alcanzar un confort equiparable al de la vivienda con orientación original. La conclusión principal a la que se arriba con esto entonces es la **importancia de adoptar como medida de mejora la elección adecuada de la orientación de la vivienda al proyectar su implantación.**

Perspectivas

Se considera que los hallazgos de esta tesis pueden aportar al mejor confort de las viviendas nuevas de MEVIR, destacándose las medidas que no implican un costo económico (elección de orientación, reubicación de ventanas, pintura exterior), así como otras de inversión relativamente menor. Podría pensarse también como una recomendación muy interesante la difusión de prácticas de uso eficiente (protecciones solares y ventilación) a nivel de los usuarios.

Por último, concluido este trabajo de investigación, se presentan como posibles líneas futuras de investigación:

- realizar mediciones en sitio de parámetros tales como infiltraciones de la vivienda, temperaturas interiores y hábitos de consumo, de forma de poder con las mismas realizar una calibración del modelo generado.
- evaluar la incidencia de porcentaje de área vidriada y morfología de la vivienda en el confort térmico (por fuera de objeto de este trabajo)
- estudiar y profundizar sobre el efecto de la ventilación, modelando la misma en función de apertura de ventanas y puertas.
- avanzar en propuestas de alternativas constructivas no tradicionales
- profundizar el estudio de la modelación del subsuelo
- incorporar el estudio de mejoras desde el punto de vista del consumo energético, incorporando en las simulaciones el uso de calefacción y refrigeración auxiliar.

Referencias Bibliográficas

- Digesto Departamental Montevideo. (Julio de 2009). Exigencias mínimas de aislación térmica para edificios destinados a vivienda. *Res. IMM 2928/09, XV, R.1652.9*. Montevideo.
- Alonso-Suarez, R., Bidegain, M., Abal, G., & Modernell, P. (2016). *Año Meteorológico Típico para Aplicaciones de Energía Solar (AMTUes): series horarias típicas para 5 sitios del Uruguay (versión 2.4)*. Publicación de la Comisión Secorial de Investigación Científica de la Udelar. ISBN: 978-9974-0-1647-7. .
- ASHRAE. (2004). *ANSI/ASHRAE 119-1988; Citado en: (González Cáceres, y otros, 2014)*.
- ASHRAE. (2009). *ASHRAE handbook: Fundamentals*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers.
- ASHRAE. (2013). *Thermal environmental conditions for human occupansi (ANSI/ASHRAE Standard 55-2013)*.
- Cataldo, J., Diaz-Arnesto, G., & Castañas, V. (2016). *Análisis del Desempeño Energético y Estructural de Cerramientos Vidriados*.
- Delcroix, B., Kummert, M., Daoud, A., & Hiller, M. (2013). Conduction transfer functions in TRNSYS multizone building model: Current implementation, limitations and possible improvements. *13th Conference of International Building Performance Simulation Association*, (págs. 2667-2674). Chambéry, Francia.
- DINAVI - MVOTMA. (2011). *Estándares de desempeño y requisitos para la vivienda social*.
- Dirección de Eficiencia Energética en Edificaciones y Sector. (2020). *Programa Nacional de Eitquetado de Viviendas - Informe* .
- DNE-MIEM. (2016). *Año Meteorológico típico _ Energía Solar*. Obtenido de Energía Solar: <http://www.energiasolar.gub.uy/index.php/investigacion-e-innovacion/recurso-solar/ano-meteorologico-tipico>
- Fernandez, A., Garzón, B. S., & Elsinger, D. (2020). Incidencia de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico en la etiqueta de eficiencia energética en Argentina. *Hábitat Sustentable*, 10(1), 56-67.
- González Cáceres, A., Fritz Durán, A., Bobadilla Moreno, A., Recart Zapata, C., Muñoz iveros, C., Jerez, H., . . . Espinoza Maldonado, R. y. (2014). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. Concepción, Chile: Ediciones Universidad del Bío-Bío.
- Grupo Termotecnia, a. U. (2015). *Estudio de medidas de eficiencia energética en el sector residencial y evaluación de costos y beneficios asociados en Uruguay*. Montevideo: -.
- Hernández, M., Turegano, J., & García, F. (2003). La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo. *CoArquitectura*, 65-80.
- Incropera, F. P., Dewitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. John Wiley & Sons.
- Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (CSIC). (2020). *Presentación - Código Técnico de la Edificación*. Obtenido de Código Técnico de la Edificación: <https://www.codigotecnico.org/QueEsCTE/Presentacion.html>
- IRAM. (1996). IRAM 11.605:(1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Argentina: IRAM.
- ISO. (2017). ISO 14683:(2017). Puentes térmicos en edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto. AENOR.

- Li, X. Q., Chen, Y., Spitler, J., & Fisher, D. (2009). Applicability of calculation methods for conduction transfer function of building constructions. *International Journal of Thermal Sciences*, 48(7), 1441-1451.
- MIEM - DNE. (2016). EDEE v1.0 _ Manual de Usuario. Uruguay.
- MIEM. (2020). *Eficiencia Energética*. Obtenido de <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/eficiencia-energetica>
- MIEM-DNE. (2015). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015-2024*. Montevideo.
- MIEM-DNE. (2018). *Balance Energético 2018*.
- MIEM-DNE. (2020). *Plan Nacional de Eficiencia Energética*. Obtenido de Eficiencia Energética: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/plan-nacional-de-eficiencia-energetica>
- MIEM-DNE. (2020b). *Política Energética*. Obtenido de DNE/MIEM_Eficiencia Energética: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/politica-energetica>
- MIEM-DNE. (2020c). *Eficiencia energética - Sectorial_Edificaciones*. Obtenido de DNE/MIEM _ Eficiencia Energética: <http://www.eficienciaenergetica.gub.uy/edificaciones>
- Ministerio de Fomento. (2010). Catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación. . Gobierno de España.
- Ministerio de Fomento. (2017). CTE-HE-1:(2017) - Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE-1 - Ahorro de energía. Limitación de la demanda energética. Gobierno de España.
- Ministerio de Interior, Obras Públicas y Vivienda Argentina. (2019). *Manual de Vivienda Sustentable*. Buenos Aires.
- Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. (2015). Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía. España.
- Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (Abril de 2020). *Conceptos básicos sobre la modificación del Código Técnico de la Edificación*.
- Oficina de Publicaciones de la Unión Europea. (2018). *Directiva UE relativa a la eficiencia energética de los edificios*. Obtenido de EUR-Lex - Documentos jurídicos de la UE: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/LSU/?uri=celex:32010L0031>
- Picción, A., Camacho, M., López, M. N., & Milicua, S. (2009). *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo*. Facultad de Arquitectura UDELAR, Departamento de Clima y Confort en Arquitectura - Instituto de Construcción, Montevideo.
- Reus Netto, G., & Czajkowski, J. (2016). Comparación entre las normativas de desempeño térmico edilicio de Argentina, Brasil y Chile. Aplicación a vivienda de interés social. *Ambiente Construido*, 16(1), 105-122.
- Sáez, S. (2019). *Consultoría en eficiencia energética: Evaluación de proyectos de vivienda unifamiliar de Mevir Tipologías "Tambores" - 3 dormitorios, "Polanco" - 3 dormitorios. Línea de base vs. Línea de Mejora*. Montevideo.
- Spliter, J. D., & ASHRAE. (2014). *Load calculation applications manual*. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- U.S. Department of Energy. (Setiembre de 2016). Obtenido de EnergyPlus™ Version 8.7 Documentation - Getting Started with Energy Plus: https://energyplus.net/sites/all/modules/custom/nrel_custom/pdfs/pdfs_v8.7.0/GettingStarted.pdf
- U.S. Department of Energy. (2019). EnergyPlus™ Version 9.2.0 Documentation - Engineering Reference.
- Udelar . (2017). Hterm 3.0 (V.17.12) - Guía de usuario.
- UNE-EN. (1999). UNE-EN 12207:(1999). Puertas y Ventanas. Permeabilidad al aire. Clasificación. UNE-EN.

- UNE-EN. (2007). UNE-EN 15242:(2007) Ventilación de los edificios. Métodos de cálculo para la determinación de las tasas de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración . AENOR.
- UNE-EN ISO. (2010). UNE-EN ISO 100077-1: (2010) Comportamiento térmico de ventanas, puertas y persianas. Cálculo de la transmitancia térmica. Parte 1: Generalidades. AENOR.
- UNIT. (1999). UNIT 1026:(1999). Aislamiento térmico de edificios. Zonificación climática. Montevideo: UNIT.
- UNIT-ISO. (2007). UNIT ISO 10456:(2007). Materiales y productos para edificación – Propiedades higrotérmicas – Valores de diseño tabulados y procedimientos para determinar los valores térmicos de diseño y declarados. Montevideo: UNIT-ISO.
- UNIT-ISO. (2007). UNIT-ISO 6946:(2007) Componentes y elementos de los edificios - Resistencia térmica y transmitancia térmica - Método de cálculo. Montevideo: UNIT-ISO.
- UNIT-ISO. (2012). UNIT-ISO 13788:(2012). Desempeño térmico de los elementos y componentes de edificación – Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial - Métodos de cálculo. Montevideo: UNIT-ISO.
- UNIT-ISO. (2017). UNIT-ISO 17772-1:(2017). Desempeño energético de los edificios - Calidad del ambiente interior - Parte 1: Parámetros de entrada del ambiente interior para el diseño y evaluación del desempeño energético de los edificios. Montevideo: UNIT-ISO.

Nota:

Todas las páginas webs a las que se hace mención en las Referencias Bibliográficas fueron consultadas en el año 2020

ANEXOS

Anexo 1: Definiciones y conceptos

Muchos de los conceptos principales de esta tesis fueron introducidos en el desarrollo del trabajo. De todas formas, se presentan a continuación en este anexo algunos conceptos importantes base de los desarrollados en la tesis, como complemento para el lector.

Confort térmico

Tal como lo define la sociedad estadounidense referente en estos temas ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), el confort térmico es “la condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico y que es evaluada en forma subjetiva” (ASHRAE, 2013).

Grados-hora de disconfort

Los grados hora de disconfort es una unidad que relaciona la temperatura media (ya sea exterior o interior de un recinto que se esté evaluando) con una cierta temperatura de confort. Se define como la suma a lo largo de un período determinado de las diferencias de temperatura entre un valor base (en función de los extremos de temperaturas establecidos para el rango de confort) y la temperatura media horaria, cuando esta se encuentra por fuera del rango de confort establecido.

En este trabajo se utiliza el concepto de grados-hora al año como indicador para expresar el disconfort de la vivienda.

Eficiencia Energética vs. Ahorro Energético

El concepto de eficiencia energética involucra que el costo de evitar una unidad energética es menor o igual que el costo de generar o producir la unidad de energía evitada. Una mejora en la eficiencia de utilización de los recursos energéticos se logra cuando se obtiene de forma costo – efectiva el mismo producto o servicio utilizando una menor cantidad de energía.

El uso eficiente de la energía no reduce la producción ni afecta el confort, siendo esa la principal diferencia entre la eficiencia energética y el ahorro de energía (MIEM, 2020)

Hermeticidad e infiltraciones: exigencias y normativas a nivel internacional

Resulta de interés puntualizar que la hermeticidad al aire de una edificación define su capacidad para oponerse a las infiltraciones, y se la conoce como una propiedad específica, es decir, una característica propia de la envolvente (González Cáceres, y otros, 2014). La hermeticidad es uno de los requisitos exigibles y se suele definir ya sea para la edificación en su conjunto y/o para puertas y ventanas de uso exterior.

Las recomendaciones de diseño internacionales respecto a la hermeticidad al aire de edificaciones apuntan hoy a construir edificios con el mayor grado de hermeticidad posible y atender las necesidades de aire nuevo controladamente, es decir, asegurar que exista siempre una ventilación mínima suficiente. La principal razón para pretender regular las infiltraciones deriva del interés por limitar la demanda energética para el acondicionamiento térmico de una vivienda.

A nivel internacional, se utilizan distintos enfoques y criterios para fijar las clases de hermeticidad aceptables. Los sistemas más comunes diferencian exigencias por clima y territorio, mientras que los más complejos, diferencian exigencia por tipo de edificio, y por tamaño y tipo de sistema de ventilación.

Los países con menor diversidad climática, establecen normalmente una clase o exigencia única para todo el territorio nacional. Este es el caso de la mayoría de los países europeos, tal como Inglaterra o Alemania, por ejemplo. En cambio los países con climas marcadamente distintos dentro de su territorio, optan por subdividirlo en zonas que agrupan localidades con demandas energéticas por infiltraciones relativamente similares. La exigencia de hermeticidad en estos casos se diferencia por zonas, y el nivel de exigencia por el potencial climático para generar infiltraciones. El potencial queda determinado por las variables climáticas presión de viento, temperatura y humedad ambiente.

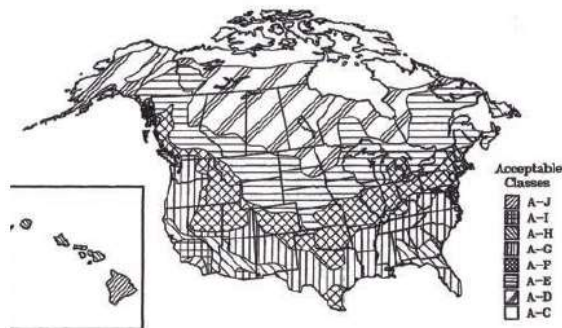
La siguiente tabla muestra las clases aceptables de hermeticidad al aire de edificaciones en distintos países, expresadas a través de diferentes indicadores, todos ellos factibles de ser verificados objetivamente mediante métodos normalizados.

País	Tipología	Valor límite máximo	Indicador	Unidad	Presión (Pa)	
Alemania	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	1,5				
Austria	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	1,5				
Bélgica	Viviendas con ventilación mecánica balanceada	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con recuperación de calor	1,0				
Bulgaria	Edificios	Alta estanqueidad	q50	m³/h m²	50	
		Media estanqueidad				2 a 5
		Baja estanqueidad				5,0
	Viviendas unifamiliares	Alta estanqueidad				4,0
		Media estanqueidad				4 a 10
Baja estanqueidad	10					
Eslovenia	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	2,0				
Estonia	Inmuebles pequeños	6,0	q50	m³/h m²	50	
	Inmuebles de gran tamaño	3,0				
Francia	Viviendas unifamiliares	0,8	q4	m³/h m²	4	
	Otros tipos de viviendas	1,2				
Letonia	Todo tipo de edificios	3,0	q50	m³/h m²	50	
Lituania	Viviendas con ventilación natural	3,0	n50	Vol./h	50	
	Viviendas con ventilación mecánica: menor a 1,5	1,5				
Noruega	Viviendas	3,0	n50	Vol./h	50	
Reino Unido	Viviendas	10,0	q50	m³/h m²	50	
	Viviendas con ventilación mecánica	5,0				
EEUU y Canadá	Cuentan con su propio indicador Ln y sobre este se definen clases de la A a la J las que se aplican según los grados día de infiltración	0,1 a 1,6	Ln	-	-	
Suecia	Viviendas	0,8		l/s m²	50	
Suiza	Viviendas nuevas	0,75	q50	m³/h m²	4	
	Viviendas reformadas o modificadas	1,5				
Holanda	Viviendas suministro y extracción natural	30 a 200		l/s	10	
	Viviendas suministro natural y extracción mecánica					
	Viviendas suministro mecánico y extracción natural					
	Viviendas suministro y extracción mecánica	50 a 80				

Tabla 135 – Clases de hermeticidad al aire aceptables para edificios en distintos países.

Fuente: (González Cáceres, y otros, 2014)

Uno de los ejemplos típicos de zonificación a nivel de un país es el de Estados Unidos (*ANSI/ASHRAE 119-1988,2004*) el cual se aplica a Estados Unidos y Canadá, subdividiendo el territorio en base a un indicador de severidad climático conocido como Grados Días de Infiltración.

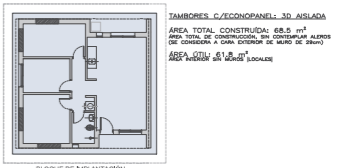
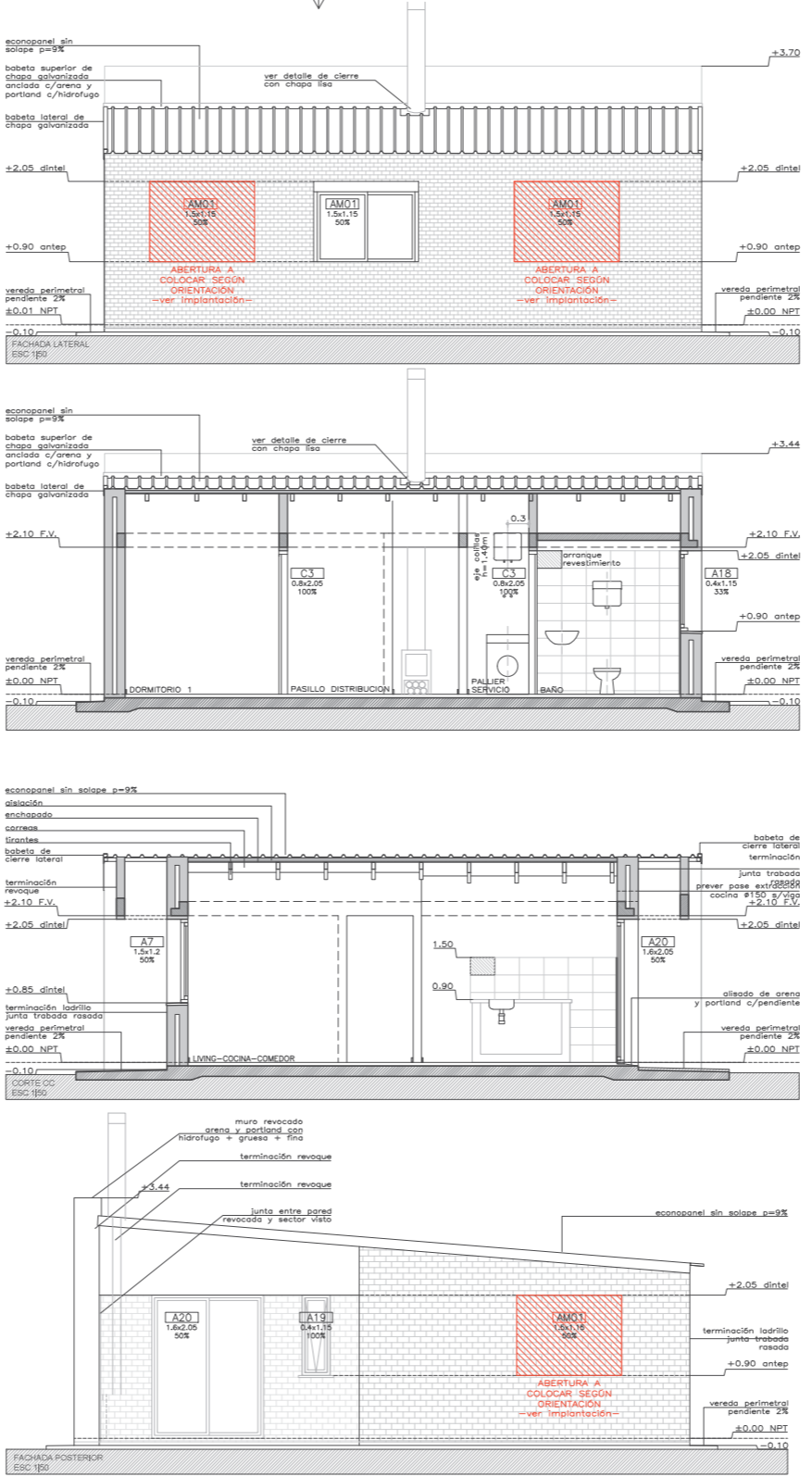
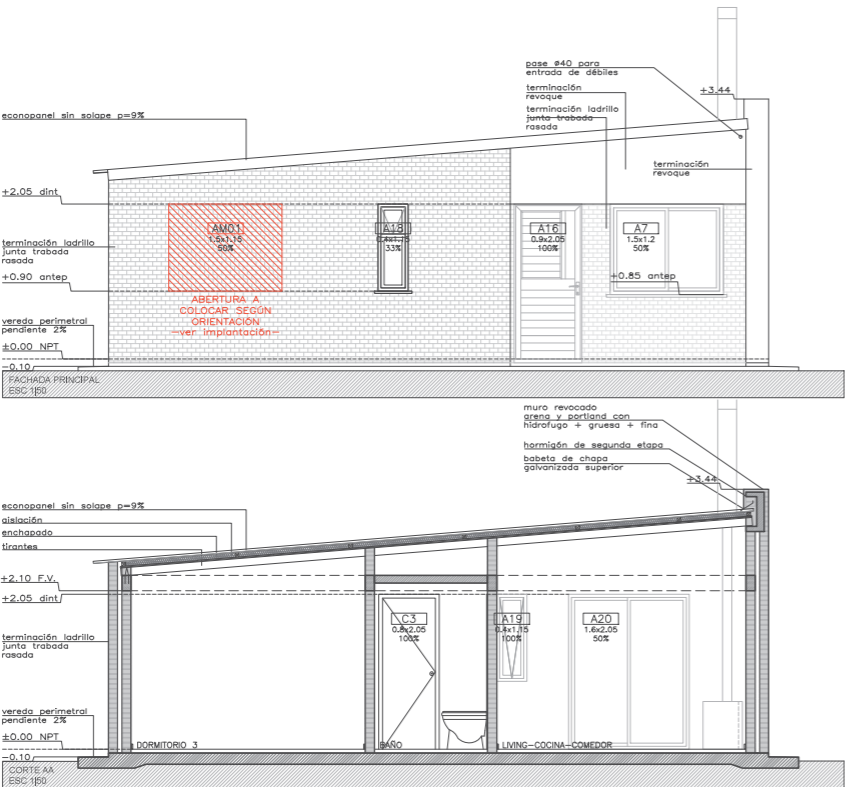
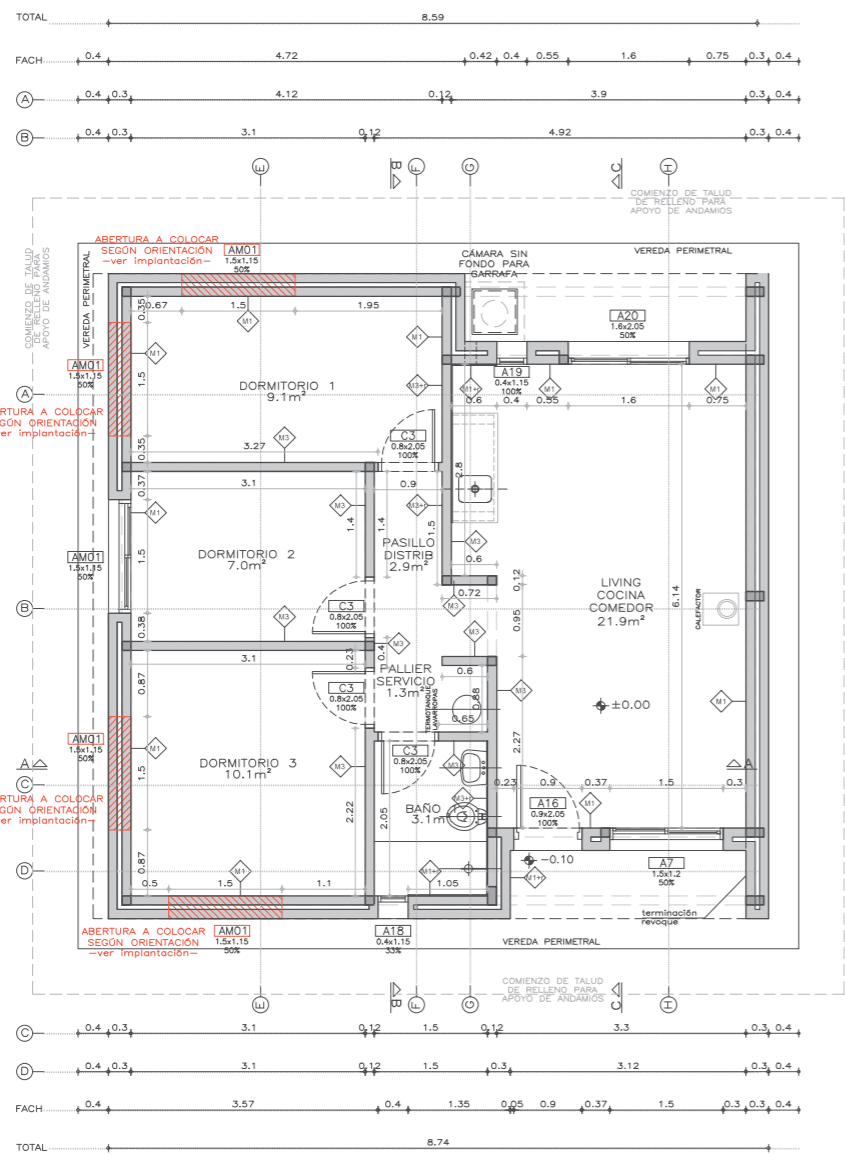


Infiltración normalizada	Clase de infiltración
$Ln < 0,1$	A
$0,1 \leq Ln < 0,14$	B
$0,14 \leq Ln < 0,2$	C
$0,2 \leq Ln < 0,28$	D
$0,28 \leq Ln < 0,4$	E
$0,4 \leq Ln < 0,57$	F
$0,57 \leq Ln < 0,8$	G
$0,8 \leq Ln < 1,13$	H
$1,13 \leq Ln < 1,6$	I
$1,6 \leq Ln$	J

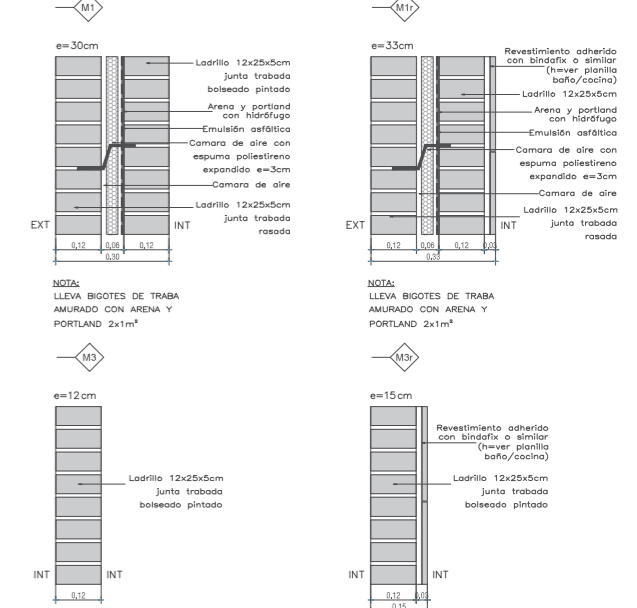
Figura 53 – Zonificación por grados días de infiltración y clases de infiltración para Estados Unidos y Canadá. Fuente: (ASHRAE, 2004)

Los grados días de infiltración son un indicador característico de cada localidad, el cual caracteriza cuantitativamente la rigurosidad del clima en lo que respecta a las cargas de infiltración a que están expuestas las edificaciones en la localidad. Depende de las variables climáticas de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento; y de la configuración y dimensiones características de las edificaciones en la localidad (González Cáceres, y otros, 2014).

Anexo 2: Plano tipología Tambores 3 dormitorios aislada



PLANILLAS DE MUROS esc 1/10



NOTA 1:
LAS ABERTURAS DEBERÁN ESTAR COLOCADAS EN EL PLANO DE ORIENTACIÓN MAS FAVORABLE RESPETANDO LAS SERVIDUMBRES DE VISTAS, VER PLANO DE IMPLANTACIÓN CUANDO CORRESPONDA.

NOTA 2:
SE DEBERÁ COLOCAR AL MENOS DOS MANOS DE PROTECTOR A TIRANTES Y CORREAS EXTERIORES, CORRESPONDA.

REV Nº	DIB.	REV.	APR.	FECHA	DESCRIPCIÓN
00	-	-	-	-	-

MEVIR
DR. ALBERTO GALLINAL HEBER

PLANO DE VIVIENDA TAMBORES 3D (3 DORMITORIOS) ECONOPANEL AISLADA IZO.

OBRA:	-	CODIGO:	-
UBICACIÓN:	-	RUBRO:	ALBAÑILERÍA
DEPARTAMENTO:	-	FECHA:	04/07/2019
GERENTE PPIIC:	ING. GONZALO ZORRILLA	EQUIPO DE PROYECTO:	-
ARCHIVO:	TAMBORES.dwg	ESCALA:	1:50

Anexo 3: Tablas para cálculo de cargas internas (ASHRAE, 2009)

Table 1 Representative Rates at Which Heat and Moisture Are Given Off by Human Beings in Different States of Activity

Degree of Activity		Total Heat, W		Sensible Heat, W	Latent Heat, W	% Sensible Heat that is Radiant ^b	
		Adult Male	Adjusted, M/F ^a			Low <i>V</i>	High <i>V</i>
		Seated at theater	Theater, matinee	115	95	65	30
Seated at theater, night	Theater, night	115	105	70	35	60	27
Seated, very light work	Offices, hotels, apartments	130	115	70	45		
Moderately active office work	Offices, hotels, apartments	140	130	75	55		
Standing, light work; walking	Department store; retail store	160	130	75	55	58	38
Walking, standing	Drug store, bank	160	145	75	70		
Sedentary work	Restaurant ^c	145	160	80	80		
Light bench work	Factory	235	220	80	140		
Moderate dancing	Dance hall	265	250	90	160	49	35
Walking 4.8 km/h; light machine work	Factory	295	295	110	185		
Bowling ^d	Bowling alley	440	425	170	255		
Heavy work	Factory	440	425	170	255	54	19
Heavy machine work; lifting	Factory	470	470	185	285		
Athletics	Gymnasium	585	525	210	315		

Notes:

1. Tabulated values are based on 24°C room dry-bulb temperature. For 27°C room dry bulb, total heat remains the same, but sensible heat values should be decreased by approximately 20%, and latent heat values increased accordingly.
2. Also see Table 4, Chapter 9, for additional rates of metabolic heat generation.
3. All values are rounded to nearest 5 W.
- ^a Adjusted heat gain is based on normal percentage of men, women, and children for the application listed, and assumes that gain from an adult female is 85% of that for an adult male, and gain from a child is 75% of that for an adult male.
- ^b Values approximated from data in Table 6, Chapter 9, where *V* is air velocity with limits shown in that table.
- ^c Adjusted heat gain includes 18 W for food per individual (9 W sensible and 9 W latent).
- ^d Figure one person per alley actually bowling, and all others as sitting (117 W) or standing or walking slowly (231 W).

Table 3 Lighting Heat Gain Parameters for Typical Operating Conditions

Luminaire Category	Space Fraction	Radiative Fraction	Notes
Recessed fluorescent luminaire without lens	0.64 to 0.74	0.48 to 0.68	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle values in most situations • May use higher space fraction, and lower radiative fraction for luminaire with side-slot returns • May use lower values of both fractions for direct/indirect luminaire • May use higher values of both fractions for ducted returns
Recessed fluorescent luminaire with lens	0.40 to 0.50	0.61 to 0.73	<ul style="list-style-type: none"> • May adjust values in the same way as for recessed fluorescent luminaire without lens
Downlight compact fluorescent luminaire	0.12 to 0.24	0.95 to 1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle or high values if detailed features are unknown • Use low value for space fraction and high value for radiative fraction if there are large holes in luminaire's reflector
Downlight incandescent luminaire	0.70 to 0.80	0.95 to 1.0	<ul style="list-style-type: none"> • Use middle values if lamp type is unknown • Use low value for space fraction if standard lamp (i.e. A-lamp) is used • Use high value for space fraction if reflector lamp (i.e. BR-lamp) is used
Non-in-ceiling fluorescent luminaire	1.0	0.5 to 0.57	<ul style="list-style-type: none"> • Use lower value for radiative fraction for surface-mounted luminaire • Use higher value for radiative fraction for pendant luminaire

Source: Fisher and Chantrasrisalai (2006).

APÉNDICES

Apéndice 1: Valores de permeabilidad adoptados para aberturas

Los valores de permeabilidad para cada abertura en particular se basan en la siguiente clasificación, establecida en el “Análisis del Desempeño Energético y Estructural de Cerramientos Vidriados” (Cataldo, Diaz-Arnesto, & Castañas, 2016)

Aberturas chicas (menos de 2 m²), sin cajón de cortina

Para el caso de la tipología de estudio entran dentro de esta clasificación las ventanas de la cocina, del baño y la del living.

De los datos empíricos se cuenta con una media de 39.1 m³/h.m². Para estar del lado de la seguridad - considerando la muestra es pequeña (tres especímenes) y que dicho valor es considerablemente inferior al valor menos exigente de acuerdo a la normativa uruguaya, Clase *UNIT Normal*³¹ – se opta incluir un coeficiente de seguridad de 1.15, considerando entonces una permeabilidad (para una presión de referencia de 100 Pa) de **45 m³/h.m²**

Aberturas chicas (menos de 2 m²), con cajón de cortina

Para el caso de la tipología de estudio entran dentro de esta clasificación las ventanas de los dormitorios.

De los datos empíricos se cuenta con una media de 64.1 m³/h.m². En este caso ya la media no cumple con el valor de la Clase 1 de la norma UNE-EN 12207 (UNE-EN, 1999). Se resuelve adoptar un valor en base a la media de **65 m³/h.m²**

- Aberturas grandes (más de 2 m²), sin cajón de cortina

Para el caso de la tipología de estudio entra dentro de esta clasificación solamente el ventanal de living.

De los tres datos empíricos del informe antes mencionado, se obtuvo que dos ventanas clasifican como UNIT Normal y la tercera ventana como UNIT Mejorada. Dado que uno de los tres valores de la muestra resulta muy por debajo de los otros dos valores (11.7 vs. 37.4 y 39.4) se opta por tomar como permeabilidad de referencia para esta categoría el valor promedio de las dos muestras que clasifican como UNIT Normal.

El valor de permeabilidad a adoptar entonces para aberturas grandes sin cajón es **38.5 m³/h.m²**

³¹ La Clase *UNIT Normal* coincide a su vez con la *Clase 1* de la norma UNE-EN 12207, y establece una permeabilidad de 50 m³/h.m² (siempre referido a una presión de referencia de 100 Pa)

Apéndice 2: Permeabilidad de fachadas y cubiertas

Para establecer el valor para fachadas y cubiertas, se toma como referencia tanto la norma UNE-EN 15242.2007 (UNE-EN, 2007) como el *Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones* chileno (González Cáceres, y otros, 2014).

En la norma UNE-EN 15242.2007 “*Métodos de cálculo para la determinación de las tasas de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración*” aparecen valores típicos correspondientes a las fugas, diferenciando entre niveles de fugas y tipos de edificios.

		m ³ /h por m ² de envolvente exterior (exp n = 0,667)		
		Q4Pa	Q10Pa	Q50Pa
Unifamiliar	bajo	0,5	1	2,5
	medio	1	2	5
	alto	2	3,5	10
Multifamiliar; no residencial excepto industrial	bajo	0,5	1	2,5
	medio	1	2	5
	alto	2	3,5	10
Industrial	bajo	1	2	5
	medio	2	3,5	10
	alto	4	7	20

Para la tipología de MEVIR, vivienda unifamiliar, podría considerarse un nivel de fugas entre medio y alto.

Para poder determinar el valor, sin contar con datos empíricos propios de MEVIR, se toma también de referencia el *Manual Hermeticidad al Aire de Edificaciones* chileno (González Cáceres, y otros, 2014), el cual presenta los resultados de una medición que representa el estado actual de los niveles de hermeticidad al aire de la envolvente exterior de una muestra representativa de edificios en Chile.

Dichos resultados arrojan que para aquellos viviendas donde predomina la albañilería de la ladrillo (como es el caso de la vivienda de estudio de MEVIR), la hermeticidad al aire – para una presión de referencia de 50 Pa - es de 11.8 cambios de aire por hora, con una desviación estándar de 3.6.

Se plantea entonces calcular el n_{50}^{32} para la vivienda de estudio, considerando para la permeabilidad al aire de fachadas y cubiertas un nivel de fugas medio y alto, y contrastar dicho resultado con los valores empíricos arrojados por el estudio chileno antes mencionado.

Donde **n₅₀** (valor de permeabilidad global del edificio a una presión de 50 Pa) se calcula como:

³² El indicador n_{50} (1/h) se refiere a la cantidad de veces que se renueva el aire contenido al interior de un edificio en una hora sometido a una presión diferencial constante de 50 Pa. Este es uno de los indicadores que se suele utilizar para caracterizar la hermeticidad al aire de la construcción.

$$\eta_{50} = Perm_{opacos} \left(\frac{50}{Pdim_{op}} \right)^{0.67} \cdot \frac{A_{opacos}}{Vol} + Perm_{vent} \left(\frac{50}{Pdim_{vent}} \right)^{0.67} \cdot \frac{A_{vent}}{Vol} + Perm_{puertas} \left(\frac{50}{Pdim_{pue}} \right)^{0.67} \cdot \frac{A_{pue}}{Vol}$$

Nivel de fugas medio (Q4Pa = 1 m3/h.m2):

	un	muros	cubierta	Ventanas			puerta	volumen
				chicas S/c	chicas C/c	grandes C/c		
Área	m2	71,40	55,44	2,72	5,18	3,28	1,85	149,63
Permeabilidad	m3/h.m2	1	1	45	65	38,5	60	
presión ref	Pa	4	4	100	100	100	100	
Permeabilidad a 100 Pa	m3/h.m2	8,64	8,64	45,00	65,00	38,50	60,00	
Permeabilidad a 50 Pa	m3/h.m2	5,43	5,43	28,28	40,85	24,20	37,71	Total:
n 50	1/h	2,59	2,01	0,51	1,41	0,53	0,47	7,53

Nivel de fugas alto (Q4Pa = 2 m3/h.m2):

	un	muros	cubierta	Ventanas			puerta	volumen
				chicas S/c	chicas C/c	grandes C/c		
Área	m2	71,40	55,44	2,72	5,18	3,28	1,85	149,63
Permeabilidad	m3/h.m2	2	2	45	65	38,5	60	
presión ref	Pa	4	4	100	100	100	100	
Permeabilidad a 100 Pa	m3/h.m2	17,28	17,28	45,00	65,00	38,50	60,00	
Permeabilidad a 50 Pa	m3/h.m2	10,86	10,86	28,28	40,85	24,20	37,71	Total:
n 50	1/h	5,18	4,02	0,51	1,41	0,53	0,47	12,13

De los resultados anteriores, puede notarse que si se considera un valor de fugas alto para vivienda unifamiliar, el resultado de n50 de la vivienda de estudio queda comprendido dentro del rango establecido por el *Manual de Hermeticidad al Aire de Edificaciones* para construcciones con ladrillo como material predominante (11.8 † 3.6).

Por el contrario, si se considera un nivel de fugas medio, el n50 resultante queda por debajo de dicho rango.

Si se analiza, resulta coherente establecer un nivel de fugas alto dado que estas viviendas son construidas bajo el sistema de ayuda mutua, lo que hace que en su construcción intervengan personas sin experiencia en el rubro.

Se considerará por lo tanto para este estudio una permeabilidad al aire para opacos (fachadas y cubiertas) correspondiente al nivel de fugas alto para viviendas unifamiliares de la Norma UNE-EN 15242.2007 igual a **17,28 m3/h.m3** (a una presión de referencia de 100 Pa)

Apéndice 3: Balances energéticos anuales para Casos Base

Los balances presentados en este apéndice corresponden a las ganancias y pérdidas energéticas a través de los diferentes componentes para los casos base presentados en el *Capítulo 4*, de acuerdo a las condiciones y definiciones indicadas en *Capítulos 3 y 4* de esta tesis.

a) Caso base Salto

A continuación se presenta a modo de tabla y luego en gráfico de barras el balance energético del edificio, contabilizando en kWh para cada mes:

Q.op: Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos opacos en contacto con el exterior

Q.w: Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de acristalamientos en contacto con el exterior

Q.(ve+inf): Transferencia de energía intercambiada por ventilación e infiltraciones

Q.ocup: Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la ocupación

Q.equip: Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida al equipamiento interno

Q.ilum: Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la iluminación

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Q.op +	171	142	158	40	58	68	83	101	75	46	58	152	1.150
Q.op -	- 278	- 212	- 238	- 221	- 387	- 372	- 439	- 407	- 425	- 377	- 221	- 262	- 3.839
Q.op (neto)	- 107	- 70	- 81	- 181	- 329	- 304	- 356	- 307	- 350	- 331	- 163	- 110	- 2.689
Q.w +	220	163	180	178	365	358	408	387	417	354	172	202	3.404
Q.w -	- 81	- 74	- 78	- 109	- 130	- 132	- 138	- 143	- 140	- 108	- 107	- 76	- 1.316
Q.w (neto)	139	89	102	70	236	226	271	243	277	246	64	126	2.088
Q.(ve+inf) +	17	11	15	5	1	2	5	8	2	1	13	13	93
Q.(ve+inf) -	- 194	- 164	- 184	- 39	- 54	- 66	- 65	- 90	- 70	- 59	- 56	- 177	- 1.217
Q.(ve+inf) (neto)	- 177	- 153	- 169	- 34	- 53	- 64	- 60	- 82	- 68	- 58	- 43	- 164	- 1.123
Q.ocup	123	113	125	121	123	121	125	123	123	123	120	127	1.467
Q.equip	24	22	24	23	24	23	24	24	23	24	23	24	282
Q.ilum	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	6	7	79

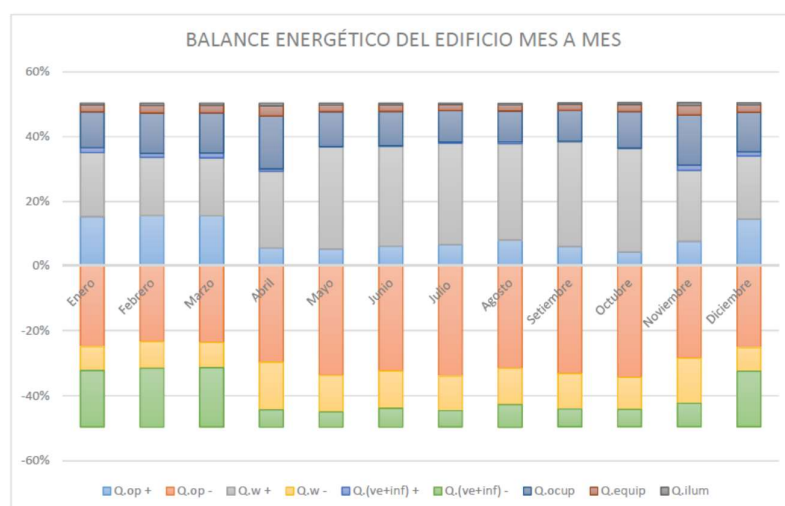
Criterio de signos adoptados:

valores positivos (+): energía aportada a la zona de cálculo

valores negativos (-): energía extraída de la zona de cálculo

Resumen de aportes netos:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Q.op	- 107	- 70	- 81	- 181	- 329	- 304	- 356	- 307	- 350	- 331	- 163	- 110	- 2.689
Q.w	139	89	102	70	236	226	271	243	277	246	64	126	2.088
Q (ve+inf)	- 177	- 153	- 169	- 34	- 53	- 64	- 60	- 82	- 68	- 58	- 43	- 164	- 1.123
Q.ocup	123	113	125	121	123	121	125	123	123	123	120	127	1.467
Q.equip	24	22	24	23	24	23	24	24	23	24	23	24	282
Q.ilum	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	6	7	79
Total Q	9	6	8	6	8	8	11	8	12	11	8	10	104



b) Caso base Montevideo

BALANCE ENERGÉTICO ANUAL DEL EDIFICIO

A continuación se presenta a modo de tabla y luego en gráfico de barras el balance energético del edificio, contabilizando en kWh/m² para cada mes:

- Q.op:** Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de elementos opacos en contacto con el exterior
- Q.w:** Transferencia de energía correspondiente a la transmisión térmica a través de acristalamientos en contacto con el exterior
- Q.(ve+inf):** Transferencia de energía intercambiada por ventilación e infiltraciones
- Q.ocup:** Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la ocupación
- Q.equip:** Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida al equipamiento interno
- Q.illum:** Transferencia de energía correspondiente a la ganancia interna de calor debida a la iluminación

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Q.op +	113	111	105	49	49	56	57	67	45	54	21	126	852
Q.op -	- 233	- 190	- 220	- 429	- 351	- 371	- 351	- 388	- 356	- 411	- 190	- 239	- 3.729
Q.op (neto)	- 120	- 78	- 115	- 381	- 302	- 315	- 294	- 321	- 311	- 356	- 170	- 113	- 2.877
Q.w +	188	147	164	418	334	354	335	377	344	409	142	195	3.408
Q.w -	- 65	- 62	- 62	- 120	- 119	- 117	- 120	- 129	- 111	- 124	- 82	- 71	- 1.183
Q.w (neto)	123	85	102	298	216	237	215	248	233	285	59	124	2.225
Q.(ve+inf) +	7	6	9	1	2	2	2	2	1	1	8	8	48
Q.(ve+inf) -	- 154	- 146	- 144	- 59	- 62	- 66	- 69	- 74	- 66	- 72	- 39	- 166	- 1.118
Q.(ve+inf) (neto)	- 147	- 140	- 135	- 58	- 61	- 64	- 68	- 71	- 64	- 71	- 31	- 158	- 1.070
Q.ocup	123	113	125	121	123	121	125	123	123	123	120	127	1.467
Q.equip	24	22	24	23	24	23	24	24	23	24	23	24	282
Q.illum	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	6	7	79

Criterio de signos adoptados:

valores positivos (+): energía aportada a la zona de cálculo
valores negativos (-): energía extraída de la zona de cálculo

Resumen de aportes netos:

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Setiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Anual
Q.op	- 120	- 78	- 115	- 381	- 302	- 315	- 294	- 321	- 311	- 356	- 170	- 113	- 2.877
Q.w	123	85	102	298	216	237	215	248	233	285	59	124	2.225
Q (ve+inf)	- 147	- 140	- 135	- 58	- 61	- 64	- 68	- 71	- 64	- 71	- 31	- 158	- 1.070
Q.ocup	123	113	125	121	123	121	125	123	123	123	120	127	1.467
Q.equip	24	22	24	23	24	23	24	24	23	24	23	24	282
Q.illum	7	6	7	6	7	6	7	7	6	7	6	7	79
Total Q	9	6	7	10	7	9	9	9	10	12	7	10	106

