

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Aporte a la Sostenibilidad y Eficiencia Energética
de las Viviendas de Interés Social de la zona
intertropical. Caso América del Sur

Autor: Nancy Alejandra Agudelo Fernández

Director: Luis Sainz Sopera

Co-director: Rodrigo Ramírez Pisco

Barcelona, Julio de 2015

Dedicatoria

A mis hijos Luciana y Emilio que sin saberlo con sus travesuras siempre me han dado la esperanza para culminar este arduo camino.

A mi esposo Luciano que siempre ha estado a mi lado brindándome su apoyo y ánimo para seguir siempre hacia adelante sin flaquear y enfrentando con valentía todos los retos que se nos han colocado delante.

A mis nuevos amigos y a los de siempre que han sido un gran apoyo y compañía en los momentos buenos y en los menos buenos.

Gracias.

Agradecimiento

A la Universidad Nacional Experimental del Táchira y al Vicerrectorado Académico
por brindarme esta oportunidad.

Al Prof. Luis Sainz por apoyarme cuando lo necesité y por todo el tiempo que me ha
dedicado y al Dr. Rodrigo Ramírez por acompañarme en este camino.

Resumen

La presente trabajo se enmarca en el área de la EE, planteando como objetivos principales:

- El estudio y análisis del estado de la eficiencia energética en algunos países latinoamericanos.
- Analizar reglamentos, normas y estándares vigentes destinados a la calificación energética.
- Caracterizar la vivienda de interés social en Latinoamérica y proponer estrategias de eficiencia adaptadas a los países con climas tropicales ubicados en América del Sur.
- Realizar un estudio para la definición de una temperatura de confort adecuada a los países con climas tropicales.
- Estudiar la influencia de las estrategias de eficiencia propuestas en la vivienda de interés social y de la adaptación de la temperatura de confort al clima tropical en el ahorro de energía.

El primer objetivo busca dejar en evidencia el impacto que tienen algunas medidas prácticas e indispensables en el ahorro energético. Es de destacar el gran potencial de ahorro en el uso de energía que existe en el sector de la construcción, para ello se seleccionó la vivienda de interés social debido a la proyección en masa que tiene este tipo de construcciones como solución habitacional.

El segundo objetivo tiene la finalidad de encontrar un sistema de calificación que mejor se adapte a las características de clima y construcción existentes en la zona latinoamericana convergiendo en la selección del Código Técnico de la Edificación (CTE) representado en el Documento Básico de habitabilidad y energía (DB-HE). Las principales razones de esta selección es que permite la calificación en diferentes condiciones climáticas, contando con una zona con condiciones bastante similares a las tropicales en cuanto a temperatura ambiente y humedad como la que se presenta en Las Palmas de Gran Canaria, además se trata de una normativa que toma en cuenta la mayoría de los parámetros que afectan la calificación energética.

En el tercer objetivo se diseñó una encuesta para la caracterización de la vivienda de interés social la cual se envió a una muestra de profesores de distintas universidades latinoamericanas especialistas en el área. Esta vivienda fue sometida al proceso de calificación, la cual no cumplió con lo establecido en la norma, por lo cual se propusieron una serie de medidas que contribuyeron a alcanzar una mejora sustancial en la calificación.

En el cuarto objetivo se propone, partiendo del modelo adaptativo, una nueva expresión para la determinación de la temperatura de confort en los climas tropicales. Esta nueva expresión incorpora la humedad relativa como variable a tener en cuenta para caracterizar la temperatura de confort y fue aplicada al estudio de algunas ciudades ubicadas dentro de la franja intertropical. Los resultados sugieren que el rango de confort se debe llevar un par de grados a lo definido por las normas de referencia cuando se considera la humedad relativa presente en esa zona climática.

Finalmente, como último objetivo, se muestran los ahorros energéticos que se logran con la aplicación de las medidas de eficiencia energética descritas para la vivienda de interés social y la consideración de la nueva temperatura de confort sugerida.

Abstrac

The present work is framed in the area of the EE, raising main objectives:

- The study and analysis of the State of energy efficiency in some Latin American countries.
- Analyze regulations, rules and standards in force earmarked for the energy rating.
- Characterize the government-sponsored housing in Latin American and propose efficiency strategies adapted to the countries with tropical climates located in South America.
- A study for the definition of a comfort temperature appropriate to the countries with tropical climates.
- Study the influence of efficiency strategies proposed in the government-sponsored housing and comfort temperature adapted to the tropical climate in the energy saving.

The first objective seeks to let in evidence the impact of some practical and essential measures on energy saving. Is noteworthy the great potential for savings in energy use that exists in the construction sector, this was selected the social interest housing due to the projection mass that has this type of construction as a housing solution.

The second objective aims to find a rating system that suits the characteristics of climate and building existing in Latin American converging in the selection of the technical of the building code (CTE) represented in the basic document of habitability and energy (DB-HE). The main reasons for this choice is that it allows the qualification in different climatic conditions, with an area very similar to tropical conditions in terms of ambient temperature and humidity as it is presented in Las Palmas de Gran Canaria, also it is a policy that takes into account most of the parameters that affect the energy rating.

A survey for the characterization of the government-sponsored housing which is sent to a sample of professors from various universities Latin American, specialists in the area was designed in the third objective. This housing was subjected to the rating process, which has not complied with the provisions of the standard, which proposed a series of measures which contributed to achieve a substantial improvement in the qualification.

In the fourth objective is proposed, based on the adaptive model, a new expression for the determination of the comfort temperature in tropical climates. This new expression incorporates the relative humidity as a variable to be considered to characterize the comfort temperature and was applied to the study of some located cities in the intertropical strip. The results suggest that the comfort range should rise a couple of degrees as defined by the reference standards when considering the relative humidity present in the climate area.

Finally, as the ultimate goal, the energy savings that are achieved with the implementation of energy efficiency measures described for the government-sponsored housing and the consideration of the new comfort temperature is suggested.

Tabla de Contenido

| | |
|---|----|
| Capítulo 1. Introducción | 1 |
| 1.1 Consumo energético en América Latina | 2 |
| 1.2 La vivienda eficiente | 4 |
| 1.3 La demanda energética en el sector de la construcción | 5 |
| 1.4 Antecedentes | 5 |
| 1.5 Objetivos | 6 |
| Capítulo 2. Análisis de reglamentos y estándares para la calificación y certificación de edificaciones destinadas al uso residencial | 8 |
| 2.1 Eficiencia energética | 8 |
| 2.2 Parámetros que influyen en las políticas de eficiencia energética | 8 |
| 2.3 Eficiencia energética en América Latina | 10 |
| 2.3.1 Dificultades para el desarrollo de la EE en América Latina | 11 |
| 2.3.2 Estado de las legislaciones de EE en América Latina | 12 |
| 2.4 Normativas y estándares destacados | 12 |
| 2.5 Normativas y estándares de calificación y certificación de edificaciones destinadas al uso residencial | 13 |
| 2.5.1 Estándar Passivhaus | 13 |
| 2.5.2 Código Técnico de la Edificación (CTE) | 15 |
| 2.5.3 Estandar Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) | 17 |
| 2.5.4 Otros Reglamentos y estándares | 18 |
| 2.6 Calificación energética de las edificaciones en América Latina | 20 |
| Capítulo 3. Estudio de la vivienda de interés social | 21 |
| 3.1 La Vivienda de Interés Social (VIS) | 22 |
| 3.2 Caracterización de la vivienda de interés social | 22 |
| 3.3 Estudio de la EE de la vivienda de interés social | 25 |
| 3.3.1 Evaluación energética con el programa LIDER | 26 |
| 3.3.2 Propuestas de mejora de la eficiencia energética | 28 |
| 3.3.3 Evaluación energética con el programa Calener VyP | 30 |
| Capítulo 4. Temperatura de Confort en los climas tropicales de América Latina | 33 |
| 4.1 Modelos para la definición de la temperatura de confort | 34 |
| 4.1.1 Modelo PMV o modelo estático | 34 |
| 4.1.2 Modelo adaptativo | 36 |
| 4.2 Características de la temperatura de confort | 37 |
| 4.2.1 Incidencias de los modelos en el clima tropical | 38 |
| 4.3 Temperatura de confort del modelo adaptativo y en edificios ventilados naturalmente | 38 |

| | | |
|---|---|-----|
| 4.4 | Cálculo de la temperatura de confort en climas tropicales | 41 |
| Capítulo 5. Estudio del ahorro energético en la vivienda de interés social | | 44 |
| 5.1 | Influencia de las propuestas de EE en el ahorro energético | 44 |
| 5.2 | Influencia de las propuestas de equipamiento de la VIS | 45 |
| 5.3 | Incidencia de la temperatura de confort en el ahorro de energía de la vivienda | 47 |
| 5.4 | Aporte de las propuestas de EE en la VIS | 52 |
| Capítulo 6. Conclusiones | | 59 |
| Capítulo 7. Trabajos futuros | | 63 |
| Bibliografía | | 65 |
| Anexo A. | Encuesta para la identificación de la vivienda de interés social en climas tropicales. | 71 |
| Anexo B. | Informe técnico del Lider: Limitación de demanda energética. | 87 |
| Anexo C. | Diseño del sistema de agua caliente sanitaria. | 101 |
| Anexo D | Calificación energética Calener VYP. Edición viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos. | 109 |

Listado de Figuras

| | | |
|---------|---|----|
| Fig. 1 | Consumo de energía en algunos países de América Latina. | 3 |
| Fig. 2 | Distribución de la energía en los diferentes sectores. | 3 |
| Fig. 3 | Dependencia energética de los países europeos. | 9 |
| Fig. 4 | Principales pérdidas en los edificios. | 14 |
| Fig. 5 | Distribución de la vivienda de interés social. | 25 |
| Fig. 6 | Vista lateral de vivienda de interés social. | 25 |
| Fig. 7 | Orientación asimilada por el programa Lider. | 27 |
| Fig. 8 | Proyección de vivienda de interés social para la calificación. | 27 |
| Fig. 9 | Etiqueta de calificación energética obtenida por la VIS. | 31 |
| Fig. 10 | Relación gráfica del PMV y el PPD. | 36 |
| Fig. 11 | Mecanismo de retroalimentación del comportamiento. | 37 |
| Fig. 12 | Temperatura promedio y humedad relativa de las ciudades encuestadas. | 38 |
| Fig. 13 | Representación gráfica de las ecuaciones de la temperatura de confort. | 40 |
| Fig. 14 | Comportamiento de las ecuaciones propuestas para la temperatura de confort: 1) Ecuación original (trazo gris). 2) Ecuación propuesta evaluada para varios valores de HR (trazo negro, verde y rojo) | 41 |
| Fig. 15 | Error relativo entre las expresiones originales y la propuesta para la temperatura de confort. | 41 |
| Fig. 16 | Estudio de la temperatura de confort para distintas ciudades de Brasil y Venezuela. | 42 |
| Fig. 17 | Consumo y ahorro de energía para distintas condiciones de calificación y temperatura de confort en algunas ciudades de Brasil. | 48 |
| Fig. 18 | Consumo y ahorro de energía para distintas condiciones de calificación y temperatura de confort en algunas ciudades de Venezuela. | 49 |
| Fig. 19 | Ahorros anuales de la VIS en algunas ciudades Latinoamericanas. | 50 |
| Fig. 20 | Ahorro acumulado en Belem (Brasil). | 50 |
| Fig. 21 | Ahorro acumulado en Fortaleza (Brasil). | 51 |
| Fig. 22 | Ahorro acumulado en Rio de Janeiro (Brasil). | 51 |
| Fig. 23 | Ahorro acumulado en Maracaibo (Venezuela). | 51 |
| Fig. 24 | Ahorro acumulado en Barcelona (Venezuela). | 52 |
| Fig. 25 | Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Belem-Brasil. | 53 |
| Fig. 26 | Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Fortaleza Brasil. | 54 |
| Fig. 27 | Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de | 54 |

| | | |
|---------|---|----|
| | Rio de Janeiro Brasil. | |
| Fig. 28 | Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Maracaibo Venezuela. | 55 |
| Fig. 29 | Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Barcelona Venezuela. | 56 |
| Fig. 30 | Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Belem (Brasil). | 56 |
| Fig. 31 | Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Fortaleza (Brasil). | 57 |
| Fig. 32 | Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Rio de Janeiro (Brasil). | 57 |
| Fig. 33 | Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Maracaibo (Venezuela). | 58 |
| Fig. 34 | Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Barcelona (Venezuela). | 58 |

Lista de tablas

| | | |
|-----------|--|----|
| Tabla 1. | Valor de transmitancias permitidas por Passivhaus. | 14 |
| Tabla 2. | Zonas climáticas definidas en la norma española. | 15 |
| Tabla 3. | Aislamiento específico según el DB HE1 por zona climática. | 16 |
| Tabla 4. | Clasificación de los certificados entregados por LEED Home. | 18 |
| Tabla 5. | Comparativa de algunas normativas y estándares Europeos. | 19 |
| Tabla 6. | Déficit de viviendas en porcentaje por familias. | 21 |
| Tabla 7. | Características del terreno. | 23 |
| Tabla 8. | Características de la construcción: estructura. | 23 |
| Tabla 9. | Características de la construcción: acabados. | 24 |
| Tabla 10. | Equipamiento de la vivienda. | 24 |
| Tabla 11. | Disposiciones para el bienestar térmico. | 26 |
| Tabla 12. | Resultados del LIDER. | 28 |
| Tabla 13. | Transmitancias térmica de la vivienda. | 28 |
| Tabla 14. | Resultados parciales del LIDER. | 29 |
| Tabla 15. | Resultados del programa LIDER. | 29 |
| Tabla 16. | Características del Panel solar. | 31 |
| Tabla 17. | Contribución solar por mes del colector seleccionado. | 31 |
| Tabla 18. | Datos aportados por la etiqueta de calificación del Calener. | 31 |
| Tabla 19. | Escala de sensación térmica del modelo de Fanger. | 36 |
| Tabla 20. | Rango de valores de las variables a los que se definió el estado de confort. | 37 |
| Tabla 21. | Constantes de las expresiones de la temperatura de confort. | 39 |
| Tabla 22. | Media de las variables de confort de las ecuaciones de la tabla 21. | 39 |
| Tabla 23. | Valores climáticos medios mensuales de algunas ciudades de Brasil y Venezuela. | 42 |
| Tabla 24. | Equipamiento básico de la vivienda. | 45 |
| Tabla 25. | Primera propuesta de equipamiento. | 45 |
| Tabla 26. | Segunda propuesta de equipamiento. | 46 |
| Tabla 27. | Tercera propuesta de equipamiento. | 46 |

Capítulo 1

Introducción

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, muchos de los cambios observados no tienen precedentes. La influencia humana en el sistema climático es clara y las recientes emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero son las más altas en la historia. Cambios recientes del clima han tenido impactos generalizados sobre los sistemas humanos y naturales.

Uno de los desafíos más importantes de los gobiernos es diseñar políticas públicas que identifiquen opciones energéticas acordes con los objetivos de desarrollo sostenible. Este término fue presentado y definido por primera vez por la Comisión Mundial del Medio Ambiente y del Desarrollo (la Comisión Brundtland) en 1987 como: *El desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.*

La Declaración de Estocolmo sobre el medio humano de 1972 en el punto 2 de su parte introductoria expresa: *La protección y mejoramiento del medio humano es una cuestión fundamental que afecta al bienestar de los pueblos y al desarrollo económico del mundo entero, es un deseo urgente de los pueblos de todo el mundo y un deber de todos los gobiernos.*

El análisis de ambas declaraciones deja entrever varias connotaciones importantes:

- La interacción entre habitantes y recursos para satisfacer sus necesidades de desarrollo.
- La protección y preservación del medio ambiente buscando que el proceso productivo sea siempre compatible con el desarrollo y el progreso de los pueblos.
- El mantenimiento de un matiz de equidad intergeneracional al garantizar a las futuras generaciones una cantidad de bienes al menos iguales a las que disponemos hoy, considerando las necesidades de las generaciones presentes y las futuras.

De acuerdo al World Energy Council la eficiencia energética (EE) abarca todos los cambios que surgen de disminuir la cantidad de energía utilizada para producir una unidad de actividad económica o para satisfacer los requisitos energéticos para un nivel de confort dado.

Bajo estas perspectivas, las políticas públicas en materia de EE deben asegurar los derechos y deberes del usuario y el papel regulador del estado, promoviendo alternativas energéticas orientadas no sólo a conservar adecuadamente las fuentes de

energía y el ambiente, sino a elevar la eficiencia en la productividad sin menoscabar el confort y bienestar del usuario.

La legislación es fundamental para garantizar soluciones a las dificultades que pueden afectar el ahorro energético en todos los sectores, lo que favorece el crecimiento económico, el abastecimiento de energía, la protección del medio ambiente y la equidad social.

En los países de América Latina se tiene clara la necesidad de mitigar y controlar el efecto negativo del consumo energético en continuo incremento. Los avances legislativos sobre la EE que se han dado en América Latina, en parte han sido promovidos por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), la Organización Latinoamericana de la Energía (OLADE), la Agencia Internacional de la Energía (AIE) y la Comisión Europea entre otros, lo que verifica la intención de los gobiernos a elaborar leyes y reglamentos en este aspecto.

En América Latina existe un déficit de viviendas de acuerdo con datos disponibles entre 2002 y 2005 (se necesitaban construir 22,7 millones de viviendas en la región [1]). A pesar del déficit de viviendas, el consumo de energía en el sector residencial ha ido creciendo progresivamente. Con lo cual, la solución al problema de vivienda implica, no solo la construcción sino que adicionalmente se necesita que se planteen mecanismos eficaces para enfrentar los problemas para el sostenimiento de esa vivienda de una manera eficiente.

La posibilidad de ahorro energético en el sector residencial en Latinoamérica se justifica en parte en las proyecciones del CEPAL, que establece que para el año 2020, el 82% de la población de América Latina vivirá en urbes. Esto equivale a un aumento del 2,5% de la población urbana al cabo de una década [2], lo que incrementaría el déficit de viviendas de los datos entre el 2002 y el 2005. Así, parece lógico que los estudios de EE en el sector residencial se ubiquen en el contexto de la realidad de cada país, para posteriormente abordar el tema de la vivienda eficiente, teniendo en cuenta los distintos factores que intervienen en la demanda energética en el sector residencial.

1.1 Consumo energético en América Latina

Latinoamérica al igual que todas las zonas del mundo ha incrementado su consumo de energía (ver Fig. 1 y 2). Las razones por las que esto sucede, en mayor o menor medida, parecen ser las mismas, con las consecuencias que cada razón conlleva:

- Crecimiento de la población.
- Aumento de la producción industrial.

Las condiciones de Latinoamérica para la generación de energía son particularmente beneficiosas ya que en general cuenta con grandes recursos hídricos y aprovechables para generar energía limpia. Actualmente alrededor del 65% de la capacidad instalada proviene de la energía hidroeléctrica [3], [4]. Además cuenta con un gran potencial para el desarrollo de energías renovables como: vientos constantes y radiación solar continua y prolongada a lo largo del año, entre otras.

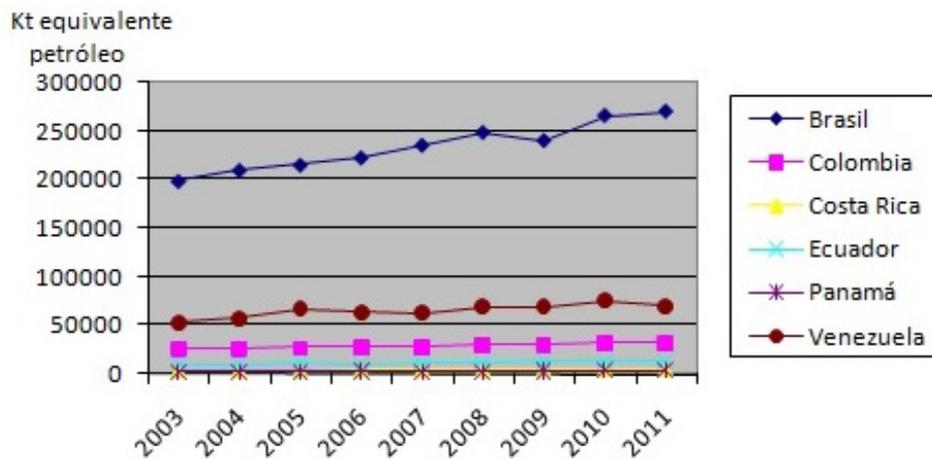


Fig. 1. Consumo de energía en algunos países de América Latina. [13]

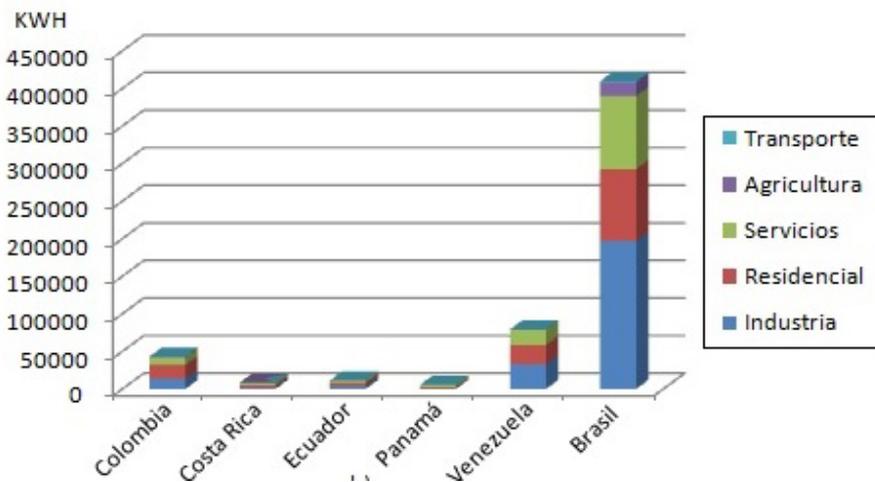


Fig. 2. Distribución de la energía en los diferentes sectores. [14]

En cuanto al consumo residencial en los países de interés para el presente estudio, se conoce:

- **Ecuador:** El consumo residencial de electricidad para el año 2008 representaba el 35% del total del consumo con 4372 GWh. Se espera un crecimiento del 8,7% en un escenario de crecimiento medio para el año 2020, el cual se proyecta como el rubro de mayor crecimiento comparado con el 7,8% del proyectado para el sector industrial [5].
- **Colombia:** El consumo residencial de electricidad para el año 2009 representaba el 40,8% del total del consumo con 18669 GWh. Para este año 2015, Colombia estima un ahorro de energía eléctrica en el sector residencial del 8,66%, aplicando una serie de medidas como sustituir fuentes de generación de energía por otras más eficientes. Las proyecciones integradas de demanda por sector indican que más del 81% del consumo total de energía corresponderá a las demandas de los sectores industrial y de transporte, mientras que los demás sectores dan cuenta del restante porcentaje [6].
- **Costa Rica:** El consumo residencial de electricidad para el año 2010 representaba el 39,5% del total del consumo con 3356 GWh. Para el año 2033 se espera que el consumo sea de 5970 GWh y que representa el 25,1% del total del consumo, con un crecimiento promedio de 2,65% anual [7].
- **Panamá:** El consumo residencial de electricidad para el año 2010 representaba el 27,1% del total del consumo con 1974 GWh. Para el año 2026 se espera que el consumo

sea de 17,7% representando 2974 G Wh y se estima que la demanda total de energía eléctrica crezca en 5,62% para todo el período de análisis [8].

- **Brasil:** El consumo residencial de energía para el año 2012 representaba el 24,9% del total del consumo con 10118 TOE, representando la electricidad el 42,6% del total de esta energía [9]. En el Proyecto de Demanda de Energía Eléctrica para los próximos 10 años (2012-2021) se plantea que para el año 2011 el consumo residencial de electricidad representa el 26,0% del total del consumo con 112232 GWh. Para el año 2021 se espera que el consumo sea de 26,5% representando 173706 G Wh, con lo cual se espera un crecimiento del consumo residencial del 4,5% para todo el periodo [10].
- **Venezuela:** Según el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica el consumo por hogar es de 400 kWh [11]. No se encontraron datos oficiales con respecto a la demanda, o a la proyección de demanda. Sin embargo por datos de la Cámara Venezolana de la Industria Eléctrica (CAVEINEL) para el año 2007 el consumo del sector residencial era del 26,53%, del total del consumo de 81250 GWh [12]

1.2 La vivienda eficiente

La evolución de la vivienda independientemente de la cultura y la época, ha estado ligada a las condiciones climáticas, el terreno, los materiales disponibles, las técnicas constructivas, así como factores sociales y/o jerárquicos.

Estos factores que guiaron la planificación y el diseño de las viviendas han cambiado debido a la tecnología. La vivienda se transforma y pasa a utilizar tecnologías sofisticadas, costosas y consumidoras de energía, donde el cambio produce impactos al medio ambiente al emitir gases, partículas sólidas, desechos, ruidos y olores, colaborando al problema ecológico.

Con las primeras computadoras y su evolución, el hombre ha buscado aplicaciones para ellas, y las construcciones no se podían quedar fuera. Así es como surge la construcción inteligente, la cual se puede definir como aquella diseñada para facilitar su funcionamiento a través de automatismos rígidos a controlar equipos específicos como la iluminación, el aire acondicionado, accesos, ascensores, seguridad y otros servicios. El objetivo de este tipo de construcción es disminuir costos tanto de mantenimiento como de operación, para lo cual se reconocen varios niveles de inteligencia.

La creciente comprensión del ahorro de energía y la afinidad con el medio ambiente lleva a una nueva cultura, en la que el edificio ya no es visto como una carga pasiva, sino que debe convertirse en una estructura de energía inteligente con un alto nivel de confiabilidad. Los conceptos evolucionan a ser construcciones inteligentes y verdes al mismo tiempo, siendo un componente importante el uso de energía renovable y el uso eficiente del agua. Un ejemplo es el edificio Intel en Costa Rica.

Un paso más en las construcciones son los edificios inteligentes, verdes y eficientes energéticamente. Esta es una definición de apreciación personal que aparentemente es de fácil de ducción, pero muy complejo de conseguir y a que requiere de un grupo multidisciplinario de trabajo humano, recursos económicos, espacios, tecnologías, entre otros. Se trata de una construcción con automatismos destinados a verificar condiciones de uso y confort, maximizando funcionalidad y eficiencia en favor de los ocupantes,

buscando minimizar el consumo de energía. Además su diseño y estructura se verá construida con materiales que permitan el aprovechamiento de la energía y los recursos naturales. El punto más importante de la definición es que tenga autoabastecimiento de energía eléctrica de fuentes renovables, además en función de su complejidad contará con un sistema de gestión encargado de direccionar la energía a las distintas cargas instaladas y al mismo tiempo ser capaz de priorizar los sistemas y/o procesos en caso de insuficiencia de recursos para la generación (luz solar, viento). En la actualidad el desarrollo de este tipo de edificaciones en la mayoría de los países latinoamericanos es escaso.

1.3 La demanda energética en el sector de la construcción

La construcción tiene gran incidencia en muchos sistemas del desarrollo de un país. Solo el sector residencial es responsable del 32,3% del consumo de energía en los países estudiados. Es indiscutible la importancia y repercusión del sector en todos los aspectos, por lo tanto no puede ser extraño que la atención que se ponga al sector repercuta en un beneficio inmediato.

La demanda de energía en el sector residencial es resultado de varios actores como: la construcción en sí misma, el equipamiento, los hábitos de uso de la población, los ingresos económicos, los factores culturales y el clima. Algunos de estos factores escapan de entrar en medidas regulatorias, por lo cual se deben establecer estrategias que den opciones desde una perspectiva energética.

Teniendo en cuenta que para 2009 alrededor del 48% de la energía residencial se consumía en calefacción y aire acondicionado, uno de los actores que afecta la demanda de energía es el clima, ya que en prolongados lapsos de tiempo de terminación y acondicionamiento de las habitaciones [15]. Actualmente existen estudios y normas dedicadas a la definición de una temperatura adecuada o temperatura de confort a la que se puedan realizar las actividades propias de un lugar, lo cual incidiría directamente en ahorros de energía y disminución de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

En general las normas y estándares dirigidos específicamente a la definición de una temperatura de confort, para el clima tropical no están contemplados, y sería un punto de partida para la definición de estrategias en la calificación de construcciones en la zona. Además, aportaría un impulso a la I+D de la zona ya que son diversas las actuaciones a considerar, desde el estudio de materiales, diseño de envolventes, equipamiento, acondicionamiento, el abastecimiento de agua hasta la demolición de la construcción. Tomando en cuenta que la vida útil de una construcción es en promedio de 50 años, el planteamiento de estrategias adecuadas se traduciría en beneficios a corto, mediano y largo plazo.

1.4 Antecedentes

Durante el planteamiento del presente trabajo se realizó la revisión de algunas tesis de doctorado, con la finalidad de revisar el estado del arte en la materia y sentar bases para la comparación y valoración de medidas así como algunos instrumentos utilizados para la evaluación de la eficiencia energética. Algunos de estos trabajos son:

- Eficiencia y certificación energética de edificios residenciales. Autora: Ing. Ind. Núria Garrido Soriano, desarrollada en la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) 2010 [16], la cual realizó la evaluación del potencial de ahorro energético y de emisiones de los edificios residenciales en Cataluña según diferentes escenarios normativos. Define una metodología de certificación energética de edificios residenciales CEPEC, y compara ésta con la metodología oficial CALENER VyP.
- Método de valoración de viviendas desde la perspectiva medioambiental y análisis de costes. Autora: María José Ruá Aguilar, desarrollada en la Universidad Politécnica de Valencia 2011 [17], la cual analiza la normativa y el software oficial que existe para obtener dicha calificación, en viviendas de nueva construcción en cada zona climática de España. Partiendo de un proyecto real de viviendas adosadas.
- Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación. Una aportación para reducir el impacto ambiental de los edificios. Autor: Fabian López Plazas, desarrollada en la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) 2006 [18], el objetivo de esta tesis se basa en la parametrización y evaluación del uso y la gestión de los edificios como factores que inciden en el consumo final de energía, el cual plantea a través de una metodología adecuada una forma de cuantificar, analizar y valorar dicha incidencia.
- El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: Propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos. Autor: Luiz Henrique Maccarini Vefago, desarrollada en la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) 2012 [19], esta tesis evalúa el potencial de reciclabilidad y reutilización de los materiales y elementos de construcción normalmente utilizados en los edificios; de igual forma cuantifica las mejoras medioambientales en el proceso constructivo de los edificios cuando se empleen materiales reciclables o reciclados.

Dado estos antecedentes, es de donde parte la posibilidad de lograr una propuesta viable adaptada al clima tropical y a las características de vida de la zona, seleccionando un compendio de criterios que sirvan de guía para la elaboración de normas y un posible estándar de evaluación de eficiencia energética.

1.5 Objetivos

La presente trabajo se enmarca en el área de la EE contribuyendo al desarrollo de medidas de EE en el sector de la construcción de los países latinoamericanos, donde el potencial de ahorro es bastante significativo. Se presenta un modelo de vivienda que logra bajar el consumo de energía y las emisiones de CO₂, mejorando de forma especial su sostenibilidad y mantenimiento a lo largo de su vida útil bajo las pautas de la EE.

De igual forma, se plantea una nueva consigna a través de la temperatura de confort operativa adecuada al clima tropical y adaptable a otros sectores de consumo de energía, ya que se trata de un parámetro determinante en el ahorro de energía. Finalmente cuantificar las contribuciones realizadas calculando el ahorro de energía que suponen respecto a la situación actual.

En concreto la presente tesis plantea los siguientes objetivos principales:

- El estudio y análisis de la eficiencia energética en algunos países latinoamericanos.
- Analizar reglamentos, normas y estándares vigentes destinados a la calificación energética.
- Realizar un diagnóstico del estado de la vivienda de interés social y proponer estrategias de eficiencia, adaptadas a los países con climas tropicales ubicados en América del Sur.
- Realizar un estudio para la definición de una temperatura de confort adecuada a los países con climas tropicales.
- Calificación de una propuesta de vivienda de interés social eficiente, tomando en cuenta criterios de EE, y una temperatura de confort adecuada al clima tropical.
- Presentación de los ahorros de energía obtenidos para cada propuesta.

El presente trabajo contribuye al desarrollo de medidas de EE en el sector de la construcción de los países latinoamericanos, donde el potencial de ahorro es bastante significativo. Se presenta un modelo de vivienda que logra bajar el consumo de energía y las emisiones de CO₂, mejorando de forma especial su sostenibilidad y mantenimiento a lo largo de su vida útil bajo las pautas de la EE.

De igual forma, se plantea una nueva consigna a través de la temperatura de confort operativa adecuada al clima tropical y ampliable a otros sectores de consumo de energía, ya que se trata de un parámetro determinante en el ahorro de energía. Finalmente cuantificar las contribuciones realizadas calculando el ahorro de energía que suponen respecto a la situación actual.

Capítulo 2

Análisis de reglamentos y estándares para la calificación y certificación de edificaciones destinadas al uso residencial

La difusión, promoción e inserción de políticas de uso eficiente de la energía en el contexto de las construcciones mejora la competitividad. Por otro lado inducir a los consumidores residenciales a mejorar sus prácticas de consumo redundan en el aprovechamiento de la capacidad adquisitiva de los presupuestos familiares. Todo ello da como beneficio menores inversiones en infraestructura de generación energética, y mayor disponibilidad de recursos energéticos propios.

El presente capítulo se dedica al análisis de los reglamentos y estándares más utilizados para la medición de la EE a través de la calificación energética de las edificaciones. La finalidad es estudiar algunos reglamentos para elegir a partir de sus criterios de evaluación el que mejor se adapte a las condiciones latinoamericana, especialmente de construcción y clima.

2.1 Eficiencia energética

La EE es un conjunto de acciones que permite optimizar el uso de la energía, pero sin afectar la calidad, el confort y el servicio al consumidor. La EE se traducirá en ahorro de energía y por ende de combustible.

La EE no debe confundirse con el ahorro de energía pues éste se refiere a dejar de usar o evitar el uso de energía. Aunque la EE busca reducir la cantidad de energía consumida no se debe relacionar con dejar de usar, sino con el uso adecuado y el aprovechamiento óptimo reduciendo pérdidas, por lo cual siempre se asocia a una mejora de la tecnología y procedimientos que logran la permanencia en el tiempo de estos resultados. Para obtener estos beneficios se debe invertir en recursos: físicos, humanos, tecnológicos y por ende de capital financiero.

2.2 Parámetros que influyen en las políticas de eficiencia energética

En general los estándares y normativas de EE más utilizados son europeos. Esto se debe a que son países con gran dependencia energética, como lo muestra la Fig.3.

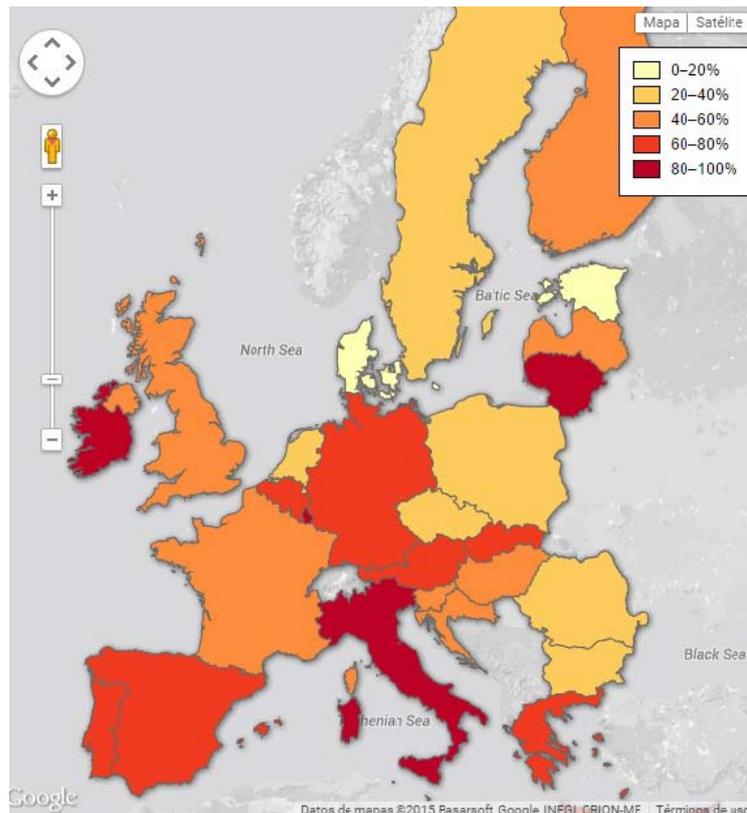


Fig. 3. Dependencia energética de los países europeos. [20]

La evolución de las políticas de EE de Europa viene marcada por cuatro eventos especiales [21]:

- La guerra árabe israelí de 1973 a 1974 en la que se sucedió una crisis energética grave, que sirvió para visualizar la dependencia energética que se tenía.
- La crisis del petróleo de 1979 originada por la guerra Irán-Irak, que trajo consigo el aumento del precio del barril de petróleo.
- El desastre de Chernobyl en 1985, lo que dejó a la opción nuclear pendiente como alternativa de fuente energética.
- El informe de la comisión de las Naciones Unidas sobre Ambiente y desarrollo de 1987 (informe Brundlandt) que abrió el debate del cambio climático.

Queda claro que un parámetro fundamental en la consideración de políticas de EE es la dependencia energética. Otro parámetro importante es lo estratégico de la disposición de energía para el funcionamiento de todos los sistemas de un país: económico, seguridad, productivo, seguridad social. Sin duda otro parámetro que colabora a la consecución de las políticas de EE es el financiamiento que se debe inyectar para implementar y ejecutar las medidas destinadas a la investigación, la difusión, la aplicación y mantenimiento de las medidas regulatorias a lo largo del tiempo.

Desde hace unas décadas se considera también el tema ambiental y el cambio climático. No obstante el debate regulatorio deja en la mesa el carácter obligatorio o voluntario de las medidas, debido a la carga económica que acarrea para el estado o para los entes privados.

Es así como los países europeos y los países industrializados han respondido y avanzado hacia la independencia energética, dado lo estratégico que es la energía para el desarrollo y la competencia en el mercado para la colocación de sus productos.

Países como Alemania, Austria, Dinamarca, los Países Bajos y los Países Nórdicos han asumido la posición de guía con la aplicación de políticas destinadas a reducir la emisión de GEI, para ello usan instrumentos destinados a fomentar y promover el uso eficiente de la energía [21]:

- Leyes y reglamentos
- Incentivos económicos
- Asistencia técnica y capacitación
- Investigación, desarrollo y demostración (I,D&D)
- Compromisos voluntarios
- Estimulación de los mercados de eficiencia energética.

Sin embargo, la aplicación de los distintos instrumentos viene dado por las prioridades y preferencias de cada país. En general se pueden definir cuatro sectores de aplicación: Sector Residencial, Sector Industrial, Sector terciario-comercial y Sector transporte

De entre estos sectores, el trabajo se centra en el sector residencial, al cual se le atribuye un gran potencial para contribuir a la reducción del consumo de energía y emisiones de CO₂.

2.3 Eficiencia energética en América Latina

Es claro el esfuerzo y la motivación de la mayoría de los países latinoamericanos acerca de la problemática de la EE. Buena parte de esto se debe al convencimiento de que el cambio climático es una realidad y que una de las formas más eficaces para contribuir a la mitigación de sus efectos es aplicar políticas de EE.

Existen acciones que demuestran el compromiso de los gobiernos con el Uso Racional y Eficiente de la Energía (UREE) como la publicación de leyes, decretos y programas. Por ejemplo la Ley de UREE en Costa Rica la más antigua, vigente desde 1994. Panamá ha tenido una evolución en el tema desde 1980 manteniendo programas que han culminado recientemente en la publicación de la Ley 69 de UREE en 2012. En Brasil desde la firma y entrada en vigor del protocolo de Kioto han mantenido programas reconocidos de EE, cumpliendo con la formulación de la Ley de Eficiencia Energética N° 10.295 de 2001, en Colombia la Ley URE 697 de 2001. Recientemente en Ecuador entro en vigencia el Decreto N° 1681 en 2009, y más reciente la Ley de UREE de la República Bolivariana de Venezuela en 2011.

De igual forma se ha creado entes institucionales con la finalidad de velar por la ejecución y progreso de la EE, como el Ministerio del Poder Popular para la Energía Eléctrica en Venezuela en 2009, el Consejo Colombiano de Eficiencia Energética en 2010, el Ministerio de Ambiente, Energía y Mares (MINAEM) de Costa Rica en 2012, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energía Renovable (INER) de Ecuador en 2012.

Si bien se reconoce la voluntad de los países, también es cierto que las singularidades de cada país inciden en sus marcos regulatorios. Sin embargo se pueden argumentar 5 factores macros que marcan el arranque y la fluidez del tema, tanto en sectores públicos como privados: 1) Apoyo político de los gobiernos. 2) Continuidad del esfuerzo y de los entes dispuestos para este fin. 3) Acceso a planes de financiamiento. 4) Difusión de los planes e incentivos de manera oportuna y fluida y 5) Planificación y gestión de la energía.

A estos 5 factores, se pueden agregar otros que influyen y marcan la rapidez de la implementación de las medidas políticas como: 1) Acceso a la tecnología a precios asequibles. 2) Formación de personal. 3) Controles de calidad y 4) Costo de la energía.

A pesar de que se puede reconocer el esfuerzo hecho por los gobiernos, también se debe reconocer que no todos tienen la misma prioridad y celeridad. En general los medios marcan diferencias entre ellos.

2.3.1 Dificultades para el desarrollo de la EE en América Latina

Es claro el potencial de ahorro energético existente en la región, lo que se traduce en ventajas institucionales, técnicas, económicas y ambientales. También es evidente el cambio de paradigmas hacia un crecimiento social y gerencial debido a que la EE busca el bienestar del individuo, minimizando su consumo. Sin embargo el reconocimiento de las ventajas no hace que desaparezcan las dificultades que se presentan, las cuales se intentarán enumerar a continuación [22], [23]:

Institucionales:

- a. En algunos países el organismo encargado de promover y desarrollar la EE tiene un perfil muy bajo.
- b. Falta de continuidad de los entes relacionados a la promoción y desarrollo de la EE.
- c. Falta de continuidad de los programas y personal especializado relacionado con el desarrollo de los mismos.
- d. Las regulaciones son insuficientes para estimular acciones y proyectos de EE efectivos.
- e. Falta de indicadores que midan la evolución de los programas o proyectos de EE que muestren los resultados obtenidos por las medidas implementadas.

Económicas:

- a. La tarifa de la energía muchas veces no representa el costo de ponerla al mercado, por lo que muchas veces afecta la ejecución de proyectos de EE.
- b. A veces la decisión de invertir en proyectos de EE cae solo en el costo de los equipos eficiente, sin tener en cuenta el gasto operativo de los equipos convencionales a lo largo de su vida útil.
- c. En algunos países no existe regulación con respecto al ingreso de equipos, productos y/o vehículos sin calificación de EE lo que les permite competir en el mercado con ventaja por precio.
- d. En algunos países la disponibilidad de tecnologías eficientes se ve limitada debido a los precios poco accesibles para la mayoría de la población.
- e. En algunos países el período de recuperación de las inversiones de EE pone en riesgo su ejecución.

Sociales:

- a. Existe desconocimiento de parte de la población acerca de las acciones, del beneficio y tecnologías que pueden aplicar para mejorar el uso de la energía, en especial en el sector residencial.
- b. La falta de inversión en EE hace que personal especializado tenga dificultades de colocación en el plano laboral.

Productivas:

- a. El mercado de las empresas de servicios energéticos (ESEs o ESCOs) no se consolida debido a la inflación, tasas de interés, escasez de expertos en este tipo de contratos.
- b. La implementación de la ISO 50001 (Gestión de la Energía) es lento debido principalmente a que es una norma de aplicación voluntaria.
- c. En algunos países, las empresas deciden la inversión de algún fondo entre proyectos de EE o programas como I&D&D o desarrollo de capital humano

Cooperación internacional:

- a. Muchas veces la colaboración se manifiesta en proyectos que ya cuentan con fondos y presupuesto, esto hace que algunas veces sean redundantes.

2.3.2 Estado de las legislaciones de EE en América Latina

En América Latina el camino hacia la EE en general es empírico, a pesar de que existen directrices que proviene de las experiencias de otros países. La falta de consenso en un plan claro para establecer prioridades, estrategias, medidas, incentivos y subvenciones en todos los sectores involucrados, aunado a un plan de ejecución y control por parte del gobierno, empresas de energía y consumidores, hace que el objetivo se vuelva burocrático y pesado. El vacío regulatorio a través de leyes y normas es tal vez la mayor de las dificultades.

En el sector residencial la falta de políticas destinadas a la calificación y certificación de las edificaciones eficientes, la carencia de incentivos dirigidos a favorecer el desarrollo y planificación de este tipo de construcciones afectan sin duda el ahorro energético que se puede conseguir en la región.

Es claro que la creación de una ley o un estándar de EE no es suficiente para garantizar resultados a corto, medio o incluso a largo plazo, sino se asegura la planificación sistemática de proyectos y programas que conlleven a estas metas. Además se debe consolidar, al menos por el momento la figura de control y sanción para asegurar el cumplimiento de la ley.

2.4 Normativas y estándares destacados

En la Unión Europea (UE) destacan dos documentos que fueron referencia para las políticas energéticas comunitaria: El Libro Blanco y la Directiva 2002/919 relativa a la EE de los edificios.

El Libro Blanco presentó ideas sobre los objetivos comunitarios, así como instrumentos de política energética para lograrlos. En este documento se señalan tres

objetivos claves de la política energética: mejora de la competitividad, seguridad del suministro y protección del medio ambiente. Para alcanzar estos objetivos, señala como factor importante el fomento de las fuentes de energía renovables [24].

La Directiva relativa a la EE de los edificios (Directiva 2002/91 / CE) [25], que entró en vigor en 2002, establece cuatro requisitos: (a) un marco general de una metodología de cálculo de la eficiencia integrada de los edificios, (b) la aplicación de normas mínimas en los edificios nuevos y remodelados, (c) la certificación energética y asesoramiento para los edificios nuevos y existentes, y (d) la inspección y evaluación de calderas y sistemas de calefacción/refrigeración.

De igual forma destaca el fomento de programas de uso eficiente de la energía y de energías renovables, tanto en el área de tecnologías limpias, eficientes y renovables, como en la promoción de prácticas y estrategias energéticamente sostenibles, entre los que destacan: (a) JoULE-Thermie: Fomento de la investigación, desarrollo y demostración (I,D&D) en tecnologías energéticas no nucleares, (b) SAVE (Specific Actions for Vigerous Energy Efficiency): Acciones específicas para EE vigorosa, (c) Altener: Programa para la promoción de las fuentes de energía renovable, (d) Auto-oil: Programa dirigido al sector transporte automotor para hacerlo más eficiente y ambientalmente responsable.

Para complementar las directrices a nivel residencial, está la Directiva marco (92/75/CEE) para el etiquetado de artefactos domésticos, y la Directiva (96/57/CEE) relativa a los requisitos de rendimiento energético de los frigoríficos, congeladores y aparatos combinados eléctricos de uso doméstico.

2.5 Normativas y estándares de calificación y certificación de edificaciones destinadas al uso residencial

En general, todos los reglamentos y estándares destinados a la calificación y certificación de edificaciones tiene en cuenta las directrices planteadas por la UE y los organismos creados para este fin. Los reglamentos y estándares que se presentan a continuación destacan por los resultados obtenidos, la difusión y/o la disponibilidad.

A continuación se resumen algunos de los parámetros cuantificables que son comunes en los estándares y reglamentos seleccionados como: consumo de energía, nivel de aislamiento, instrumento de evaluación y alguna característica especial por la cual destaque sobre los demás.

2.5.1 Estándar Passivhaus

El estándar Passivhaus es de origen Alemán, propuesto por los profesores Bo Adamson de la Universidad de Lund (Suecia), y Wolfgang Feist del Instituto Für Wohnen und Umwelt (Instituto de la edificación y medio ambiente) en el año 1988. La base principal del estándar es evitar las pérdidas de calor y optimizar las ganancias de calor satisfaciendo los siguientes criterios [27,28]:

1. Demanda anual máxima en 15 kWh/m^2 en energía térmica.
2. Los valores de transmitancia máximos (U):

| Componente | U (W/m ² K) |
|---------------|--------------------------|
| Opacos | 0,15 |
| transparentes | 0,8 |

Tabla 1. Valor de transmitancias permitidas por Passivhaus

3. El edificio debe cumplir con $n_{50} \leq 0,6$ por hora, es decir no debe escaparse más aire que 0,6 veces el volumen de la edificación por hora
4. El total de energía primaria consumida (para calefacción, refrigeración, agua caliente y electricidad) no debe sobrepasar más de 120 kWh/m² por año.
5. La carga de calefacción del edificio debe ser menor de 10 W/m².

El estándar se puede aplicar de viviendas hasta edificios de cualquier uso, de nueva construcción o rehabilitados, otorgando un Certificado de Casa Pasiva, para las viviendas de nueva construcción, y un Certificado EnerPHit para las unidades reformadas.

El cumplimiento de los criterios de certificación supone un alto nivel de aislamiento térmico, control de los puentes térmicos, ventanas con triple aislamiento y carpinterías de gran calidad, ventilación mecánica con recuperación de calor si el clima lo justifica, ventilación natural para el verano, aprovechamiento de la luz, orientación óptima y electrodomésticos de bajo consumo energético. Todo ello soluciona en gran medida lo que corresponde con las mayores pérdidas por orden de relevancia en los elementos constructivos (Fig. 4).

Dado que el estándar se basa en la Norma UNE EN ISO 7730, y la Norma EN 15251, se especifica que la temperatura operativa interior, debe mantenerse por encima de 21°C en invierno, y alrededor de los 26°C en verano.

El estándar se evalúa a través del programa PHPP (Paquete de planificación casa pasiva, *Passivhaus Projektierungs-Paket*), el cual trabaja en base a promedios y al sistema de cálculo de grados día, así como de los datos que se introducen en cada una de sus hojas. El programa contempla una base de datos para: los cerramientos opacos, los componentes transparentes y el equipamiento de climatización del edificio, basado esencialmente en las normativas Europeas [29].

El programa PHPP no es de software libre, aunque su difusión en varios países hace que se consiga su versión en otros idiomas. El proceso de certificación inicia con la solicitud que debe ir acompañada de toda la documentación, y entregada al organismo encargado con sede en el país. El proceso no incluye la supervisión durante la fase de obra, pero se debe presentar la justificación del cumplimiento de los valores de hermeticidad, del protocolo de equilibrado del sistema de ventilación, la declaración del director de obra y al menos una fotografía. Una vez alcanzada la certificación no se realiza ningún seguimiento ni control sobre la construcción

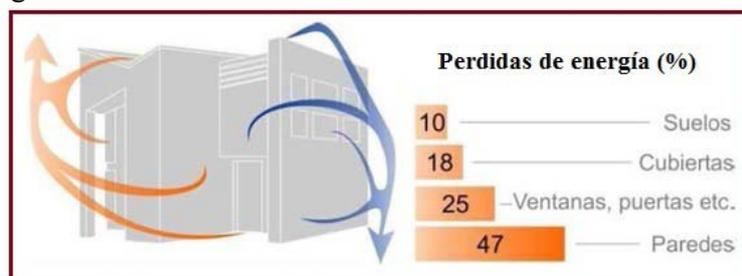


Fig. 4. Principales pérdidas en los edificios. [27]

Según lo publicado en *The passivhaus standard in European warm climates* el ahorro asociado a este tipo construcción se basa en estimar los costes energéticos y el coste de mantenimiento utilizando diferentes escenarios del análisis del ciclo de vida (LCCA), dependiendo del país. Las principales variables del LCCA son: los costes iniciales y futuros relacionados con el uso de la vivienda, período de tiempo en el cual se incurre en dichos costes, o alternativamente, un período predeterminado de análisis; y la tasa de descuento que se aplica a los costes futuros para igualarlos al valor presente [30].

2.5.2 Código Técnico de la Edificación (CTE)

La normativa energética de los edificios en España tiene su origen a finales de los años setenta con la aprobación por Real Decreto 2.429/79 de la Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79. Luego, siguiendo las pautas del Parlamento Europeo se aprueba el RD 314/2006 que contempla como marco regulador el Código Técnico de la Edificación (CTE) a través del Documento Básico (DB) de habitabilidad y energía (HE) ahorro de energía.

El DB-HE ahorro de energía define el procedimiento de certificación de EE de edificios y su objetivo es conseguir un uso racional de la energía, basado en parámetros y procedimientos que aseguran la satisfacción de las exigencias y requisitos previstos en cada uno de los documentos que lo conforma. El ámbito de aplicación es a todas las construcciones nuevas, modificadas, reformada o rehabilitada, sin importar su uso.

El DB-HE ahorro de energía establece cinco documentos, con los diversos aspectos relativos a la calificación de la eficiencia definidos de la siguiente forma:

- Documento Básico HE1 (DB-HE1): destinado a la limitación de la demanda energética, su aplicación está condicionada a la zona climática, así los valores de aislamiento dependen de la zona climática y la carga interna según si son espacios habitables o no habitables.

La zona climática, se determina a partir de las severidades climáticas de invierno (SCI) y la severidad climática de verano (SCV) de cada localidad. Parte de los grados-día y radiación solar. La SCI reconoce cinco divisiones identificadas por letras: A, B, C, D y E siendo la más severa la letra E. La SCV reconoce cuatro divisiones identificadas por números: 1, 2, 3 y 4 siendo la más severa la número 4. La combinación de las SCI y SCV aporta las 12 zonas climáticas reconocidas en España, definidas en la Tabla 2.

La Tabla 3 especifica el criterio que debe cumplir cada componente de la envolvente térmica definido por zona climática.

| | | Severidad climática de invierno | | | | |
|-------------------------------|---|---------------------------------|----|----|----|----|
| | | A | B | C | D | E |
| Severidad climática de verano | 4 | A4 | B4 | C4 | - | - |
| | 3 | A3 | B3 | C3 | D3 | - |
| | 2 | - | - | C2 | D2 | - |
| | 1 | - | - | C1 | D1 | E1 |

Tabla 2. Zonas climáticas definidas en la norma española

| Aislamiento específico del edificio de referencia U (w/m ² k) | | | | |
|---|---------------|----------|--------|------------|
| Zona climática | Muro exterior | Cubierta | Suelos | Medianeras |
| A | 0,94 | 0,50 | 0,53 | 1,22 |
| B | 0,82 | 0,45 | 0,52 | 1,07 |
| C | 0,73 | 0,41 | 0,50 | 1,00 |
| D | 0,66 | 0,38 | 0,49 | 1,00 |
| E | 0,57 | 0,35 | 0,48 | 1,00 |

Tabla 3. Aislamiento específico según el DB HE1 por zona climática [31]

El cálculo de la demanda energética, se puede hacer mediante el uso del programa Limitación de la Demanda Energética (LIDER). El programa compara el edificio objeto a calificar con otro denominado de referencia que cumple estrictamente las exigencias del HE 1. El edificio de referencia tiene las mismas características geométricas, constructivas, condiciones operacionales y condiciones climáticas que el edificio objeto. Esta herramienta de uso libre, está diseñada para realizar la proyección geométrica, constructiva y operacional del edificio, así como para llevar a cabo la mayor parte de los cálculos recogidos en el CTE-HE1 [32].

- Documento Básico HE2 (DB-HE2): Destinado al Rendimiento de las instalaciones térmicas, establece las condiciones previstas en el R D 1826/ 2009, a través del Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) [33], el cual de fine lo concerniente a la calidad del aire.
- Documento Básico HE3 (DB-HE3): Destinado a la EE de las instalaciones de iluminación interior. Este documento se debe aplicar a los edificios nuevos o rehabilitados con una superficie útil superior a 1000 m², se hace verificando que el Valor de Eficiencia Energética de la Instalación (VEEI) se encuentre dentro de valores límites en función de su uso y ocupación. El DB-HE3 excluye de su aplicación a interiores de viviendas, si n embargo solicita la justificación de medidas de ahorro definidas para la instalación de iluminación.
- Documento Básico HE4 (DB-HE4): Destinado a la Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS). Se aplica a las construcciones nuevas y rehabilitadas de cualquier uso, en los que exista una demanda de ACS y/o climatización de piscina cubierta, estableciendo condiciones y objetivos de funcionamiento, protección, energía auxiliar, control y medición.
- Documento Básico HE5 (DB-HE5): Destinado a la contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica. Este documento se debe aplicar en establecimientos de grandes dimensiones como: multi-tiendas, centros comerciales, hoteles, hipermercados, edificios administrativos, hospitales entre otros, y se refiere a la incorporación de sistemas de captación y transformación de energía solar para uso propio o suministro a la red.

Todo lo descrito en el Documento Básico HE ahorro de energía, se evalúa y califica a través del programa Calener, del cual existen dos versiones: El Calener VyP que se aplica a los edificios de vivienda y a los edificios terciarios pequeños y medianos climatizados y con suministro de ACS. El Calener GT se aplica a los edificios terciarios de todo tipo, permite simular térmica y energéticamente los edificios según las condiciones programadas.

El programa Calener entrega la calificación que corresponde al edificio en función de lo que se haya definido, tanto para la demanda energética como para la simulación del comportamiento del sistema de acondicionamiento.

El proceso de calificación se puede hacer a nivel de proyecto, el cual conducirá a la expedición de una certificación cuando el edificio esté terminado. Cada comunidad autónoma establece el órgano encargado para avalar el procedimiento de certificación, a través de agentes acreditados o técnicos independientes que deberá realizar inspecciones con el fin de comprobar el cumplimiento de los parámetros de finidos para alcanzar la calificación. El certificado tendrá una vigencia máxima de 10 años, y será el mismo órgano competente el encargado de la renovación o actualización.

2.5.3 Estandar Leadership in Energy and Environmental Design (LEED)

El LEED se creó en 1993 por la conformación de un comité compuesto por profesionales que incluyó a arquitectos, agentes inmobiliarios, propietarios, abogados, expertos en medio ambiente y representantes de la industria [34]. Es un sistema de certificación avalado por el Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos (*US Green Building Council USGBC*), a través del Instituto de Certificación de Edificaciones Sostenibles (GBCI) establecido en 2008.

La certificación es un acto voluntario, se basa en la cantidad de energía usada, principios ambientales, en la correcta utilización de materiales convencionales y materiales reciclados promocionando un comportamiento medioambiental limpio. Logrando un equilibrio entre prácticas convencionales y conceptos emergentes. El estándar se puede aplicar desde viviendas hasta edificios de cualquier uso, de nueva construcción o rehabilitados con un área mínima de 93 m² de superficie neta.

El sistema LEED 2009 presenta un sistema de clasificación por tipologías:

- LEED para edificios existentes: Operación y mantenimiento.
- LEED para Núcleo y envoltorio (for Core & Shell).
- LEED para nuevas construcciones (for New construction).
- LEED para colegios (for Schools).
- LEED para desarrollos urbanísticos (for Neighborhood development).
- LEED para centros comerciales (for retail).
- LEED para edificios hospitalarios (for Healthcare).
- LEED para viviendas (for Homes).
- LEED para interiores comerciales (for commercial interiors).

Cada tipología se evalúa en base a cinco (5) prerequisites esenciales:

- Parcelas sostenibles (PS).
- Eficiencia en agua (EA).
- Energía y atmósfera (EYA).
- Materiales y recursos (MR).
- Calidad ambiental interior (CAI).

Además de los 5 prerequisites mencionados, existen 2 adicionales que cubren condiciones locales, y el diseño y construcción medioambiental de finidas como: Prioridad regional (PR) e Innovación en el diseño (ID).

El estándar LEED establece para cada prerequisite una serie de créditos cuyo cumplimiento otorga puntos. El peso de los puntos va en función del crédito de mayor

| Certificación LEED Home | |
|-------------------------|-----------------|
| Clasificación | Puntos |
| Certificado Básico | 40 – 49 |
| Certificado Plata | 50 -59 |
| Certificado Oro | 60 – 79 |
| Certificado Platino | 80 y más puntos |

Tabla 4. Clasificación de los certificados entregados por LEED Home.

impacto y según el prerrequisito que se esté evaluando. El estándar se evalúa a través de un programa conformado por un sistema de hojas de cálculo, el cual no es de uso libre el interesado debe registrarse y pagar la suscripción para optar a la opción de certificación, tener acceso al programa de evaluación y a la información.

Para lograr la certificación se deben cumplir de forma obligatoria con los prerrequisitos. El sistema de clasificación consta de 100 puntos básicos correspondiente a los prerrequisitos esenciales, los prerrequisitos adicionales ofrecen la oportunidad de obtener una prima de hasta 10 puntos adicionales.

LEED permite la realización del proceso de certificación en una única entrega al final de la fase de construcción o bien separándolo en 2 fases: una fase de diseño que considera la documentación y estrategias seguidas en el diseño del proyecto, y una segunda fase de construcción que comprueba que lo establecido en el diseño se lleva a cabo en la fase de construcción. El USGBC/GBCI comprueba el cumplimiento de los prerrequisitos y de los requerimientos marcados como objetivo en el proyecto, obteniendo una puntuación según los créditos sean otorgados/denegados lo que determina el nivel de certificación alcanzado por el edificio, según lo establecido en la Tabla 4.

2.5.4 Otros Reglamentos y estándares

Como se dijo en el inicio de la sección 2.5, existe una gran variedad de iniciativas relativas a la EE de los edificios que operan en la CU con distintos niveles de éxito, aceptación y varemos de calificación adecuadas a cada realidad. A continuación se presenta una tabla comparativa con la finalidad de mostrar algunos de ellos.

| Característica | Dinamarca [35] | Suiza [36] | Reino Unido [37, 38] | Países Bajos [39] |
|-----------------------------|--|---|--|--|
| Nombre | House Energy Labelling Act | Minergie | Standard Assessment Procedure (SAP) | Energy Performance Standard (EPN) |
| Tipo | Regulación | Estándar | Regulación | Regulación |
| Acto | obligatorio | Voluntario | Obligatorio | Obligatorio |
| Histórico | · Ordenanza 485 del año 1996, · Ley N° 541 de mayo 2010. · Ley N° 646, de Junio 2011 | Regulada por el estándar SIA 380/1 (2009), con referencia en la norma Europea ISO 13790 | El procedimiento es consistente con la norma BS EN ISO 13790: 2008 | · "Nationaal Milieubeleidsplan (NMP)". 1989. · "NMP-plus de 1990" |
| Última revisión | 2010 | 2009 | 2009 versión 9.90 | Julio de 2012 |
| Consumo max. energía | BR10 → 57,9 kWh/m ² anual LEB2015 → 37,9 kWh/m ² anual B2020 29,5 kWh/m ² anual | 125 lts/persona/día de agua | | * EPC ≤ 0,6 se va ajustando e l va lor, para e l 2014 s e espera m áximo e n 0,4 |
| Criterios | · Calefacción | · Calefacción | · Calefacción | · ACS |

| | | | | |
|---------------------------------|--|---|---|--|
| incluidos | · ACS · Consumo por aparatos electrodomésticos | · ACS · Ventilación · Iluminación | · ACS · Ventilación · Iluminación | · Iluminación |
| Unidad de evaluación | Consumo de energía (kWh/año) (kWh/m2) | Emisiones de CO2 Consumo de energía anual (kWh/año) (kWh/m2) | Emisiones anuales CO ₂ kg / m ² | El E PC ha y una relación con las emisiones de CO ₂ . |
| Incentivos | · Ley de precios de electricidad, venta por plantas de cogeneración de pequeñas escala · Impuestos sobre consumos de gas natural y electricidad | · Programa de apoyo de saneamiento de construcciones. · Impuestos sobre el CO ₂ para los combustibles fósiles | · Fuel poverty scheme: hogares con alto consumo de ingresos en pagos energéticos. · Reducción de IVA en materiales que mejoran la EE. · reestructuración tarifaria sobre el consumo eléctrico · Carbon trust programme: asesoramiento a PYME para reducir sus facturas y otros préstamos. · Home Energy Efficiency Scheme (HEES) asistencia técnica y subsidio para aislamientos a hogares bajo ingreso | · Ley del sector eléctrico que establece una cuota mínima de energía renovable con respecto a la total suministrada a los consumidores · Subsidios para medidas de EE en hogares de bajo ingreso · Incentivos fiscales para la inversión en medidas que promuevan la EE · Impuestos sobre consumos de gas natural, electricidad, gasoil y gas licuado de petróleo |
| Alcance residencial | Toda construcción de menos de 1500 m ² | Toda viviendas con una superficie total de 500 m ² . | Toda viviendas con una superficie total de 450 m ² . | Para cualquier tipo de instalación < 1000 m ² . |
| Instrumento evaluativo | Energy labelling for Small Buildings (EM) y Energy Management Scheme for Large Buildings (ELO) | -Paginas de Excel cálculo de la energía térmica · Minergie prueba | Programa de hojas de cálculo acompañado de una serie de tablas | · EPG&Kosten programa informático. · EPCCheck programa para calcular el CPE. |
| Escala de calificación | < 60 → A 61 - 90 → B 91 - 150 → C 151 -230 → D 231 -330 → E 331 -450 → F > 450 → G Siendo A el más eficiente | · Minergie → 38 kWh/m ² · Minergie-P → 30 kWh/m ² · Minergie-A → 0 kWh/m ² · Minergie-ECO | Por puntos de 1 a 100 siendo 11 a menos eficiente: · 1 a 20 → G · 21 a 38 → F · 39 a 54 → E · 55 a 68 → D · 69 a 80 → C · 81 a 91 → B · 92 y mas → A | · < 0,17 → A1 · ≥ 0,17 → A2 · ≥ 0,34 → A3 · ≥ 0,50 → B1 · ≥ 0,84 → B3 · ≥ 1,00 → C1 · ≥ 1,17 → C2 · ≥ 1,34 → C3 · ≥ 1,50 → D1 · ≥ 1,75 → D2 · ≥ 2,00 → E1 · ≥ 2,25 → E2 · ≥ 2,50 → F · ≥ 3,00 → G A1 es más eficiente |
| Vigencia del certificado | Cinco años | ** | ** Revisión de calderas cada 2 años. | 10 años a partir de la fecha de su emisión. |

Tabla 5. Comparativa de algunas normativas y estándares Europeos

*Consumo energético de referencia $EPC = Q_{tot} / (330 \times A_{\text{útil}} + 65 \times A_{\text{perdida}}) \times 1/C_{EPC}$

Con: Q_{tot} : Consumo energía primaria total (MJ), $A_{\text{útil}}$: Área útil (m²), A_{perdida} : Área perdida (m²), C_{EPC} : Factor de corrección sobre los antiguos estándares.

**La UE en el Libro Blanco establece un periodo máximo de 5 años.

2.6 Calificación energética de las edificaciones en América Latina

De la información expuesta en el presente capítulo se puede concluir la disposición de los gobiernos de América Latina a gestionar el desarrollo de la sostenibilidad y la eficiencia energética. Sin embargo, la falta de herramientas destinadas a tal efecto pone en evidencia el tiempo que esto puede suponer para lograrlo.

Esta falta de herramientas para la calificación de las edificaciones, hizo que se recurriera a la revisión de estándares y reglamentos con un margen de éxito reconocido. Destaca el DB-HE esencialmente por la posibilidad de calificación en distintas zonas climáticas, una de las cuales se aproxima a las condiciones climáticas tropicales. Con ello los índices de evaluación para aislamiento, radiación solar y opciones de utilización de energías alternativas se pueden considerar exportables para los climas tropicales. Además es un reglamento bastante completo y que tiene en cuenta los criterios de evaluación que afectan a la EE como calefacción, ventilación, ACS e iluminación.

La probabilidad de resultados parecidos con los otros reglamentos y estándares es más remota debido principalmente a que ajustan sus criterios de evaluación a sus severidades climáticas que son mucho más exigentes, dada su condición de ubicación geográfica (países ubicados al norte de Europa). Con lo cual sus índices de evaluación implican niveles de aislamiento y equipamiento con estrategias de conservación de temperatura interior que para el clima tropical no se justifican en uso ni en inversión.

Capítulo 3

Estudio de la vivienda de interés social

Se estima que alrededor del 84% de las emisiones de CO₂ son relacionadas con la energía, y alrededor del 65% de todas las emisiones de gases de efecto invernadero se puede atribuir a la fuente, la generación y el uso de la energía [40]. Las emisiones directas de las construcciones representan alrededor del 10% de las emisiones globales de CO₂, si se incluyen las emisiones indirectas del uso de electricidad en el sector aumenta a casi el 30% de las emisiones globales [41].

Como ya se mencionó, en América Latina existe un déficit de 22,7 millones de viviendas de acuerdo con datos disponibles entre el 2002 y 2005 [42], para subsanar el déficit de vivienda se estima una inversión de US\$ 310.000,00 millones, o 7,8% de su producto interno bruto (PIB) [43].

Se estima que de las 130 millones de familias que viven en las ciudades de América Latina y el Caribe (AL y C), al menos 44 millones de familias necesitan vivienda. Basado en el análisis expuesto por los autores de *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de la vivienda en América Latina y el Caribe*, se puede deducir que en general, se trata de familias cuyos recursos les darían para optar a una vivienda de interés social. La Tabla 6 muestra el déficit de vivienda en algunos países latinoamericanos en porcentaje por familia.

A pesar del déficit de viviendas, el consumo energético en el sector residencial ha crecido progresivamente en América Latina, con lo cual la solución al problema de la vivienda no solo se limita en satisfacer la construcción, sino que se necesita que se promuevan mecanismos eficaces para enfrentar los problemas de abastecimiento de energía necesaria a lo largo de su vida útil, minimizando su impacto ambiental y energético.

| País | Déficit de vivienda (% por familia) |
|------------|-------------------------------------|
| Brasil | 33 |
| Colombia | 37 |
| Costa Rica | 18 |
| Panamá | 39 |
| Venezuela | 29 |

Tabla 6. Déficit de viviendas en porcentaje por familias [43]

Los objetivos de este capítulo son:

- Aportar una metodología que sirva para caracterizar la vivienda de interés social (VIS) típica en un clima tropical.
- Realizar la evaluación de la EE de la vivienda de interés social.
- Proponer alternativas para la adecuación y transformación a una vivienda eficiente y sostenible.

3.1 La Vivienda de Interés Social (VIS)

Una definición de la VIS general para los países latinoamericanos es difícil, aunque es común que su uso final es destinado a hogares de menores ingresos. En general es financiada por los gobiernos y su construcción puede ser por un ente gubernamental y/o privado, como se refleja en la legislación respectiva de Brasil, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Panamá y Venezuela [44, 45, 46, 47, 48, 49].

En general, las legislaturas plantean una serie de características cualitativas a considerar en la construcción de este tipo de viviendas:

- Diseño según el sitio geográfico y lugar cultural.
- Inserción de la vivienda y del asentamiento en la trama urbana.
- Cumplimiento de requisitos mínimos de habitabilidad que impidan el hacinamiento espacial y familiar.
- Vivienda saludable en términos de sanidad, ventilación e iluminación.
- Vivienda segura desde el punto de vista ambiental, social y estructural constructivo, con espacios diferenciados social y funcionalmente.
- Todos los servicios de infraestructura y urbanismo.
- Servicios de índole comunitaria, la calidad y accesibilidad física ajustados a parámetros de densidad y distancia.
- Posibilidades de progresividad y adaptabilidad al desarrollo futuro.

No obstante estas condiciones no permiten identificar la VIS, por esto la siguiente sección se dedica a ello.

3.2 Caracterización de la vivienda de interés social

Para caracterizar la vivienda de este estudio se plantea una metodología que comienza por enmarcar las condiciones cualitativas previstas en las legislaciones, en cinco categorías capaces de aportar parámetros cuantificables que cubran todos los aspectos necesarios para parametrizar la vivienda,

- Ambiente: Son las características del entorno a la vivienda que no se pueden afectar a corto plazo (temperatura, humedad, vegetación, velocidad del viento, precipitaciones y radiación solar).
- Terreno: Son los criterios que están relacionados con el espacio de tierra destinado a la construcción de la vivienda (superficie total de la parcela, preparación del suelo con la finalidad de levantar los cimientos de la vivienda y el área destinada a la construcción de la vivienda).

- **Construcción:** Son todos aquellos detalles que definen la construcción de la vivienda (materiales, diseño, e estructura, a cabado a rquitectónico, relación con l as viv iendas vecinas).
- **Equipamiento:** Son el tipo de energía suministrada y las instalaciones para su uso, así como t odo equipo que f uncione c on a l gún t ipo de e nergía y que s atisfaga alguna necesidad del usuario.
- **Confort y sostenibilidad:** Son las medidas que se i mplementan para llegar a va lores considerados de confort en sistemas propios de funcionamiento de la vivienda, así como las pautas que se ejecutan para bajar los costos de un servicio o para el aprovechamiento más eficiente de un mismo servicio.

La metodología incluye la confección de un instrumento tipo encuesta con un total de 72 preguntas para ser contestado de forma online y que aporta la información necesaria (Anexo A). El instrumento fue elaborado con el asesoramiento de un pequeño grupo de expertos del Departamento de Ingeniería de la Construcción de la UPC.

Para la muestra se o rganizó una base de datos con 53 candidatos, seleccionados en principio como pr ofesores de uni versidades e n países como B rasil, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Panamá y Venezuela, y de distintas ciudades de un mismo país. Dichos profesores tienen formación y/o proyectos de investigación en el área lo que aporta un margen de seguridad e n l os resultados obt enidos. D e l os 53 c andidatos s e obt uvo respuesta de 28 encuestas.

La car acterización final de l a V IS se obt uvo a pa rtir de la m ayor c antidad de respuestas coincidentes en cada apartado de la encuesta. Los resultados se resumen en las Tablas de la 7 a la 10. Los datos aportados por la encuesta en la sección Ambiente (no t abulados) corresponden a l a de finición de un c lima t ropical e n cuanto a sus características de t emperatura y humedad, es de cir una t emperatura promedio anual entre las ciudades encuestadas de 23,09 °C y un rango de humedades entre 65 y 90%.

| Parámetro | Respuesta | Porcentaje |
|----------------------|-----------------------------------|------------|
| Superficie parcela | Menos de 60 m ² | 65 % |
| Área construida | Menos de 50 m ² | 50 % |
| Preparación de suelo | Hormigón con malla electrosoldada | 90 % |

Tabla 7. Características del terreno

| Parámetro | Respuesta | Porcentaje |
|------------------------------|-------------------------|------------|
| Tipo estructura | Hormigón | 45 % |
| Tipo fachada | Una hoja | 55 % |
| Cubrimiento de fachada | Liso con pintura | 80 % |
| Material de cerramientos | Bloque de cemento | 50 % |
| Acabado fachada | Sala - comedor - cocina | 30 % |
| Aislantes | Ninguno | 65 % |
| Tipo cubierta | A dos aguas | 80 % |
| Material cubierta | Machihembrado y teja | 50 % |
| Acabado de suelo | Cerámica o baldosa | 70 % |
| Contacto con vivienda vecina | Adosada a un costado | 35 % |
| | Adosada a dos costados | 35 % |

Tabla 8. Características de la construcción: estructura

| Parámetro | Respuesta | Porcentaje |
|---------------------|--------------------------|------------|
| Sistema de ventanas | Panorámicas o correderas | 45 % |
| Marco ventana | Aluminio | 80 % |
| Area por ventana | 1,5 m ² | 35 % |
| Tipo de vidrio | Monolítico 6 mm | 80 % |
| Sistema puerta | Abatible | 100 % |
| Marco puerta | Madera | 46 % |
| | Acero | 46 % |
| Material puerta | Madera | 62 % |

Tabla 9. Características de la construcción: acabados

| Parámetro | Respuesta | Porcentaje |
|-----------------------------|--|------------|
| Servicios básico | Agua potable, electricidad y gas natural | 55 % |
| Tipo acometida | Aérea | 75 % |
| Tipo de conexión eléctrica | Monofásica de 3 hilos (2F+N) | 65 % |
| Suministro del gas | Bombona o tanque individual | 65 % |
| Tipo de lámpara | Incandescente | 40 % |
| Equipo de cocción | Gas natural | 60 % |
| Equipo de ACS | Gas natura | 40 % |
| Tipo de climatización | Ventilación cruzada | 80 % |
| Equipo de acondicionamiento | Ventilador portátil | 35 % |

Tabla 10. Equipamiento de la vivienda

Respecto a la categoría de confort y sostenibilidad, se consultó el uso de las siguientes medidas:

- Orientación de la vivienda.
- Distribución interna en función del aprovechamiento de la iluminación natural.
- Vegetación como cortina natural y/o climatizador.
- Toldos y/o persianas para el control de la radiación solar.
- Lucernarios o tragaluz.
- Automatización y/o control para la iluminación.
- Implementación de sistema alternativo de energía para el ACS.
- Prestación en los cristales.

Las respuestas a todas las medidas planteadas fueron negativas, con excepción del uso de los lucernarios o tragaluz en los baños y ocasionalmente en la cocina.

Según los resultados del estudio la VIS se puede describir como una vivienda con una parcela de 60 m² y 48 m² de construcción, de un solo nivel, dos habitaciones, un baño, espacio común para cocina, comedor y salón, área exterior al final de la vivienda para los servicios de lavandería (Fig. 5 y 6). Respecto a los acabados es una vivienda con piso de cerámica, techo a dos aguas de madera y teja (machiembrado), el baño con revestimiento y piezas de cerámica, fachada lisa y con pintura. En cuanto a los materiales se usa bloque de cemento para las paredes, placa de piso de hormigón armado. En cuanto al equipamiento energético, la vivienda cuenta con servicio e instalaciones de agua potable, electricidad y gas.

La vivienda obtenida y descrita a través de la encuesta, se aproxima bastante a la vivienda estándar básica descrita en [43], cuyos costos se distribuyen en casi un 40% para materiales, 22% para mano de obra, 13% para el terreno y 15% para los costos administrativos.

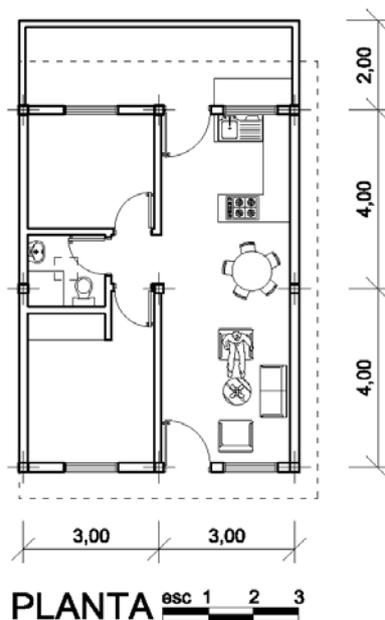


Fig. 5. Distribución de la vivienda de interés social

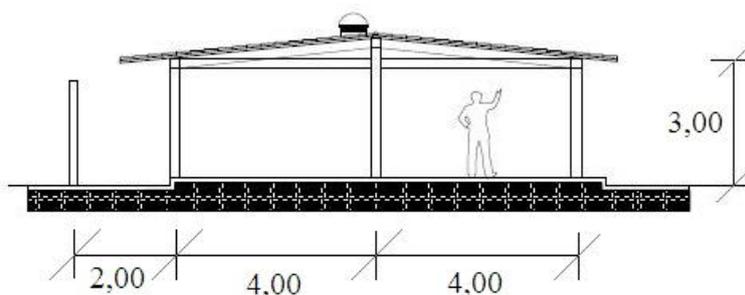


Fig. 6. Vista lateral de vivienda de interés social

3.3 Estudio de la EE de la vivienda de interés social

Una vez identificada y caracterizada la VIS el objetivo es evaluar la EE de la misma. Para ello se analizaron las normativas y estándares planteados en el Capítulo 2. A efectos del estudio de la VIS en los países latinoamericanos con climas tropicales, como ya se mencionó destaca la normativa española: Documento Básico de Habitabilidad y Energía. Este documento ofrece la posibilidad de hacer una calificación en una gran variedad de zonas climáticas.

Conocidas las características del clima tropical en cuanto a temperatura y humedad, se buscó una localización dentro de España que coincida con características parecidas a lo largo del año. Destaca Las Palmas de Gran Canaria, si bien las condiciones no son iguales a lo largo del año al clima tropical, la cercanía con el trópico hace que sus condiciones promedios de temperatura y humedad se asemejen a la definición del clima tropical con una temperatura media anual de $20,8^{\circ}\text{C}$ y una humedad relativa de 68%, según datos de la estación climática Gran Canaria aeropuerto [50]. Otro dato importante para la selección de la locación es la radiación solar tanto directa como difusa, cuyos valores para Las Palmas son de radiación solar promedio de $5,06 \text{ kWh m}^{-2} \text{ día}^{-1}$ siendo su valor mínimo de 3,24, mientras que la radiación solar para el trópico latinoamericano

| Estación | Temperatura (°C) | Humedad (%) |
|----------|------------------|-------------|
| Invierno | 21 – 23 | 30 – 70 |
| Verano | 23 – 25 | 30 - 70 |

Tabla 11. Disposiciones para el bienestar térmico

está entre 3,5 y 7,0 kWh m² día⁻¹. Las Palmas corresponden a la zona climática A3 que se caracteriza por una SCI muy leve y una SCV media alta.

Las normativas y estándares estudiados establecen criterios con unes para la calificación de las viviendas. Estos criterios buscan satisfacer según corresponda la norma americana ASHRAE 55 [51] y la europea UNE-EN-ISO 7730 [52], que definen el bienestar térmico para ambientes interiores, a través de una temperatura de confort y que asegura unos niveles de energía y de emisiones de GEI (Gases de efecto invernadero) dentro de un rango como el definido en la Tabla 11.

En general, los criterios definidos en las normas y estándares de calificación de EE para asegurar los rangos de temperatura de escritos en ASHRAE 55 y UNE-EN-ISO 7730, son tres:

- Limitar los coeficientes de transmitancia térmica para asegurar un nivel adecuado de aislamiento.
- El diseño adecuado de las ventanas y puertas para evitar pérdidas.
- La contribución solar térmica para el sistema de ACS con la finalidad de disminuir el consumo de energía convencional.

3.3.1 Evaluación energética con el programa LIDER

La vivienda a evaluar para los efectos se denominará vivienda de interés social original (VISO). Para la evaluación, la VISO se ubicó en Las Palmas de Gran Canaria (zona climática A3) a una altura de 500 metros sobre el nivel del mar. Caracterizándola como una vivienda de tipo uni familiar, uso residencial con condición geométrica clase 3. El número de renovaciones hora se calculó según procedimiento DB HS-3 utilizando para el análisis 2,14 renovaciones/h. La construcción se proyectó con la fachada principal mirando hacia el sur (la Fig 7 muestra como el programa LIDER interpreta la orientación por defecto) y adosada a un lado con otra vivienda por el oeste, compartiendo la medianera por el lado de las habitaciones y el baño, como se muestra en la Fig. 8.

En cuanto a los materiales para los componentes de la VISO se utilizó la información aportada por los expertos. Los datos cargados en la base de datos del programa para el diseño de cada cerramiento de la vivienda se hizo en el orden y espesor adecuado, los valores de transmitancia utilizados para la simulación son los valores por defecto del programa, y algunos materiales que no estaban fueron creados para satisfacer el criterio aportado por los especialistas.

El diseño geométrico y la distribución interna de la VISO fueron hechos con la colaboración de un arquitecto, en base a los datos aportados por las encuestas. La caracterización de cada espacio se hizo de acuerdo a la lógica de su uso.

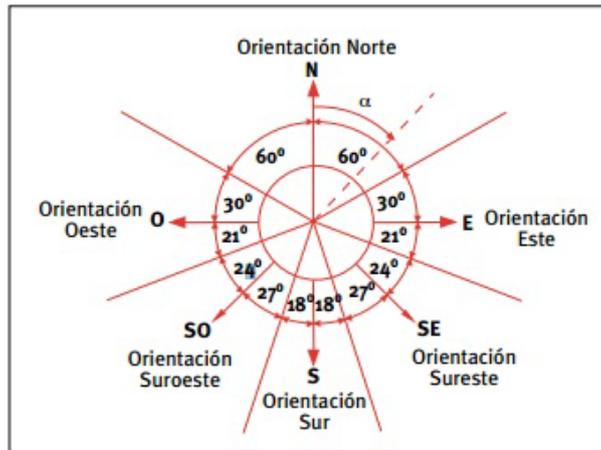


Fig. 7. Orientación asimilada por el programa Lider

El informe aportado por el programa LIDER (Anexo B) especifica el orden, espesor y coeficiente de transmitancia de cada material utilizado en los componentes de fachada, suelo, cubierta, ventanas y puertas de la VISO.

El programa LIDER entrega resultados de la análisis de demanda energética de la vivienda, sin valorar ningún sistema de acondicionamiento e instalaciones térmicas, con lo cual si la vivienda no supera la evaluación de demanda, no se podrá realizar su calificación a través del programa Calener. Este programa incluye la definición geométrica y constructiva del edificio, la definición del sistema de acondicionamiento del edificio objeto y las instalaciones térmicas, mostrando la calificación obtenida por el edificio.

El resultado obtenido por la VISO a través del programa LIDER es:

“El edificio descrito no cumple con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación en su documento básico HE1”.

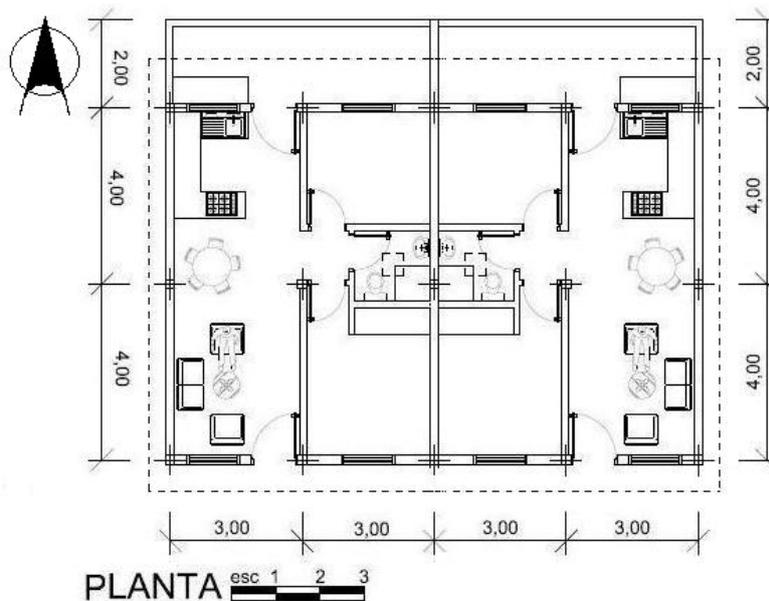


Fig. 8. Proyección de vivienda de interés social para la calificación

Entregando la siguiente tabla:

| | Calefacción | Refrigeración |
|---|-------------|---------------|
| % de la demanda de referencia | 143,4 | 272,5 |
| proporción relativa calefac. refriger. | 74 | 26 |

Tabla 12. Resultados del LIDER

| Encerramiento | U (W/m ² K) | | |
|----------------------|---------------------------|------|--------|
| | Máximo | VISO | VISCL* |
| Fachadas | 1,25 | 2,00 | 0,30 |
| Medianera | 1,80 | 1,76 | 0,32 |
| Cerramiento interior | 1,80 | 2,29 | 0,93 |
| Suelos | 0,69 | 1,13 | 0,52 |
| Cubiertas | 0,65 | 3,20 | 0,55 |
| Ventanas | 5,70 | 5,69 | 2,66 |
| Lucernarios | 5,70 | 5,69 | 2,08 |
| Puerta | 5,70 | 2,20 | 2,26 |

Tabla 13. Transmitancias térmica de la vivienda

*Vivienda de interés social calificada

Los resultados de la Tabla 12 muestran el porcentaje de la demanda de referencia que expresa la relación del consumo de energía que hay entre el edificio objeto y el edificio de referencia. Así, el valor de 143,4% significa que la demanda del edificio objeto es 1,434 veces superior que la del edificio de referencia. Los resultados de la proporción relativa a calefacción y refrigeración expresan cuanto de esta demanda corresponde a calefacción y cuanto corresponde a refrigeración.

Además, el informe especifica que ninguno de los cerramientos y/o particiones interiores cumple con los valores de transmitancia térmica. La Tabla 13 muestra los valores máximos de transmitancia térmica permitidos por el DB-HE1 y, en la columna de la VISO, los obtenidos en la simulación.

Debido a que la VISO no cumple los requisitos de demanda, el siguiente paso para continuar con la evaluación energética de la vivienda es proponer las medidas adecuadas para la mejora energética de la vivienda.

3.3.2 Propuestas de mejora de la eficiencia energética

Como se comentó en el apartado 3.3 las normativas y estándares revisados establecen criterios comunes, cuyo objetivo es que las construcciones alcancen niveles de consumo de energía mínimos manteniendo el bienestar térmico. De estos criterios se priorizan dos para dar cumplimiento a lo establecido en el DB-HE1 y superar la evaluación del programa LIDER.

Aislamiento

El diseño de una envolvente adecuada limita la demanda energética y favorece el proceso de alcanzar el bienestar térmico en función de la zona. En este caso los aislamientos que se eligieron son los mínimos para cumplir con el DB-H1. Para el estudio de la envolvente se procedió a evaluar los aportes de los cerramientos que la conforman como la fachada, medianera, cerramientos interiores, suelo y cubierta.

| Modificación | % de la demanda de referencia | |
|--------------------------|-------------------------------|---------------|
| | Calefacción | Refrigeración |
| (F) | 121,6 | 199,4 |
| (F) + (CI) | 98,6 | 183,4 |
| (F) + (CI) + (AS) | 89,7 | 182,9 |
| (F) + (CI) + (AS) + (AC) | 55,6 | 108,4 |

Tabla 14. Resultados parciales del LIDER

En primer lugar se evaluó solo el aporte de la fachada (F), para la cual se utilizaron los mismos materiales de la VISO, incorporando una cámara de aire ligeramente ventilada de 5 centímetros una capa de 5 centímetros de poliestireno expandido (EPS=0,037 W/m K) y a la medianera solo se le agregó 10 centímetros de EPS.

El segundo cambio aportado son los cerramientos interiores (CI), a los cuales se les agregó una capa de 2 cm de EPS a los ya aportados a la fachada y la medianera.

El tercer cambio es colocar aislamiento al suelo (AS), al cual se le agregó una capa de 5 centímetros de Lana mineral (0,04 W/m K).

El cuarto cambio aportado es el aislante en la cubierta (AC), a la cual se le agregó una capa de 5 centímetros de EPS y el ajuste de los puentes térmico.

A medida en que se van agregando los cambios, se nota la significativa mejoría en la EE tal y como se puede ver en la Tabla 14. No obstante el sistema sigue sin cumplir la calificación. Aunque el aislamiento asegura la conservación de una temperatura de confort dentro de la vivienda, el punto crítico son los niveles tan altos de humedad que hacen imprescindible el uso del aire acondicionado, lo cual se refleja en la demanda para refrigeración. Las objeciones se presentan a nivel de las ventanas y puertas, las cuales permanecen por encima de los valores máximos permitidos, produciendo una entrada de mayor radiación solar, mayor intercambio de aire exterior, pérdida de aire interior por los marcos de puertas y ventanas.

Diseño de ventanas y puertas

La reforma de las ventanas y el lucernario viene por el tipo de cristal. Se sustituye el cristal monolítico de 6 mm por uno de doble acristalamiento (4/12/4) con factor solar de 0,52 que reduce hasta un 40% las aportaciones energéticas, sin que esto suponga una pérdida de luminosidad. En cuanto al tipo de marco, se usa de madera de densidad media alta. La puerta es de madera con marco de madera de densidad media alta. El resultado obtenido al incorporar estos últimos cambios al diseño es:

“El edificio descrito en este informe cumple con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su DB- HE1.”

Entregando los valores mostrados en la Tabla 15

| | Calefacción | Refrigeración |
|--|-------------|---------------|
| % de la demanda de referencia | 59,4 | 97,2 |
| proporción relativa calefac. refriger. | 28,6 | 71,4 |

Tabla 15. Resultados del programa LIDER

En la Tabla 15 se puede ver como efectivamente los valores aportados por la simulación, corresponde a valores por debajo del 100 %, lo que equivale a que los consumos de la vivienda objetos son menores a los de la vivienda de referencia. Finalmente, la tabla 13 muestra los valores de transmitancia térmica en la vivienda antes y después de incorporar los criterios aportados por la normativa. La vivienda una vez alcanzada la calificación del programa LIDER la denominaremos VISCL.

3.3.3 Evaluación energética con el programa Calener VyP

Una vez cumplidos los requisitos mínimos para cumplir con la demanda energética se continúa con el proceso de calificación de la VISCL. Para lo cual se utiliza el programa Calener VyP.

En este punto del proceso de calificación es obligatoria la aplicación de un tercer criterio debido a que el programa Calener evalúa los sistemas de acondicionamiento e instalaciones térmicas y la vivienda obtenida de la caracterización no cuenta con ninguno. Este último criterio se añade a los desarrollados en la sección 3.3.2. Así, de todos los sistemas de acondicionamiento que evalúa el programa, se elige el uso del sistema de agua caliente sanitaria (ACS) con contribución solar térmica, y de esta forma dar cumplimiento a lo concerniente a la previsión de consumo de energía y reducción de emisiones de CO₂ previsto en el DB-HE2 y el DB-HE4. Además, la característica del clima tropical satisface en gran margen la posibilidad del uso de la radiación solar como fuente de energía.

El DB-HE, al igual que otras normas y estándares, establece el uso de energía solar térmica como fuente principal para suplir la demanda de ACS. Para el caso de estudio el DB-HE4 establece una contribución solar mínima anual del 60%, ya que las Palmas de Gran Canaria pertenece a la zona V que corresponde a una radiación solar media diaria anual sobre superficie horizontal de $H \geq 5,0 \text{ kWh/m}^2$.

Con la implementación del sistema de ACS se pretende satisfacer una necesidad básica con el uso de energía renovable, de esta forma sustituir en gran parte el consumo de energía convencional y así disminuir las emisiones de dióxido de carbono, asegurando un sistema más limpio.

Según DB-HE4 y dado el emplazamiento geográfico de Las Palmas de Gran Canaria a 29° 25' de latitud norte, se estima que la orientación adecuada de los colectores solares debe ser hacia el sur con inclinación de 30° respecto a la horizontal. Esto asegura unas pérdidas máximas a través del procedimiento para la estimación de pérdidas por orientación e inclinación del 4,6%, es decir que se aprovecha un 95,4% de energía solar. Para los datos del programa se establece que no habrá pérdidas por sombras ya que se asume que no hay obstáculos que tapen los rayos solares, con lo cual se cumple el máximo de pérdidas permitido del 15% para el caso general establecido en el DB-HE4.

Para el cálculo del número y la selección de los paneles adecuados (anexo C), se utilizó el Método f-chart [53]. Este método, recomendado por el DB-HE4 permite calcular la cantidad de energía térmica que se obtiene de la energía solar. Estos cálculos se verificaron con el uso de una herramienta de simulación para la validación de cumplimiento del DB-HE4 aportada por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) de España.

El panel seleccionado tiene las características mostradas en la Tabla 16 con el cual se asegura una contribución de energía solar mensual en los valores mostrados en la Tabla 17, con una contribución promedio anual de 92,885% de energía solar con respecto a la energía convencional, lo que cubre con holgura el 60% establecido por el DB-HE4.

Con todos los cambios efectivos en el diseño de la vivienda y el aporte de la contribución solar para el ACS, finalmente se somete la VIS a la calificación energética. Para ello se usa el programa Calener VyP el cual aporta los datos mostrados en la Tabla 18 y la etiqueta de la Fig. 9. El informe completo se muestra en el anexo D.

| Datos técnicos | |
|--|---------|
| Rendimiento óptico | 0,677 |
| Coefficiente de pérdida de calor (K1) (W/m ² K) | 3,4446 |
| Coefficiente de pérdida de calor (K2) (W/m ² K) | 0,01274 |
| Área de apertura (m ²) | 1,862 |
| Área total (m ²) | 2,00 |

Tabla 16. Características del Panel solar

| Contribución mensual de energía solar (%) | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|-------|------|------|
| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ags | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 64,76 | 78,55 | 97,05 | 92,63 | 93,79 | 97,8 | 116,80 | 112,40 | 114,61 | 95,24 | 83,2 | 67,8 |

Tabla 17. Contribución solar por mes del colector seleccionado

| Consumos cuantificados | Edif. Objeto | | Edif. Ref | |
|--|--------------------|--------|--------------------|--------|
| | Por m ² | Anual | Por m ² | Anual |
| Consumo energía final (kWh) | 23,6 | 1132,0 | 26,3 | 1264,7 |
| Consumo energía primaria (kWh) | 40,3 | 1934,2 | 44,1 | 2119,0 |
| Emisiones CO ₂ (KgCO ₂) | 10,6 | 508,8 | 12,2 | 585,6 |

Tabla 18. Datos aportados por la etiqueta de calificación del Calener.

| Certificación Energética de Edificios Indicador kaCO ₂ /m ² | Edificio Objeto | | | Edificio Referencia | | |
|--|-----------------|-----------------------------------|------------------------|---------------------|-----------------------------------|------------------------|
| | Clase | kWh/m ² | kWh/año | Clase | kWh/m ² | kWh/año |
| <3.4 A | | | | | | |
| 3.4-6.6 B | | | | | | |
| 6.6-11.1 C | | | | | | |
| 11.1-17. D | | | | | | |
| >17.8 E | | | | | | |
| F | | | | | | |
| G | | | | | | |
| | | | 10,6 C | | | 12,2 D |
| Demanda calefacción | B | 4,6 | 220,8 | C | 7,9 | 379,2 |
| Demanda refrigeración | C | 11,6 | 556,8 | C | 12,0 | 576,0 |
| | Clase | kgCO ₂ /m ² | kgCO ₂ /año | Clase | kgCO ₂ /m ² | kgCO ₂ /año |
| Emisiones CO ₂ calefacción | C | 1,8 | 86,4 | C | 3,0 | 144,0 |
| Emisiones CO ₂ refrigeración | D | 6,7 | 321,6 | D | 7,0 | 336,0 |
| Emisiones CO ₂ ACS | C | 2,1 | 100,8 | D | 2,2 | 105,6 |
| Emisiones CO ₂ totales | | | 508,8 | | | 585,6 |

Fig. 9. Etiqueta de calificación energética obtenida por la VIS

Relacionando los resultados aportados por el programa LIDER (Tabla 15) y la etiqueta de calificación aportada por el programa Calener VyP (Fig 9), se obtiene que el total de energía demandada es de 777,6 kWh/año, de los cuales el 28,6% corresponde a la calefacción (220,8 kWh/año), y el 71,4% corresponde a la refrigeración (556,8 kWh/año). Comparando las demandas anteriores con las demandas de la vivienda de referencia (Fig 4) se obtienen los ahorros energéticos mostrados en la tabla 15. Sin embargo, el ahorro efectivo a través de la aplicación de estas medidas es superior al 41% en calefacción y al 3,6% en refrigeración ya que el consumo inicial de la vivienda era de 143,4% en calefacción y de 272,5% en refrigeración con respecto al edificio referencia como lo denota la tabla 12.

Además se observa que las emisiones de CO₂ totales del edificio objeto se han reducido por debajo de la vivienda de referencia gracias a la contribución solar térmica para el ACS.

La selección de los criterios aplicados básicamente son: Aislamiento, Acristalamiento y ACS con contribución solar térmica. Estas pautas mejoran en gran medida la vivienda, en función de su mantenimiento y el uso de energía a lo largo de su vida útil.

- El aislamiento asegura la conservación de una temperatura de confort dentro de la vivienda.
- La sustitución de los cristales convencionales asegura un control solar favoreciendo el aislamiento térmico así como el acústico.
- El aporte de energía solar térmica para suplir la demanda de ACS permite un ahorro en el uso de energía durante la vida útil del sistema. Este punto es delicado de acuerdo a la realidad de costo de la energía en cada uno de los países implicados.

Capítulo 4

Temperatura de Confort en los climas tropicales de América Latina

La implementación de normativas, reglamentos o la definición de estándares apropiados para la evaluación de la EE de una edificación, comienza por la definición de una temperatura apropiada para el desarrollo de las actividades involucradas al lugar de estancia. Con ello se puede correlacionar el confort térmico con la cantidad de energía necesaria para mantener esta condición de confort.

Para la determinación de la temperatura de confort, se conocen dos modelos, uno basado en el modelo cuantitativo de O. P. Fanger, y el modelo cualitativo basado en un modelo adaptativo.

El modelo de O. P. Fanger, denominado Voto Medio Predicho (PMV) también conocido como modelo estático, basa su metodología en datos recogidos a sujetos dentro de una cámara climatizada que simulaba distintos ambientes [54, 55, 56]. El estudio mostró que la sensación térmica estaba estrechamente relacionada con la carga térmica de los mecanismos efectores del sistema termorregulador humano [57, 58, 59].

El modelo adaptativo basa su metodología en investigaciones de campo, relacionando su estudio con los aspectos fisiológicos y las impresiones particulares de las personas sobre el confort en un ambiente. Una de las diferencias que destaca entre estos dos enfoques, es que el primero fundamenta sus resultados en un ambiente controlado, como es el caso de una cámara climatizada, mientras que el segundo se basa en estudios de campo.

El cuestionamiento del modelo estático puso en vigor al modelo adaptativo, con el cual simpatizan diferentes investigadores, cuyo objetivo es conciliar las preferencias térmicas de las personas interactuando en su ambiente real y aceptando el hecho de que las personas son capaces de lograr ajustes en su comportamiento, ajustes fisiológicos y ajustes psicológicos [56, 60, 61, 62].

Las normas de EE, en general basan sus criterios de evaluación en sistemas que aseguren una temperatura interior, definida como de confort, y en asegurar que los niveles de energía y que las emisiones de GEI se encuentren en un rango definido. Es así como se reconocen las dos normas más importantes para la definición de la temperatura de confort: La Norma UNE-EN ISO 7730 y la Norma ASHRAE 55 válidas y vigentes en la Unión Europea y Estados Unidos de América respectivamente, aunque su aceptación y aplicación es en casi todo el mundo.

Las normativas y estándares aceptadas mundialmente para la evaluación de la EE de las edificaciones se fundamentaron en el modelo PMV de O. P. Fanger, sin embargo los resultados obtenidos por el modelo adaptativo sustentado en las investigaciones de [54], [56], [60], [61] y [62] lograron introducir modificaciones en la Norma UNE-EN ISO 7730 y la Norma ASHRAE 55.

4.1 Modelos para la definición de la temperatura de confort

La normativa UNE-EN ISO 7730, así como la ASHRAE 55 abordan la evaluación de los ambientes interiores térmicos moderados. La primera define el *Bienestar Térmico* como aquella condición en la que existe satisfacción respecto del ambiente térmico [52], y la segunda el *Confort Térmico* como la condición de la mente que expresa satisfacción con el entorno térmico [51].

Ambas definiciones en su concepción, manifiestan la satisfacción que se debe sentir al estar en un sitio dando la idea de permanencia, lo que lleva a deducir que confort térmico es aquel que se siente cuando hay sensación de comodidad de estar en un sitio durante el tiempo en que se estén desarrollando actividades propias del lugar.

4.1.1 Modelo PMV o modelo estático

Las normativas, tanto de Europa como de Norte América se basaron en el estudio de O. P. Fanger publicado en 1973. Su estudio contempló como hipótesis que el valor de la temperatura de confort térmico puede definirse en términos del estado físico de las personas y no en términos de las condiciones del ambiente térmico. La consigna es que la temperatura media de la piel y la capacidad de sudoración permanezca en valores dentro de límites establecidos [57, 58, 59].

Este modelo se apoyó en el registro de la temperatura de la piel y las pérdidas de calor por evaporación en diversos sujetos sometidos a pruebas dentro de una cámara climática. Su teoría se basó en un balance térmico resultado del equilibrio entre las cargas térmicas del cuerpo humano y el ambiente que lo rodea, por lo cual el cuerpo humano recurre a procesos fisiológicos como sudoración, titiriteo y vasodilatación buscando dicho equilibrio. Demostró que el desconfort por frío está relacionado con la temperatura media de la piel y que la falta de confort por calor se relaciona con la humedad de la piel ocasionada por la secreción del sudor [58].

La evaluación final se expresa a través de dos índices: el índice PMV (*Predicted Mean Vote*) y el índice PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). El índice PMV entrega la estimación de la sensación térmica que produciría un ambiente determinado a un número de personas, mientras que el PPD proporciona información cuantitativa sobre el porcentaje de personas que podrían manifestar incomodidad en ese ambiente. Estos valores están basados en una escala de valoración térmica.

Este modelo destaca por ser el primero que incorporó en una misma ecuación las seis variables que afectan el estado de confort: la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad del aire, la humedad, la tasa metabólica y el aislamiento de la ropa [60, 63].

$$\begin{aligned}
PMV = & [0.303 \cdot \exp(-0.036 \cdot M) + 0.028] \\
& \cdot \{(M - W) - 3.05 \cdot 10^{-3}\} \\
& \cdot [5733 - 6.99 \cdot (M - W) - P_a] \\
& - 0.42[(M - W) - 58.15] - 1.7 \cdot 10^{-5} \cdot M \\
& \cdot (5867 - P_a) - 0.0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\
& - 3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \\
& \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \\
& \cdot (t_{cl} - t_a) \}
\end{aligned} \tag{1}$$

$$\begin{aligned}
t_{cl} = & 35.7 - 0.028 \cdot (M - W) - I_{cl} \\
& \cdot \{3.96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \\
& \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \\
& \cdot (t_{cl} - t_a)\}
\end{aligned} \tag{2}$$

$$h_c = \begin{cases} 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} & \text{para } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} > 12.1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12.1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{para } 2.38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0.25} < 12.1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \tag{3}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1.00 + 1.29I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1.05 + 0.645I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0.078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \tag{4}$$

donde:

- M es la tasa metabólica (W/m^2)
- W es la potencia mecánica efectiva (W/m^2)
- I_{cl} es el aislamiento de la ropa ($\text{m}^2 \text{K/W}$)
- f_{cl} es el factor de superficie de la ropa
- t_a es la temperatura del aire ($^{\circ}\text{C}$)
- \bar{t}_r es la temperatura radiante media ($^{\circ}\text{C}$)
- v_{ar} es la velocidad relativa del aire (m/s)
- P_a es la presión parcial del vapor de agua (Pa)
- h_c coeficiente de transmisión del calor por convección ($\text{W}/(\text{m}^2 \text{K})$)
- t_{cl} es la temperatura de la superficie de la ropa ($^{\circ}\text{C}$)

El índice PPD se expresa.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2) \tag{5}$$

El índice PMV entra en la estimación de la sensación térmica que produciría un ambiente en las personas, basado en una escala térmica de siete niveles (tabla 19), mientras que el PPD proporciona información cuantitativa sobre el porcentaje de personas que manifiestan incomodidad en ese ambiente, asumiendo que aunque la sensación térmica sea neutra siempre habrá un 5 % de personas insatisfechas [51, 52]. La Fig. 10 muestra la relación entre el PVM y el PPD.

| Sensación térmica | |
|-------------------|----------------------|
| +3 | Muy caluroso |
| +2 | Caluroso |
| +1 | Ligeramente caluroso |
| 0 | Neutro |
| -1 | Ligeramente fresco |
| -2 | Fresco |
| -3 | Frío |

Tabla 19. Escala de sensación térmica del modelo de Fanger [52]

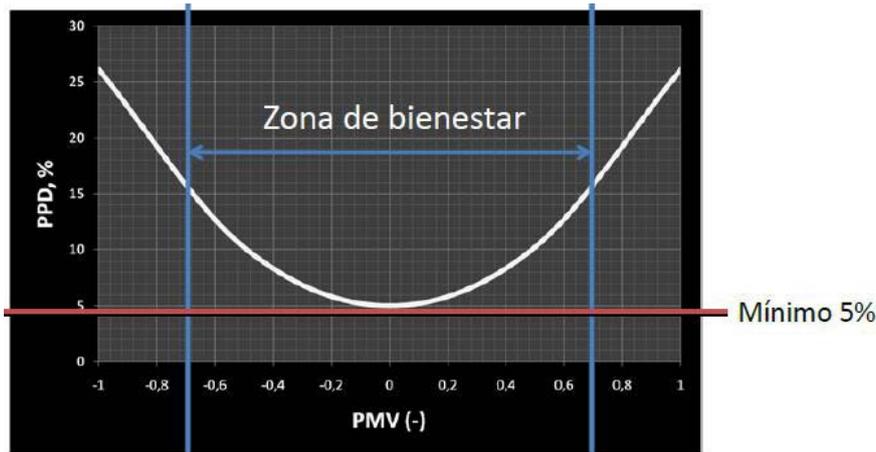


Fig. 10. Relación gráfica del PMV y el PPD [64]

4.1.2 Modelo adaptativo

Algunos de los investigadores más destacados del modelo adaptativo es R. J. De Dear y G. S. Brager con su trabajo ASHRAE RP-884, en el cual uno de sus objetivos es construir una base de datos sobre experiencias en confort térmico que cuenta con 160 edificios, en los distintos continentes y con una amplia gama de climas. Otro objetivo del RP-884 era de desarrollar modelos estadísticos de confort térmico basado explícitamente en los diversos procesos de adaptación, incluido el ajuste, la aclimatación y la habituación [56].

El estudio hecho por De Dear y Brager separó su investigación en edificios con climatización central y en edificios ventilados naturalmente. El análisis de los datos hechos en [56] para los edificios con climatización central coincidió con los resultados del modelo PMV, siendo para ambos modelos exitoso y a que concuerdan en sus predicciones y los valores de las variables.

Sin embargo en los edificios ventilados naturalmente existe una divergencia notable entre los dos modelos, como si los ajustes de comportamiento para equilibrar el calor del cuerpo (es decir, efectos biofísicos) representan sólo una parte de la dependencia de la comodidad climática, pero todavía queda la parte del efecto adaptativo por ser explicado.

Los efectos de adaptación se pueden atribuir a las hipótesis fisiológicas (aclimatación) y las hipótesis psicológicas (habituación), ya que los efectos de la aclimatación no son evidentes durante la exposición dentro de la cámara climática.

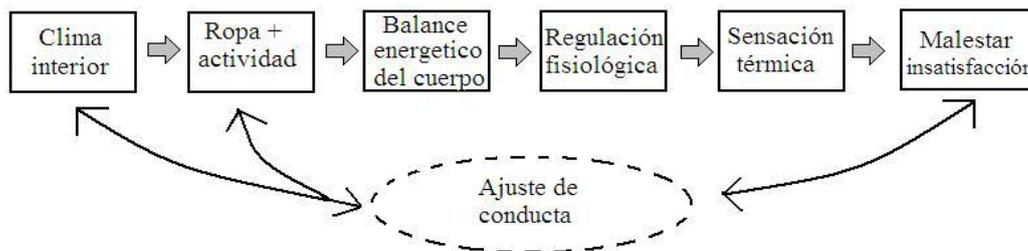


Fig. 11. Mecanismo de retroalimentación del comportamiento [56]

Los resultados aportados por [56] y por otros estudios como [60] y [61] para la toma de decisión en cuanto a la fijación de una temperatura de confort, y de su utilidad para el diseño de edificaciones sostenibles, han logrado que se incluyan modificaciones a las normativas: UNE-EN ISO 7730:2006 y ASHRAE55:2004.

Estas modificaciones se basan en el hecho de que las personas pueden cambiar su comportamiento en la búsqueda de la confort térmica. De igual forma, precisan que la modificación de dicho comportamiento busca la adaptación térmica que se caracteriza por tres acciones: ajuste del comportamiento, ajuste fisiológico y ajuste psicológico [56, 62]. Estas adaptaciones se basan en respuestas personales a situaciones que pueden ser afectadas por su entorno inmediato como aspectos de cultura, cognitivas y de contexto, las cuales no son fácilmente cuantificables, aunque puedan ser manifestados de forma calificable. Algunos autores van más allá y amplían los factores que influyen en estas respuestas añadiendo factores genéticos, sociales, económicos y étnicos.

En otras palabras, la persona que se siente incomoda debe adaptarse y tomar medidas correctivas para alcanzar el estado de confort (Fig. 11). Estos factores han sido irrelevantes para las respuestas de confort de los sujetos en el entorno artificial de la cámara climática, y sin embargo estos factores no pueden ser desestimados tan fácilmente en el contexto de los edificios reales [56].

4.2 Características de la temperatura de confort

La temperatura de confort en las normativas UNE-EN ISO 7730 y ASHRAE 55 se basa en el PMV (1), la cual entrega una sensación térmica (tabla 19). Sin embargo hay procedimientos que convierten esta sensación en una temperatura cuyo valor es determinado en los modelos ya mencionados y que definen como temperatura de confort la mostrada en la Tabla 11 (ver Capítulo 3). El rango de valores de las variables que afectan el estado de confort y que satisface el intervalo de temperatura de confort de la Tabla 11, es el mostrado en la Tabla 20.

Observando las características del clima donde se ubica la investigación del presente trabajo, se puede notar que las temperaturas promedio obtenidas de las respuestas de la encuesta en el ambiente, se encuentran dentro del rango para el cual se estableció el estado de confort, sin embargo la humedad relativa en general está por encima ya que el rango va desde 65% hasta 90%, como se muestra en la Fig. 12.

| Variable | Temp. aire | Temp. radiante | Velocidad del aire | Humedad | Tasa metabólica | Aislamiento de ropa |
|----------|------------|----------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------------|
| Rango | 10 a 30 °C | 10 a 40 °C | 0 a 1 m/s | 30 a 70 % | 0.8 a 4 met | 0 a 2 clo |

Tabla 20. Rango de valores de las variables a los que se definió el estado de confort

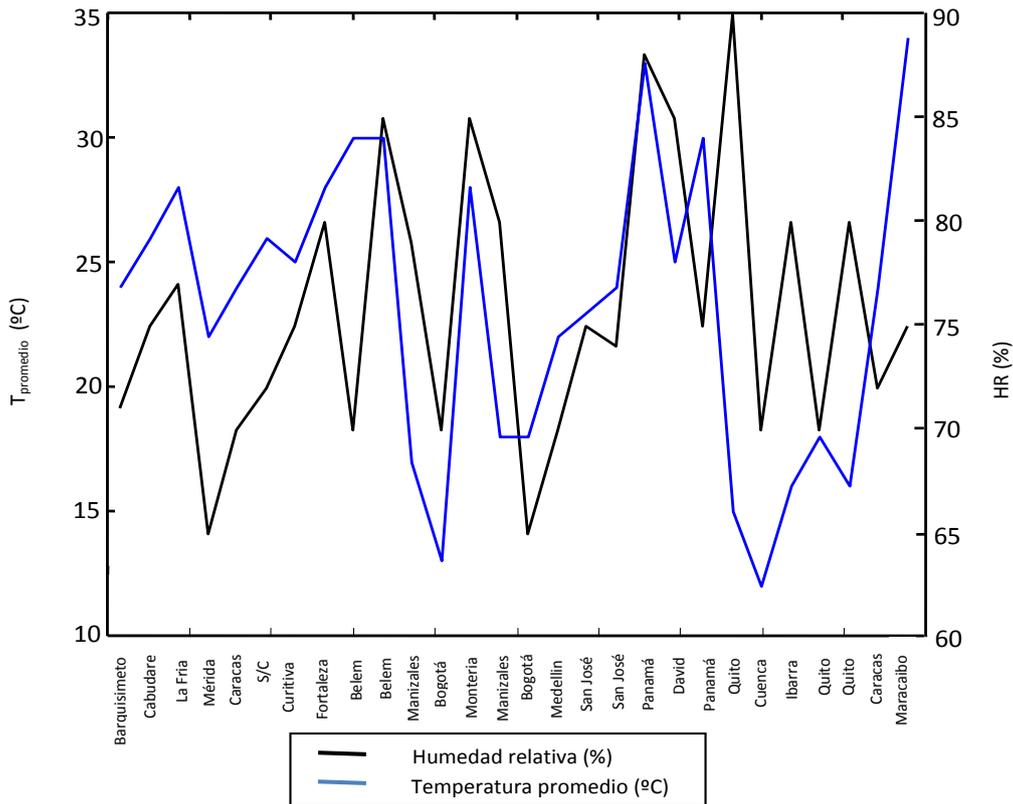


Fig. 12. Temperatura promedio y humedad relativa de las ciudades encuestadas

4.2.1 Incidencias de los modelos en el clima tropical

Los climas tropicales se caracterizan por:

- Temperaturas isotermas a lo largo del año.
- Un pequeño gradiente de temperatura entre el día y la noche.
- Temperaturas promedio anuales altas.
- Incidencia más directa de los rayos solares.
- Precipitaciones fuertes en temporadas del año
- Humedad relativa alta.

Por ello el valor de las variables que afectan el estado de confort no se ajusta a los rangos de valores de las variables definidos por las normas y que satisfacen el intervalo de temperatura de confort de la Tabla 11.

Dadas las características del clima tropical, se estima que el modelo que mejor se ajusta para la definición de la temperatura de confort adecuada es este clima, es el modelo adaptativo. Debido a los criterios que plantea el modelo como la aclimatación y la habituación de las personas acostumbradas a vivir bajo estas condiciones climáticas.

4.3 Temperatura de confort del modelo adaptativo y en edificios ventilados naturalmente

El modelo adaptativo partió de la análisis de sendas bases de datos, en las que participaron una serie de investigadores en distintas ciudades y con distintas

condiciones climáticas, que fueron unificadas en función de la uniformidad de los datos tanto en su recolección como en su interpretación.

Los datos fueron analizados bajo una regresión lineal de la temperatura de confort para cada edificio. Los estudios realizados por el modelo adaptativo llevaron a la siguiente expresión general de la temperatura confort

$$T_C = k_1 \cdot T_0 + k_0, \quad (6)$$

donde T_C es la temperatura de confort, T_0 es la temperatura media mensual del aire y los coeficientes k_1 y k_0 son constantes que dependen de cada estudio. La Tabla 21 muestra el valor de las constantes de algunas de las expresiones más representativas que definen la temperatura de confort. El rango de valores de las variables que determinaron la ecuación de la temperatura de confort para los estudios de la Tabla 21, son los mostrados en la Tabla 22.

En la Fig. 13, se muestran las rectas que responden a cada una de las ecuaciones planteadas en la tabla 21. Se puede notar que para los estudios 3, 4 y 5 el valor de la temperatura de confort es superior. Estos estudios fueron realizados en climas subtropicales, mientras que los demás fueron hechos en zonas de climas diferentes y/o incluyendo las estaciones de invierno y verano.

Aunque los estudios fueron realizados para un valor medio de humedad relativa próximo al 50% (valor medio del rango de humedad mostrado en la Tabla 22), el hecho de que las demás rectas permanezcan por debajo de las 3 mencionadas coincide con la idea de que la humedad tenga alguna incidencia en la determinación de la sensación de confort.

| Ec. # | Autor | k_1 | k_0 |
|-------|------------------------------|-------|-------|
| 1 | De Dear y Bragger [56] | 0.31 | 17.8 |
| 2 | Humphreys y Nicol [54] | 0.534 | 11.9 |
| 3 | Humphreys y Nicol [63] | 0.54 | 13.5 |
| 4 | Nicol [68] | 0.534 | 12.9 |
| 5 | Nicol y Roaf [69] | 0.38 | 17.0 |
| 6 | Ye, Zhou, Lian, y otros [70] | 0.42 | 15.12 |

Tabla 21. Constantes de las expresiones de la temperatura de confort.

| Ec. # | Ref. | Temp. del aire (°C) | Velocidad del aire (m/s) | Humedad (%) | Tasa metabólica (met) | Aislamiento de ropa (clo) | Países |
|-------|-----------------------|---------------------|--------------------------|-------------|-----------------------|---------------------------|--|
| 1 | [56], [58], [61] | 10 - 33 | 0,21 - 0,41 | 27 - 60 | 1,2 | 0,42 - 74 | Pakistan, Australia, Greece, Singapore Indonesia, Thailand |
| 2 | [54],[55], [56], [62] | 10 - 30 | 0,01 - 0,19 | 33 - 63 | 1,5 - 2,1 | 0,48 - 1,06 | norte USSR, UK, Singapore y Bagdad |
| 3 | [63], [67], [68] | 5- 36 | 0,05 - 0,22 | 45 - 50 | 1,358 | 0,4 - 1,6 | Islamabad Pakistán |
| 4 | [64], [65] | 19 - 30 | 0,056 - 0,238 | 53 - 81 | - | 1,17 - 0,66 | zonas con clima tropical húmedo |
| 5 | [63], [68] | 27 - 33 | 0,22 | - | - | 0,5 - 1,3 | Pakistán |
| 6 | [70] | 3 - 30 | > 0,5 | - | 1,2 | 0,35 - 1,35 | Shangai |

Tabla 22. Media de las variables de confort de las ecuaciones de la tabla 21.

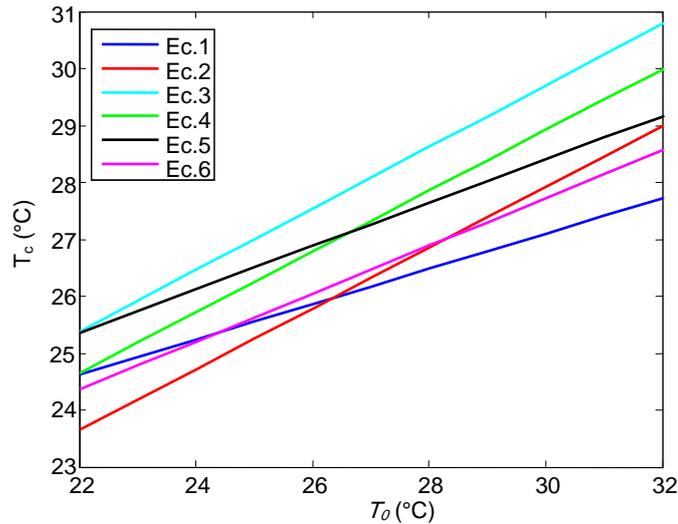


Fig. 13. Representación gráfica de las ecuaciones de la temperatura de confort.

Además de los trabajos mostrados, existen otros que han intentado obtener una expresión que consiga de finir una temperatura interior adecuada. Sin embargo estos estudios no tratan de forma explícita el efecto de la humedad en el confort térmico. Para poder incluir este efecto en la determinación de la T_c se ha utilizado la investigación desarrollada en [71, 72, 73] que evalúa la medida en que la humedad manifiesta su efecto fisiológico, a través de la *Temperatura Aparente*.

La expresión más adecuada por su respuesta ante la temperatura ambiente y la humedad es la temperatura aparente T_a que expresa una medida de la sensación térmica para ambientes interiores, en función de la temperatura del aire exterior T_o junto con la humedad relativa del ambiente,

$$T_a = -1.3 + 0.92 \cdot T_o + 2.2 \cdot P_v \quad (7)$$

donde T_o es la temperatura del aire en °C y P_v es la presión de vapor de agua en kPa.

Colocando la P_v en función de la HR en (7) queda,

$$T_a = 0.92 \cdot T_o + 0.01343 \cdot H_r \cdot e^{\frac{17.27 \cdot T_o}{237 + T_o}} - 1.3. \quad (8)$$

Considerando que las expresiones clásicas de la temperatura de confort (Tabla 21) pueden ser revisadas teniendo en cuenta la corrección anterior de la temperatura aparente, la expresión de la temperatura de confort queda,

$$T_c = k_1 \cdot 0.92 \cdot T_o + k_1 \cdot 0.01343 \cdot H_r \cdot e^{\frac{17.27 \cdot T_o}{237 + T_o}} - k_1 \cdot 1.3 + k_0. \quad (9)$$

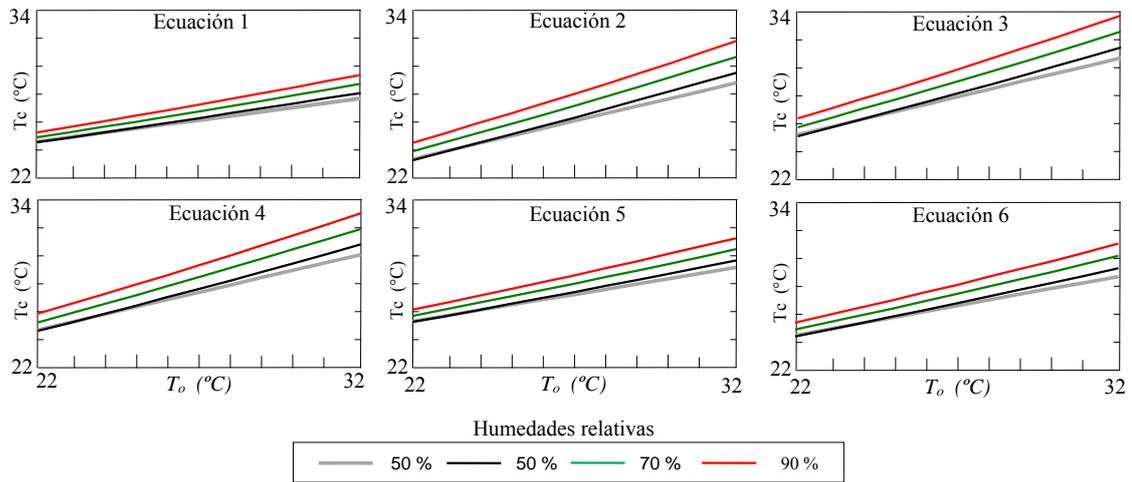


Fig. 14. Comportamiento de las ecuaciones propuestas para la temperatura de confort: 1) Ecuación original (trazo gris). 2) Ecuación propuesta evaluada para varios valores de HR (trazo negro, verde y rojo).

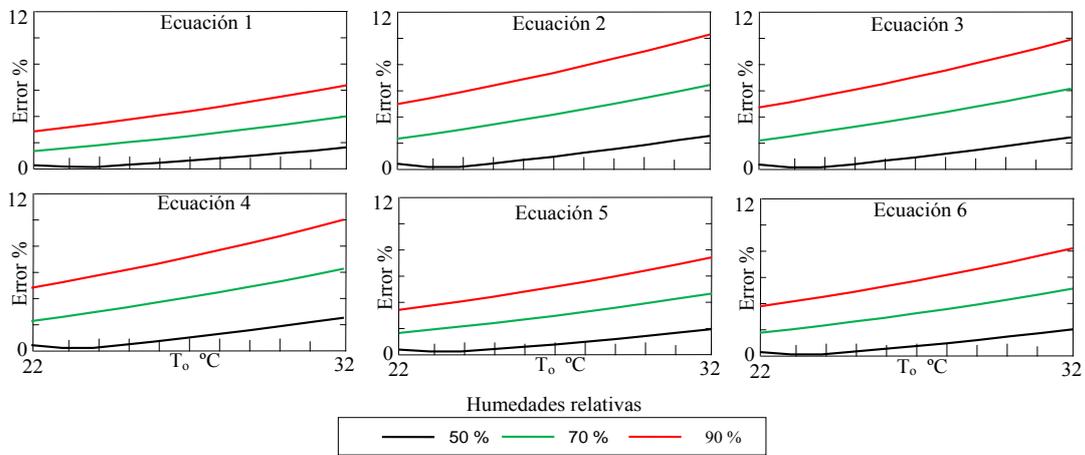


Fig. 15. Error relativo entre las expresiones originales y la propuesta para la temperatura de confort.

En la Fig. 14 se comparan la temperatura de confort obtenida a partir de las expresiones originales (Tabla 21) y de la expresión propuesta (9), para tres humedades relativas distintas (50, 70 y 90%). En la Fig. 15 se puede ver como el error entre ambas expresiones es muy pequeño para la humedad del 50% (no supera el 2.2%), mientras que para humedades del 70 y del 90% la nueva temperatura de confort obtenida con (9) aumenta, al aumentar la humedad y la temperatura del aire. Los errores mayores corresponden a las ecuaciones 2, 3 y 4, mientras que los menores errores son en las ecuaciones 1 y 5.

4.4 Cálculo de la temperatura de confort en climas tropicales

Se pretende de terminar la temperatura de confort en países con climas tropicales, localizados entre el Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio, comparando los resultados obtenidos con la expresión clásica (Tabla 21) y la expresión propuesta (9). Para la determinación de la temperatura se buscaron los datos climatológicos de algunas ciudades de Brasil [74] y Venezuela [75], los cuales son valores promedios por mes desde 1961 a 1990 para las ciudades de Brasil, y desde 1970 a 1998 para las ciudades de Venezuela (Tabla 23).

El análisis de la sección anterior, sirvió para detectar las ecuaciones más idóneas propuestas por los distintos autores para la determinación de la temperatura de confort

por el método adaptativo a partir de la temperatura media del aire exterior y en edificios ventilados naturalmente. De la comparación mostrada en la Figura 14 se observa que las expresiones clásicas proporcionan resultados aceptables para humedades relativas en torno al 50% y que la divergencia se acentúa cuanto mayor es la humedad relativa y la temperatura media del aire. Para la determinación de la temperatura de confort en los climas tropicales, se evaluaron todas las ecuaciones estudiadas de la Tabla 21, sin embargo a efectos de comparar los resultados solo se muestran los resultados de las curvas de la ecuación 1, que proporciona el menor error y un comportamiento de la curva uniforme, y las de la ecuación 2 que da el mayor error y el comportamiento de la curva más abrupto.

| | Brasil | | | | | | Venezuela | | | | | |
|------|--------|---------------------|-----------|---------------------|----------------|---------------------|-----------|---------------------|---------|---------------------|-----------|---------------------|
| | Belem | | Fortaleza | | Rio de Janeiro | | Barcelona | | Caracas | | Maracaibo | |
| | HR (%) | T _o (°C) | HR (%) | T _o (°C) | HR (%) | T _o (°C) | HR (%) | T _o (°C) | HR (%) | T _o (°C) | HR (%) | T _o (°C) |
| Ene | 85,5 | 25,6 | 78 | 30,6 | 79 | 26,4 | 72 | 26 | 72,4 | 20 | 69 | 27,7 |
| Feb | 90 | 25,4 | 81 | 30,2 | 79 | 26,6 | 71 | 26,3 | 72,8 | 19,9 | 68,5 | 28 |
| Mar | 90 | 25,5 | 85 | 29,7 | 80 | 26 | 70,5 | 27,2 | 70,2 | 20,7 | 68 | 28,6 |
| Abr | 90 | 25,6 | 85 | 29,8 | 80 | 24,5 | 72 | 27,9 | 73,4 | 22,2 | 71,5 | 29 |
| May | 88 | 25,8 | 83,5 | 29,9 | 80 | 22,9 | 72,5 | 28,2 | 75,2 | 22 | 73,5 | 29,1 |
| Jun | 86 | 26 | 81 | 29,6 | 79 | 21,8 | 75 | 27,7 | 76,5 | 21,4 | 71 | 29,3 |
| Jul | 85 | 25,7 | 79 | 29,6 | 77 | 21,2 | 76 | 27,3 | 76,4 | 20,9 | 69 | 29,5 |
| Agst | 84 | 26 | 75 | 30 | 77 | 21,8 | 76 | 27,5 | 76 | 21,1 | 69,5 | 29,6 |
| Sept | 83 | 26 | 74 | 30,2 | 79 | 22,2 | 74,5 | 27,8 | 76,4 | 21,7 | 72 | 29,1 |
| Oct | 83 | 26,4 | 74 | 30,5 | 80 | 23 | 74,5 | 27,9 | 76,9 | 21,9 | 75 | 28,3 |
| Nov | 83 | 26,5 | 74 | 30,7 | 79 | 24 | 75 | 27,4 | 77,1 | 20,5 | 73 | 28,3 |
| Dic | 86 | 26,2 | 76 | 30,8 | 80 | 25,3 | 73 | 26,6 | 75,3 | 19,5 | 72 | 27,9 |

Tabla 23. Valores climáticos medios mensuales de algunas ciudades de Brasil y Venezuela.

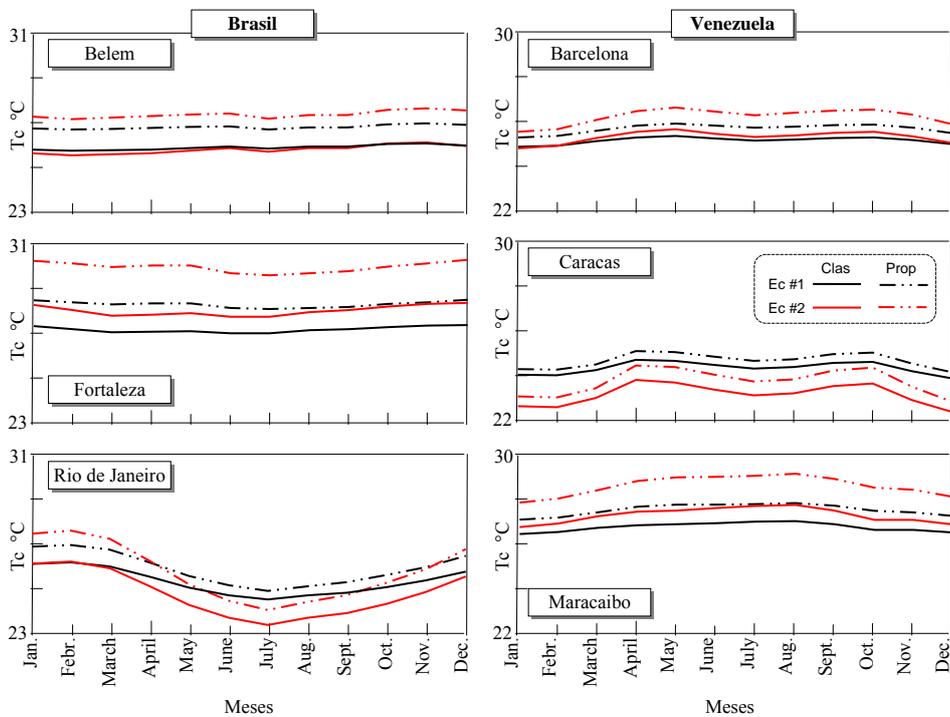


Fig. 16. Estudio de la temperatura de confort para distintas ciudades de Brasil y Venezuela

La Fig. 16 muestra la evaluación de la temperatura de confort con la expresión clásica (1 y 2) y la propuesta, a partir de los datos mostrados en la Tabla 23. El comportamiento de la ecuación clásica y la propuesta de la temperatura de confort es similar sin embargo se puede observar entre ambas un error relativo que oscila entre el 1,05 y el 7,93%.

El error es mínimo cuando la humedad relativa y la temperatura son menores y es mayor cuando la humedad relativa y la temperatura son altas. De los resultados de la Fig. 16, se puede observar que el rango de la temperatura de confort para los casos estudiados se puede elevar un par de grados a lo que considero la humedad relativa con respecto a lo contemplado en las normas ISO 7730 y ASHRAE 55, el nuevo rango estaría comprendido entre los 25 °C y los 28 °C, utilizando como temperatura de confort sugerida (T_{CS}) 25 °C

Capítulo 5

Estudio del ahorro energético en la vivienda de interés social

El presente capítulo busca mostrar los efectos que logran en el ahorro de energía las propuestas de EE realizadas en el capítulo 3, las correcciones de temperatura de confort en el Capítulo 4 y las posibles mejoras en el equipamiento de la vivienda en estudio (VIS). Por ello se hacen tres propuestas de equipamiento en cuanto a aparatos electrodomésticos, iluminación, acondicionamiento y suministro de ACS. Estas propuestas parten de un equipamiento básico de referencia aportado por los resultados de la encuesta aplicada para la caracterización de la VIS.

5.1 Influencia de las propuestas de EE en el ahorro energético

Las propuestas de EE aplicadas a la VIS buscan reducir el uso de energía convencional, para la satisfacción de las necesidades de sus ocupantes. Además los hábitos en el uso de la energía y la tecnología adecuada permiten reducir el consumo, las emisiones de GEI y un ahorro en el presupuesto del hogar logrando una mayor eficiencia.

Para el clima que se está estudiando hay zonas donde el acondicionamiento es indispensable para alcanzar el confort, sin embargo la aplicación de medidas como el diseño de una envolvente adecuada como se ha visto en el Capítulo 3 puede minimizar e incluso lograr prescindir de su uso, ya que la transferencia de calor/frío desde el ambiente al interior de la vivienda afecta el comportamiento energético destinado al acondicionamiento y por tanto al confort interior.

De igual forma el dimensionamiento y diseño adecuado de las superficies acristaladas y puertas logran una disminución de las necesidades de aire acondicionado e iluminación artificial además de aportar un confort acústico.

Otra propuesta importante planteada en casi todas las normas de EE por el costo energético, medio ambiental y económico que representa, es la sustitución en este caso del sistema de ACS eléctrico por el ACS con contribución solar térmica, que puede representar entre el 15 y 20% del consumo de energía. Además lograr un cierto margen de independencia energética.

En la sección 5.3 se muestra el efecto que causa el conjunto de estas medidas aplicadas a la vivienda, además de la influencia de la elección de una temperatura de confort adecuada dentro del ahorro energético.

5.2 Influencia de las propuestas de equipamiento de la VIS

A continuación se presentan tres propuestas de equipamiento para la VIS, con la finalidad de elegir la más adecuada en cuanto a consumo y adecuación al clima de las ciudades estudiadas.

Los datos recolectados por la encuesta (Anexo A) muestran una vivienda equipada de una forma básica, pero que cuenta con los servicios primarios de electricidad, agua potable y gas. Aportando como equipamiento el mostrado en la Tabla 24. Para calcular el consumo mensual de la vivienda se revisaron algunos estudios de la frecuencia de uso y factores de demanda que reflejan el comportamiento común de los usuarios en Latinoamérica.

| Carga | Tipo | Potencia sugerida (W) | kWh-mensual |
|---------------------|-----------------|-----------------------|-------------|
| Iluminación | Incandescente | 1200 | 180.00 |
| Lavadora | Convencional | 1500 | 64.29 |
| Nevera (14-16 pies) | Convencional | 575 | 414.00 |
| ventilador | Convencional | 210 | 50.40 |
| TV | Convencional | 120 | 21.60 |
| Electrodomésticos | Convencionales | 1434 | 231.12 |
| Calentador de agua | Termo eléctrico | 5000 | 150.00 |
| Total | | | 1111.41 |

Tabla 24. Equipamiento básico de la vivienda.

La principal observación del equipamiento mostrado en la Tabla 24, es que los aparatos electrodomésticos usados no cuentan con algún tipo de etiqueta de eficiencia.

La primera propuesta de cambio en el equipamiento corresponde a lo sugerido por la norma de calificación CTE relativo al DB-HE2, es decir la sustitución del calentador de agua eléctrico por el sistema de ACS con contribución solar térmica y la sustitución de las lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactas (LFC), entregando la siguiente tabla de consumos.

| Carga | Tipo | Potencia sugerida (W) | kWh-mensual |
|---------------------|----------------|-----------------------|-------------|
| Iluminación | LFC | 135 | 20.25 |
| Lavadora | Convencional | 1500 | 64.29 |
| Nevera (14-16 pies) | Convencional | 575 | 414.00 |
| ventiladores | Convencional | 210 | 50.40 |
| TV | Convencional | 120 | 21.60 |
| Electrodomésticos | Convencionales | 1434 | 231.12 |
| Sist. ACS | Termal | 62.16 | 11.19 |
| Total | | | 812.85 |

Tabla 25. Primera propuesta de equipamiento

La segunda propuesta suma a los cambios de la primera propuesta, la sustitución de las lámparas LFC por LED, la sustitución de los equipos convencionales por unos con calificación energética y la sustitución de los ventiladores por un sistema de acondicionamiento compuesto por dos equipos de aire acondicionado tipo Split, aportando los cambios mostrados en la Tabla 26.

| Carga | Tipo | Potencia sugerida (W) | kWh-mensual |
|---------------------|----------------|-----------------------|-------------|
| Iluminación | Led | 58.5 | 8.78 |
| Lavadora | Eficiente | 380.55 | 16.31 |
| Nevera (14-16 pies) | Eficiente | 363 | 30.25 |
| Aire acondicionado | Eficiente | 1600 | 240.00 |
| TV | Eficiente | 30 | 5.4 |
| Electrodomésticos | Convencionales | 1434 | 231.12 |
| Sist. ACS | Termal | 62.16 | 11.19 |
| Total | | | 543.04 |

Tabla 26. Segunda propuesta de equipamiento

| Carga | Tipo | Potencia sugerida (W) | kWh-mensual |
|---------------------|----------------|-----------------------|-------------|
| Iluminación | Led | 58.5 | 8.78 |
| Lavadora | Eficiente | 380.55 | 16.31 |
| Nevera (14-16 pies) | Eficiente | 363 | 30.25 |
| Deshumidificador | Eficiente | 680 | 163.20 |
| TV | Eficiente | 30 | 5.4 |
| Electrodomésticos | Convencionales | 1434 | 231.12 |
| Sist. ACS | Termal | 62.16 | 11.19 |
| Total | | | 466.24 |

Tabla 27. Tercera propuesta de equipamiento

Finalmente la última propuesta consiste en la sustitución de los aires acondicionados por dos deshumidificadores entregando la tabla 27.

Como se puede notar a medida que se van sugiriendo las propuestas el consumo energético va disminuyendo. Un ahorro sustancial se nota con la sustitución de las lámparas, el sistema de ACS y con la sustitución de equipos de línea blanca y más por equipos con etiqueta energética que aseguran un menor consumo de energía y agua.

Los inconvenientes que tiene la primera propuesta (Tabla 25), es que aunque ya en muchos países se acepta por normativa la sustitución de las lámparas incandescente por las LFC, existen documentos que corroboran que la lámpara LED presenta mejores prestaciones de servicio y precio. De igual forma, la sustitución de los equipos convencionales por otros con etiqueta de EE, mejora el servicio y cumple con el objetivo esencial de obtener una vivienda sostenible en el tiempo tanto por consumo de energía como por el costo del uso de la energía. Además la evolución de las políticas de EE marca como ruta segura la sustitución de los aparatos convencionales por aparatos con etiquetado eficiente.

La segunda propuesta en función de acondicionamiento tiene mayor probabilidad de aplicación dadas las condiciones de humedad y temperaturas que prevalecen en la zona, ya que procura un equilibrio aportando una sensación de confort. Técnicamente es la que tiene mayor probabilidad de implementarse por la facilidad de conseguir los equipos en el mercado de aire acondicionado, iluminación y electrodomésticos.

La tercera propuesta (Tabla 27) tiene ventajas entre las que destaca que las variables relacionadas con el estado de salud ubican el rango óptimo para la humedad entre el 40 y el 60% [76]. Además favorece el estado de confort traduciéndose en ambientes más sanos y con sensación de temperaturas adecuadas, siempre que la temperatura ambiente se encuentre dentro o por debajo del rango de temperatura de confort (Tabla 11). La

principal desventaja de esta propuesta es que para uso doméstico el equipo deshumidificador recomendado por capacidad y precio, trabaja con el método de condensación y su funcionamiento hace que el aire entregado al ambiente después de ser tratado puede estar entre 3 y 8 ° C más caliente que el aire aspirado, con lo cual aunque se disminuya la humedad relativa la temperatura será mayor.

5.3 Incidencia de la temperatura de confort en el ahorro de energía de la vivienda

A continuación se presenta el consumo y ahorro de energía de la VIS teniendo en cuenta los coeficientes de transmitancia U de cada uno de los cerramientos que conforma la envolvente de la vivienda. El ahorro de energía en este caso se interpreta como la cantidad de energía que se deja de usar debido a la transmisión de calor/frío a través de los cerramientos que conforman la vivienda para el acondicionamiento interior.

A continuación se presentan las gráficas del consumo y el ahorro de energía para distintas ciudades de Brasil y Venezuela.

- Vivienda de interés social original (VISO) evaluada a la temperatura de confort definida por las normas de EE a $T_C=23^\circ\text{C}$.
- VISO evaluada a la temperatura de confort sugerida en este estudio $T_{CS}=25^\circ\text{C}$.
- Vivienda de interés social calificada (VISCL) evaluada a la temperatura de confort sugerida por las normas de EE $T_C=23^\circ\text{C}$.
- VISCL evaluada a la temperatura de confort sugerida en este estudio $T_{CS}=25^\circ\text{C}$.

En las gráficas presentadas en las Fig. 17 y 18 se puede notar la incidencia que tienen las condiciones climáticas en algunas de las ciudades estudiadas, y como en la medida en que estas condiciones climáticas se van haciendo más severas los criterios de ahorro para la EE cobran importancia.

Ciudades como Maracaibo ($T_{promedio}=28,7^\circ\text{C}$ y $HR_{promedio} = 71\%$) y Fortaleza ($T_{promedio} =30,13^\circ\text{C}$ y $HR_{promedio} =78,8\%$) que tienen condiciones de temperaturas y humedad alta, deben sus altos consumos principalmente a la necesidad del uso de equipos de aire acondicionado. El ahorro de energía se ve favorecido en este tipo de condiciones climáticas por el diseño de una envolvente apropiada que conserva una temperatura adecuada por más tiempo. El ajuste de la temperatura de confort a 25°C hace que la necesidad del uso de los aires acondicionados disminuya.

En otras ciudades como Barcelona ($T_{promedio}=27,32^\circ\text{C}$ y $HR_{promedio}=73,47\%$) y Belem ($T_{promedio}=25,9^\circ\text{C}$ y $HR_{promedio}=86,12\%$) donde las condiciones climáticas son moderadas en cuanto a temperatura, se hace necesario el uso del aire acondicionado en la VISO. Mientras que el ajuste de la envolvente en la VISCL parece ser suficiente para mantener dentro de la vivienda una sensación de confort térmica adecuada y prolongada en el tiempo, disminuyendo drásticamente el uso de los aires acondicionados.

Rio de Janeiro al igual que Caracas son ciudades en las que se presenta una condición particular ya que a pesar de las altas humedades relativas sus temperaturas no son altas (Tabla 22), con lo cual el uso de sistemas de acondicionamiento puede ser

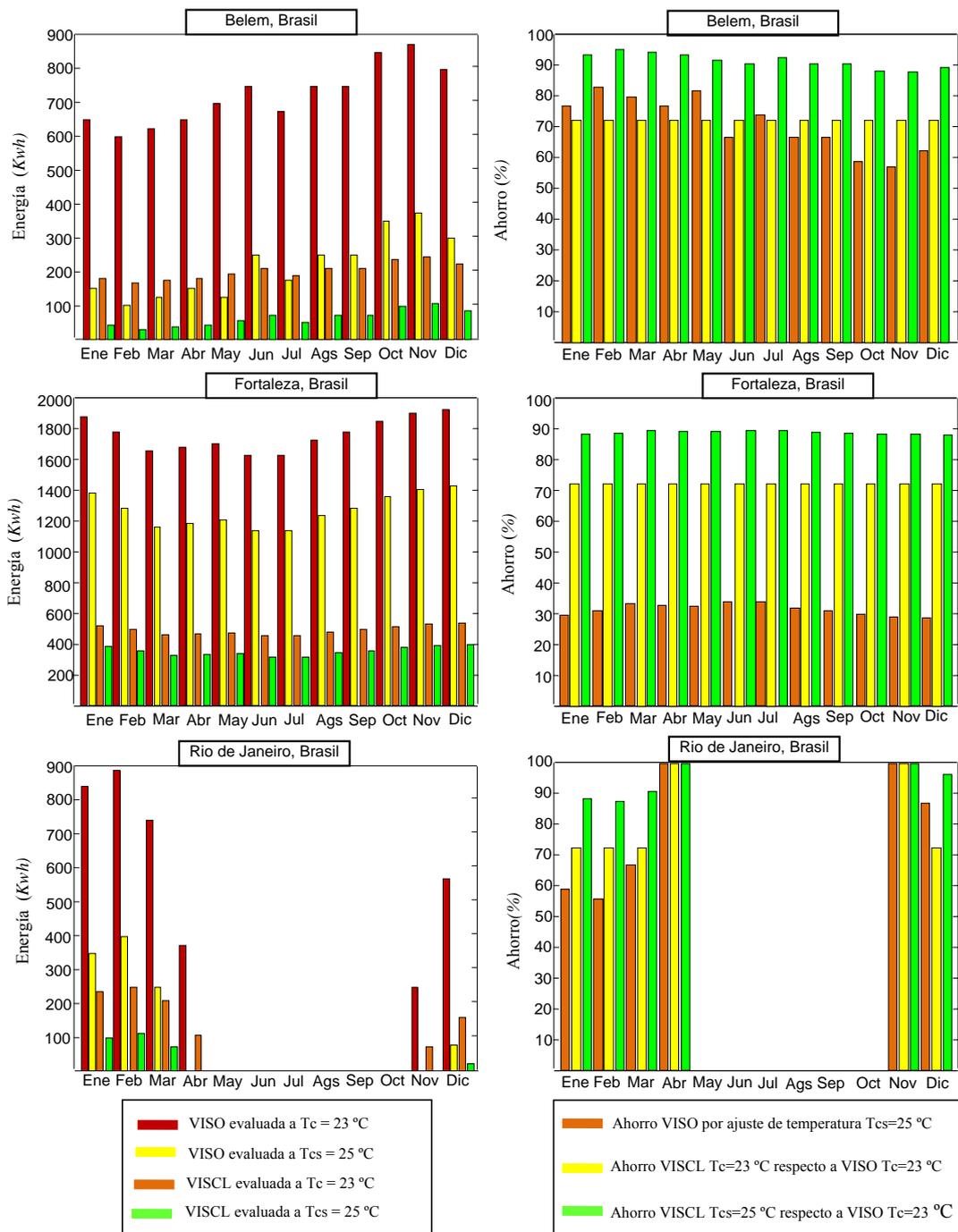


Fig. 17. Consumo y ahorro de energía para distintas condiciones de calificación y temperatura de confort en algunas ciudades de Brasil.

eventual. Estas son ciudades en las cuales por su condición climática se puede implementar la tercera propuesta de equipamiento, de tal forma que si existe alguna sensación de incomodidad por las altas humedades esta sensación será corregida con la implementación de los deshumidificadores, asegurando el confort termal y un consumo reducido de energía.

En las gráficas de las columnas de ahorro de la Fig. 17 y 18 destaca el ahorro de la VISCL a $T_c = 23\text{ }^\circ\text{C}$ (barra amarilla) que en todos los casos es el mismo, esto se debe a que el programa de calificación Calener trabaja con temperatura de referencia la de la

norma UNE ISO 7730 que es 23 °C, con lo cual el programa asegura un ahorro que no se ve afectado por el diferencial de la temperatura exterior con la temperatura de confort interior.

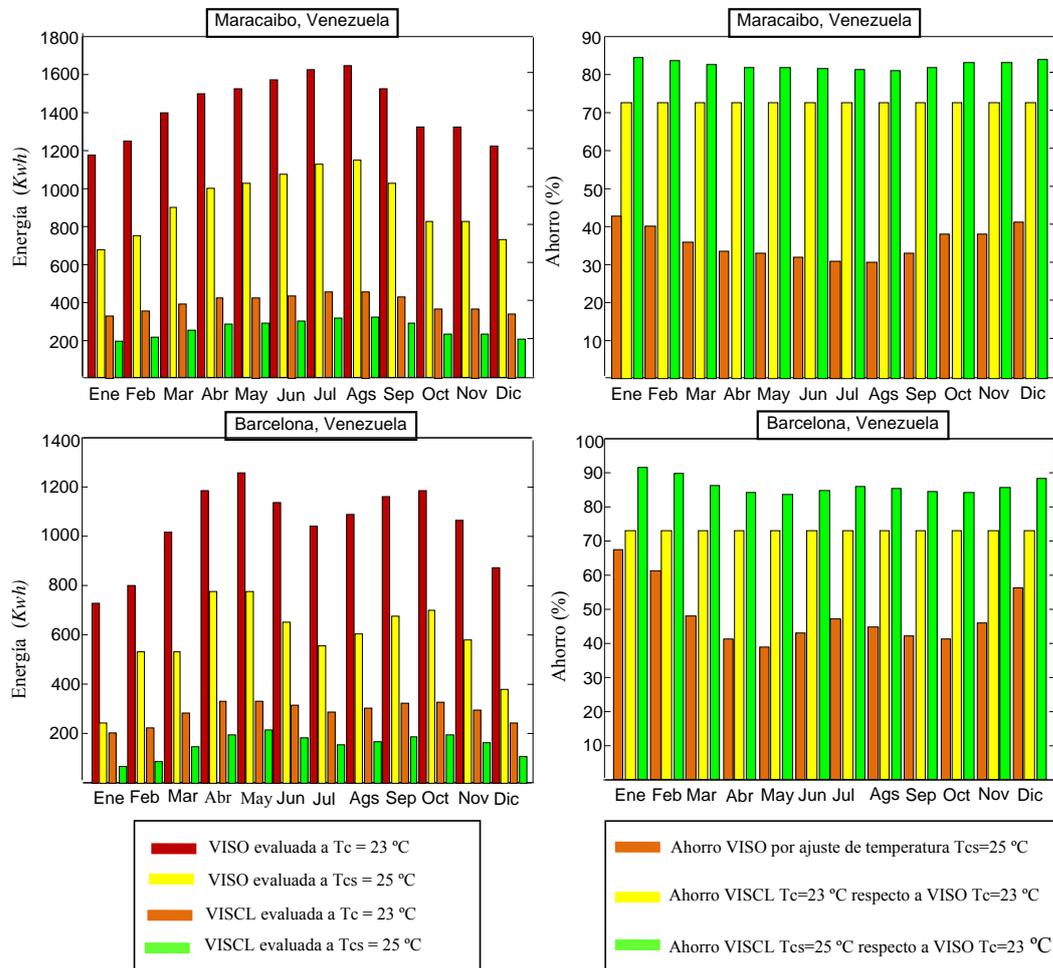


Fig. 18. Consumo y ahorro de energía para distintas condiciones de calificación y temperatura de confort en algunas ciudades de Venezuela

También se puede notar como en el caso de Rio de Janeiro en los meses de Abril y Noviembre el ahorro es del 100% simplemente por que con las condiciones de aislamiento serían suficientes para mantener la temperatura y no haría falta el uso de ningún equipo de acondicionamiento.

A continuación se presentan las gráficas de los ahorros anuales que se pueden alcanzar en función de las alternativas de evaluación de las temperaturas de confort normada ($T_c=23^\circ\text{C}$) y la sugerida ($T_{CS}=25^\circ\text{C}$).

De la Fig. 19 se puede notar que el ahorro de energía para cada alternativa de evaluación mejora, siendo más significativo en la medida en que las condiciones climáticas son más severas (humedad relativa y temperatura ambiente altas). Para una ciudad como Rio de Janeiro se calcula como mejor opción la VIS calificada a $T_{CS}=25^\circ\text{C}$ con un ahorro de 93,62% lo que representa 3361,58 kWh anuales, mientras que en una ciudad como Fortaleza la mejor opción representa un ahorro del 80,06% que es más significativo ya que representa 16 928,56 kWh anuales. En este caso en particular

destacan las condiciones de estas dos ciudades (ver Tabla 23) , por lo que cobra importancia el diseño de una envolvente adecuada.

A continuación se muestran los ahorros acumulados estimados respecto al acondicionamiento de los espacios interiores a lo largo de un año para cada ciudad respecto a la VISO y evaluada a las condiciones:

- VISO evaluada a la temperatura de confort sugerida en este estudio a $T_{CS} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- VISCL evaluada a la temperatura de confort sugerida por las normas de EE $T_C = 23\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- VISCL evaluada a la temperatura de confort sugerida en este estudio a $T_{CS} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$.

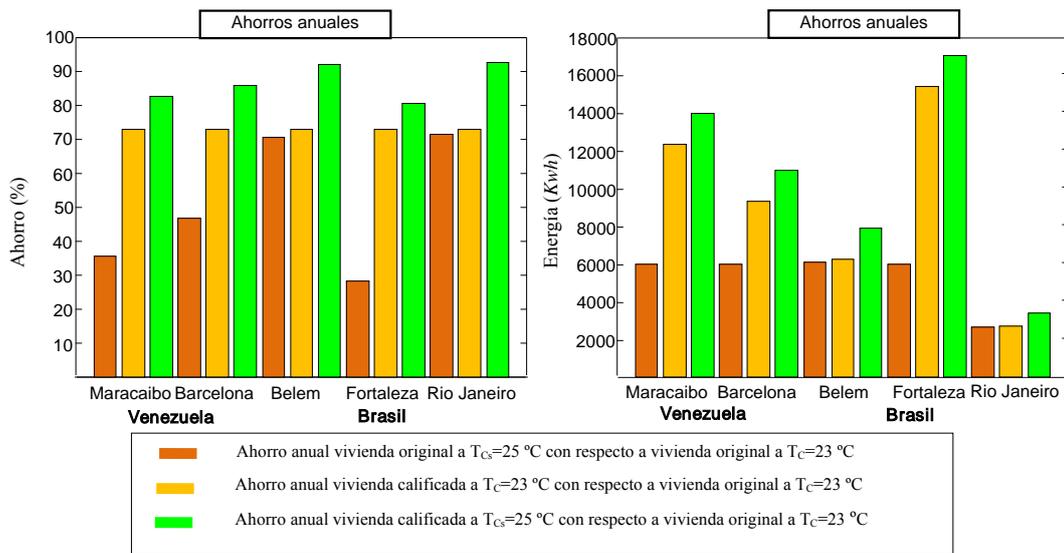


Fig. 19. Ahorros anuales de la VIS en algunas ciudades Latinoamericanas

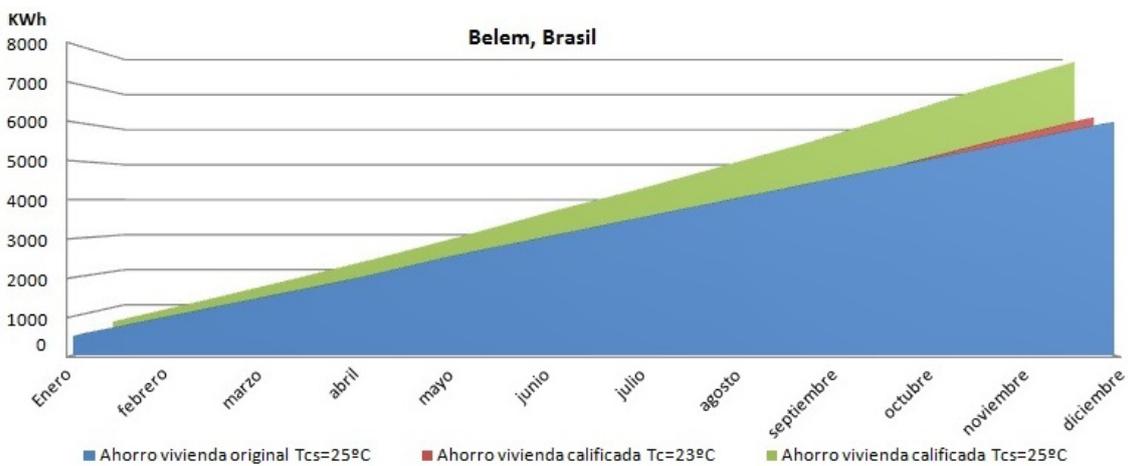


Fig. 20. Ahorro acumulado en Belem (Brasil)

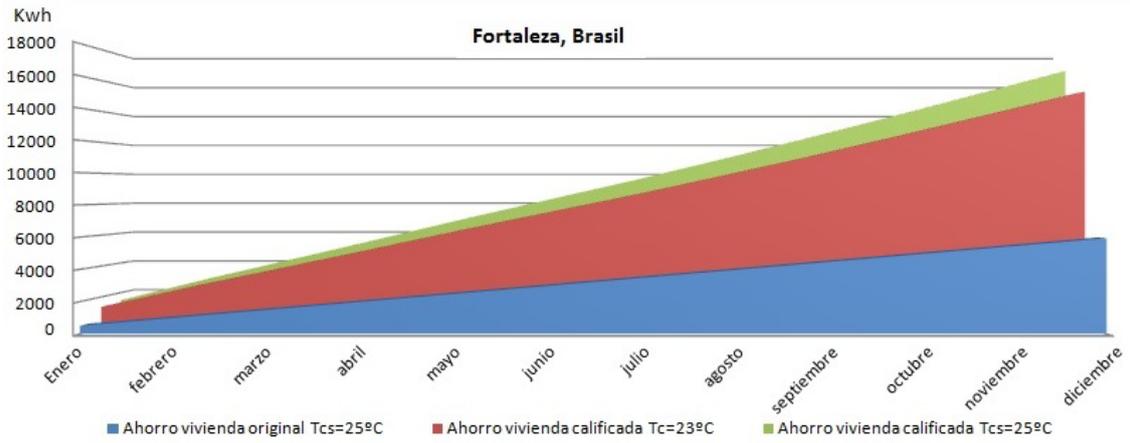


Fig. 21. Ahorro acumulado en Fortaleza (Brasil)

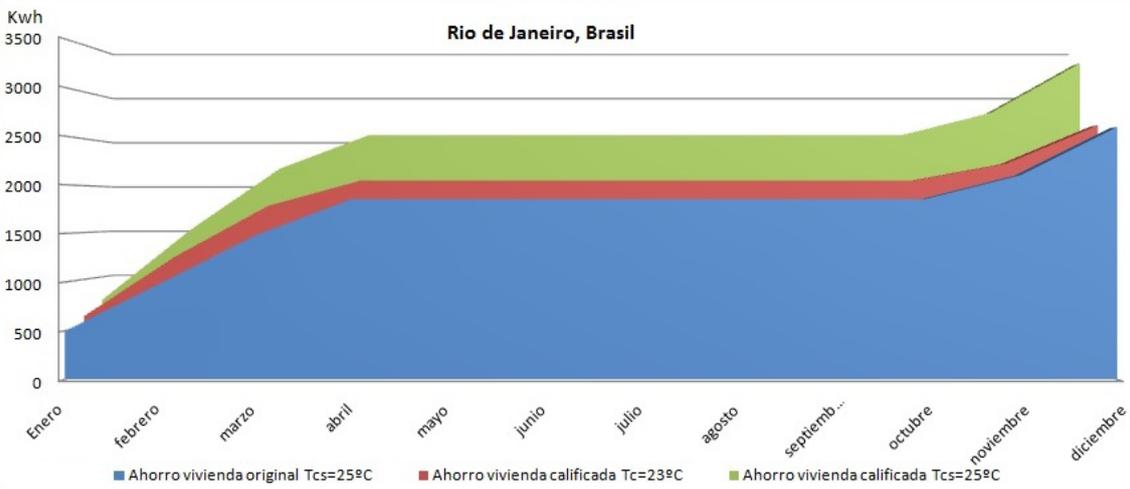


Fig. 22. Ahorro acumulado en Rio de Janeiro (Brasil)

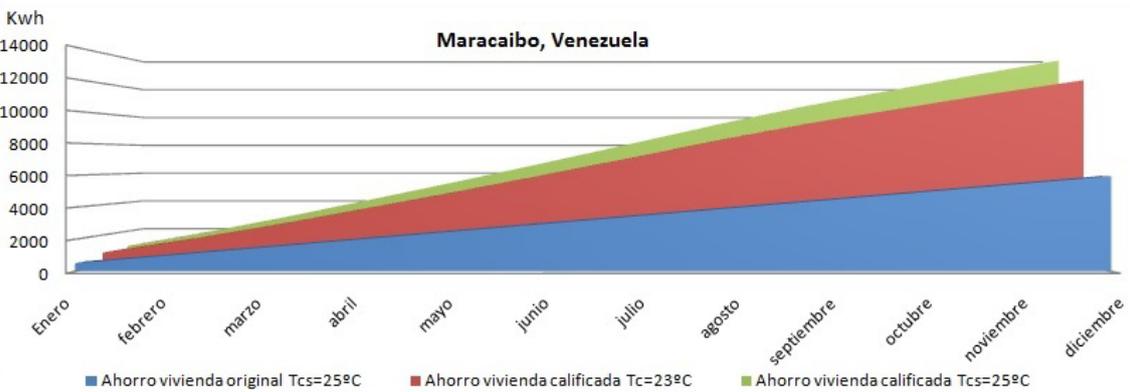


Fig. 23. Ahorro acumulado en Maracaibo (Venezuela)

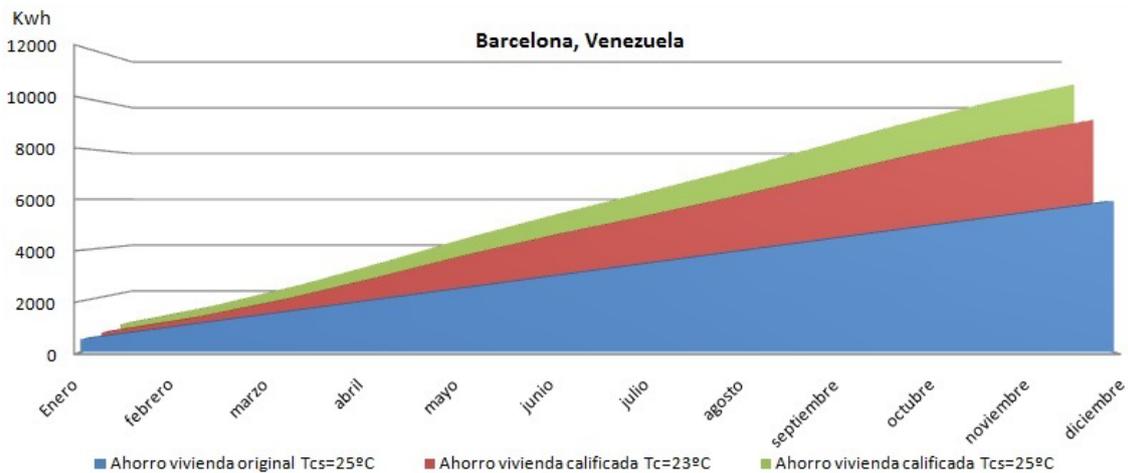


Fig. 24. Ahorro acumulado en Barcelona (Venezuela)

5.4 Aporte de las propuestas de EE en la VIS

En la presente sección se quiere mostrar como la suma de criterios de EE tanto a nivel constructivo como de equipamiento tiene incidencia directa en el ahorro de energía y como la elección de una temperatura de confort adecuada al clima contribuye de también directamente en el ahorro energético.

A continuación se muestra en una gráfica un amatríz resumen de los consumos anuales para cada ciudad, de acuerdo a la posible evaluación por temperatura de confort junto con la propuesta de equipamiento:

- Alternativa 1: VISO evaluada a $T_{CS}=25^{\circ}\text{C}$.
- Alternativa 2: VISCL evaluada a $T_C=23^{\circ}\text{C}$.
- Alternativa 3: VISCL evaluada a $T_{CS}=25^{\circ}\text{C}$.

Y las propuestas de equipamiento se refieren a:

- Propuesta 1: Uso de lámparas LFC y sistema de ACS con contribución solar térmica (Tabla 25).
- Propuesta 2: Uso de lámparas LED, aire acondicionado y electrodomésticos con etiqueta eficiente (Tabla 26).
- Propuesta 3: Uso de deshumidificadores (Tabla 27).

En la Fig. 25 se muestran los consumos estimados de energía de una familia de la ciudad de Belem. En la columna de original se nota que el mayor uso de energía se concentra en los aparatos electrodomésticos y otros dispositivos eléctricos, destinando menos energía al acondicionamiento del ambiente interior. Se puede notar como en la medida en que se introducen las propuestas de equipamiento el consumo de energía disminuye y la repercusión que tiene la temperatura de confort en la calificación.

La implementación del sistema de ACS con contribución solar disminuye el consumo de energía con respecto al consumo inicial. La incorporación de aparatos eficientes hace que el consumo disminuya notablemente. Si bien el acondicionamiento interior no es el punto álgido del consumo, la reforma de la fachada contribuye notablemente a la disminución del uso de energía destinada a este fin. Dadas las

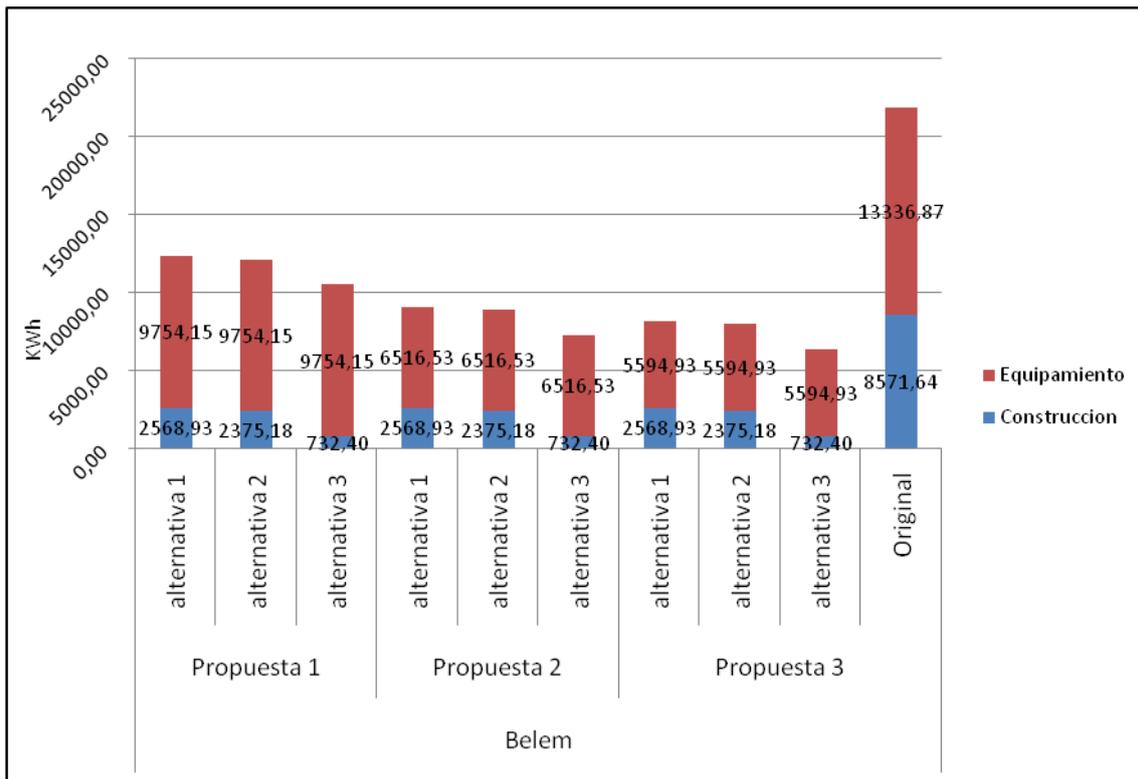


Fig. 25. Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Belem-Brasil.

condiciones climáticas, la propuesta de equipamiento que mejor se adapta es la segunda (Tabla 26) con un consumo de 6516 kWh anuales y la alternativa de evaluación según el consumo de energía para acondicionamiento sería la tercera ($T_{CS}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que deja al consumo total en 7247,93 kWh-anual respecto a la original que era de 21908,31 kWh-anual, reduciendo el uso de energía en un poco más de un tercio de la inicial.

La Fig. 26 muestra los consumos estimados de energía de una familia de la ciudad de Fortaleza. La particularidad de esta gráfica es que los consumos se invierten con respecto a la anterior, es decir, el mayor uso de energía se concentra en el acondicionamiento de la ambiente interior y en menor cantidad a los aparatos electrodomésticos y demás artefactos eléctricos. Lo que deja ver claramente la influencia que tienen las condiciones climáticas en el consumo de energía, y la importancia que cobra en estos climas el diseño de una envolvente apropiada.

De igual forma la repercusión del sistema de ACS con contribución solar disminuye el consumo de energía inicial y la incorporación de aparatos eficientes hace que el consumo siga disminuyendo. Ahora bien el acondicionamiento interior en este caso es absolutamente necesario, con lo cual la reforma de la fachada contribuye notablemente a la disminución del uso de energía destinada a este fin. Dadas las condiciones climáticas, la propuesta de equipamiento que mejor se adapta es la segunda (Tabla 26), con un consumo de 6516 kWh-anuales y la alternativa de evaluación según el consumo de energía para acondicionamiento sería la tercera ($T_{CS}=25\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que deja al consumo total en 10732,99 kWh-anual respecto a la original que era de 34481,88 kWh-anual, reduciendo el uso de energía en un poco más de un tercio de la inicial.

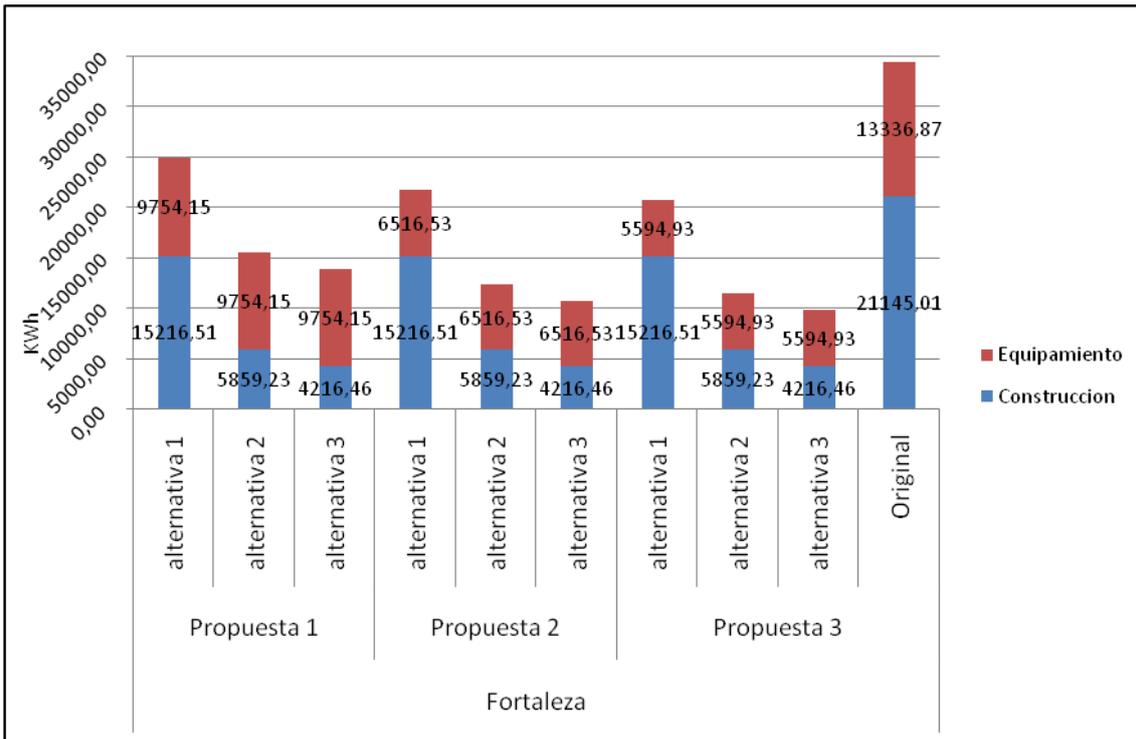


Fig. 26. Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Fortaleza Brasil.

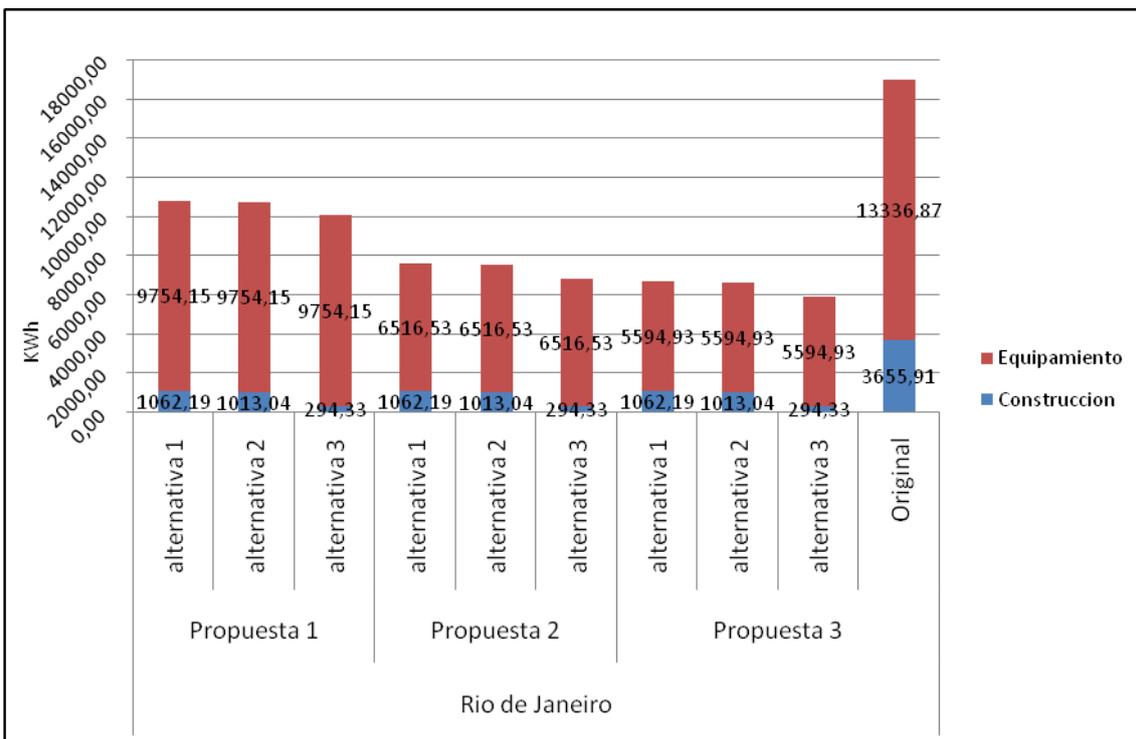


Fig. 27. Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Rio de Janeiro Brasil.

La Fig. 27 muestra los consumos estimados de energía de una familia de la ciudad de Rio de Janeiro. En este caso el mayor consumo de energía se centra en el uso de los aparatos electrodomésticos y demás artefactos eléctricos. La temperatura ambiente de Rio (Tabla 23), en general se encuentran dentro del rango definido como de confort (Tabla 11, Capítulo 3) incluso en algunos meses es inferior, esto hace que entre los

meses de Mayo a Octubre ambos incluidos, pareciera no necesitar ningún sistema de acondicionamiento y los de más meses la necesidad es tan pequeña que favorece la implementación de la tercera propuesta de equipamiento (Tabla 27), que establece como opción el deshumidificador que cumplirá el papel de disminuir la humedad y al mismo tiempo elevar la temperatura.

De igual forma la repercusión del sistema de ACS con contribución solar disminuye el consumo de energía original y la incorporación de aparatos eficientes hace que el consumo siga disminuyendo. Lo cual deja el consumo de la VIS en 5594,93 kWh-anual en equipamiento y 294,33 kWh-anual para acondicionamiento con un total de 5889,26 kWh-anual respecto al consumo original que era de 16992,78 kWh-anual.

En el caso de las ciudades de Venezuela (Fig. 28 y 29), para Maracaibo el análisis es similar al de la ciudad de Fortaleza, ya que su comportamiento climático es equivalente con lo cual la propuesta de equipamiento y la alternativa de evaluación serían las mismas dejando su consumo en 9555,67 kWh-anual respecto a los 30233,12 kWh-anual original. El caso de la ciudad de Barcelona aunque su condición climática es un poco más benévola respecto a la de Maracaibo, ya que su temperatura es ligeramente menor pero su humedad relativa sigue siendo alta, con lo cual la propuesta de equipamiento y la alternativa de evaluación que se sugieren son las mismas dejando su consumo en 8419,41 kWh-anual respecto a los 26132,57 kWh-anual original.

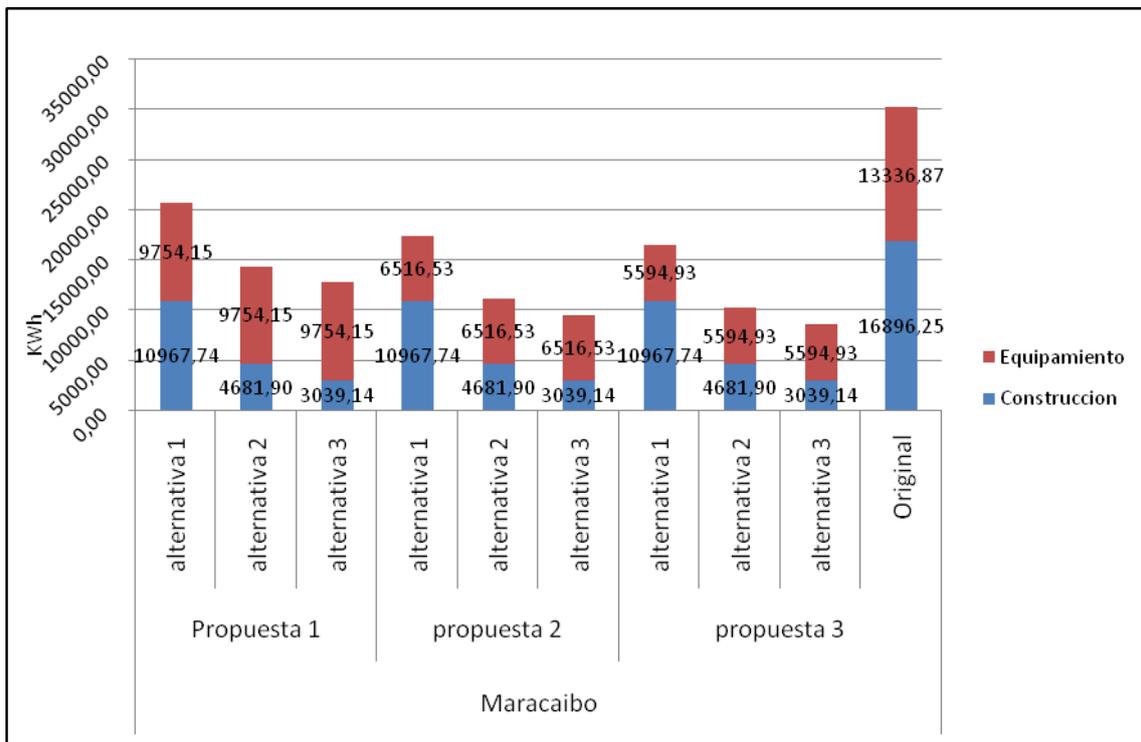


Fig. 28. Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Maracaibo Venezuela.

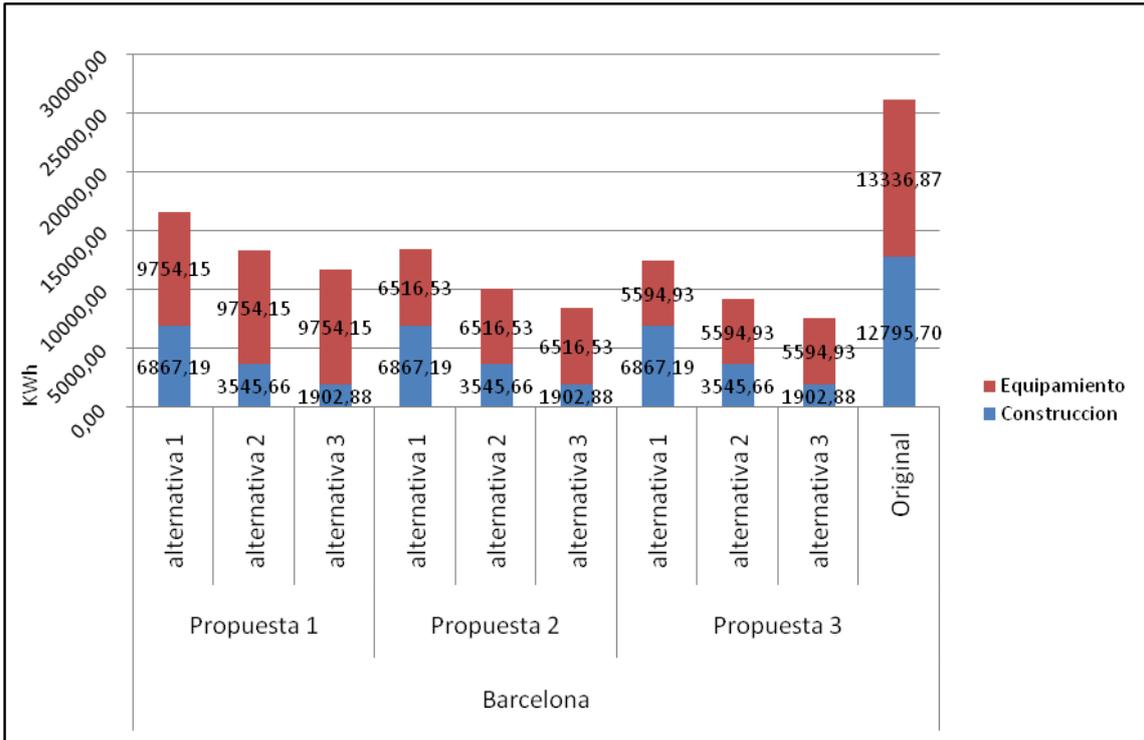


Fig. 29. Matriz de consumos anuales por alternativa de evaluación de temperatura de confort y propuesta de equipamiento para la ciudad de Barcelona Venezuela.

Finalmente se muestran los ahorros acumulados estimados por el acondicionamiento y el equipamiento a lo largo de un año, para cada una de las ciudades estudiadas.

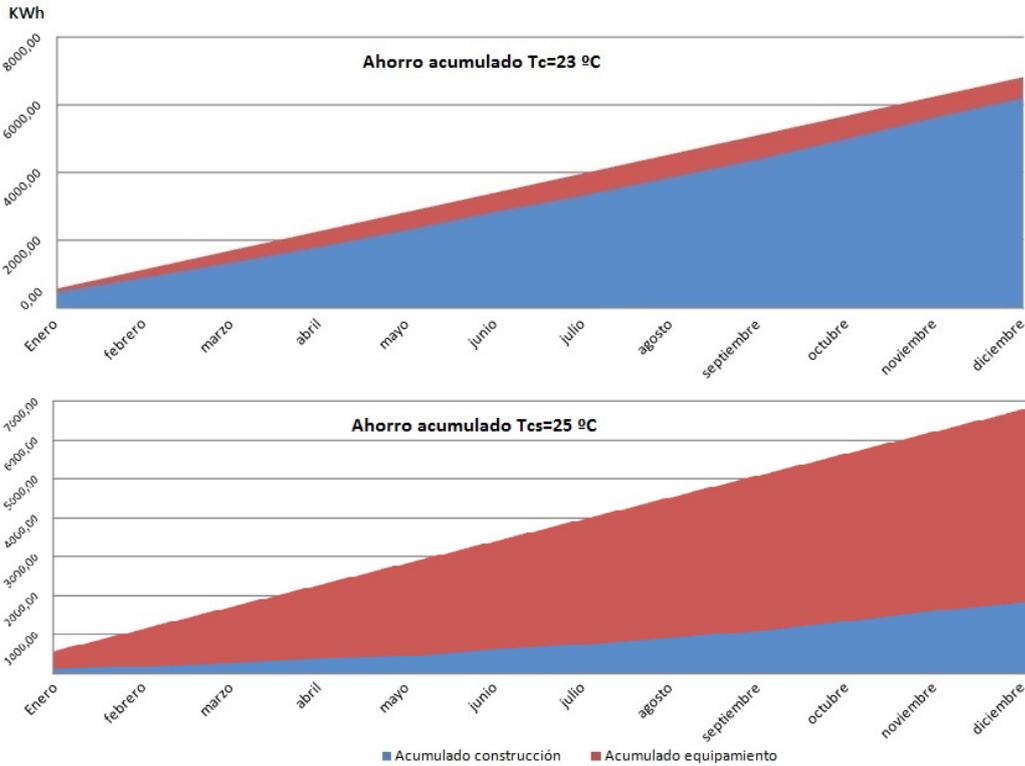


Fig. 30. Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Belém (Brasil).

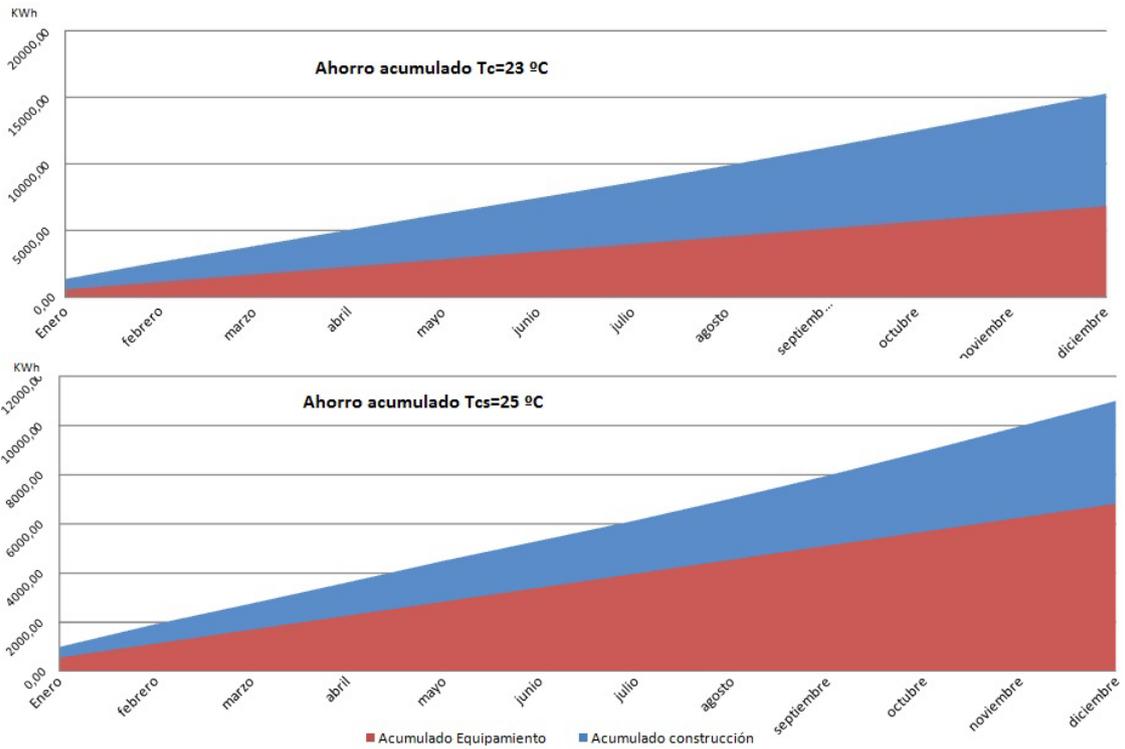


Fig. 31. Ahorros a acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Fortaleza (Brasil).

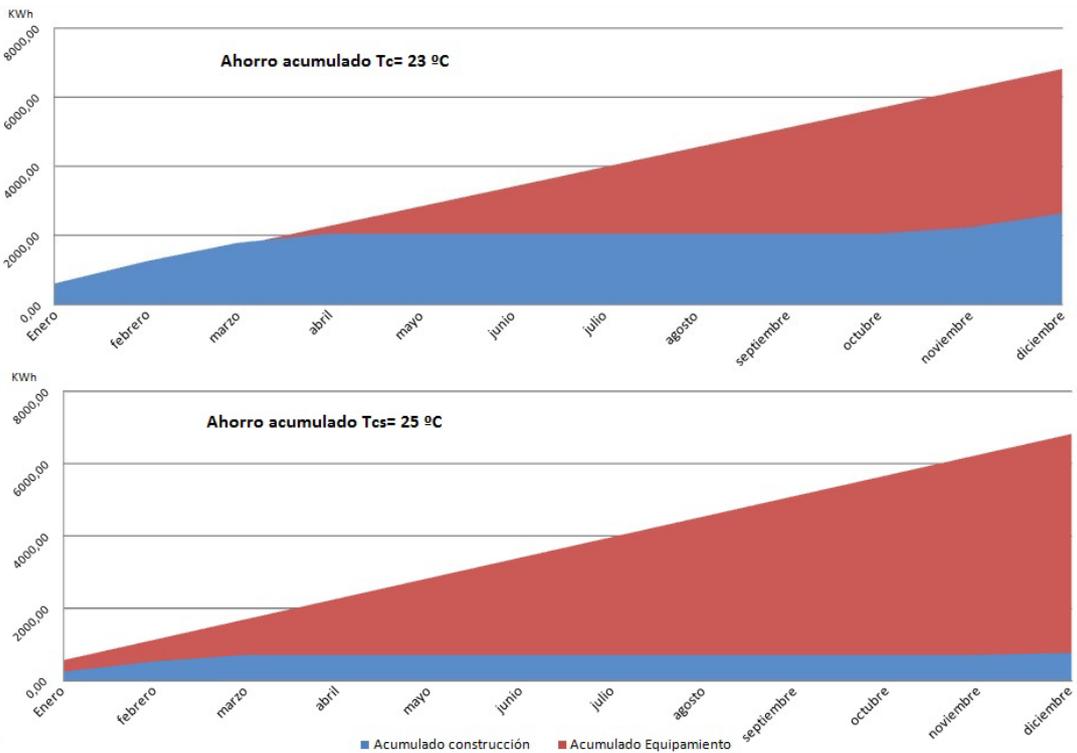


Fig. 32. Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Rio de Janeiro (Brasil).

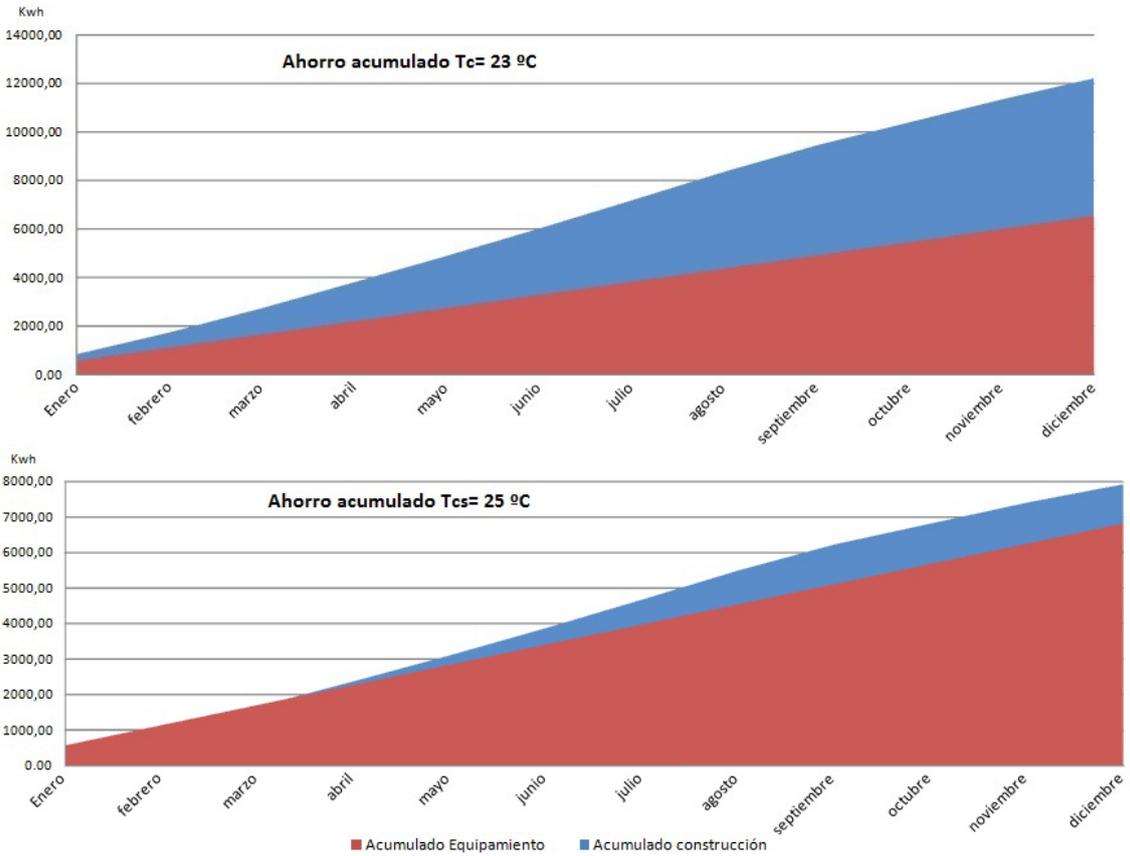


Fig. 33. Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Maracaibo (Venezuela).

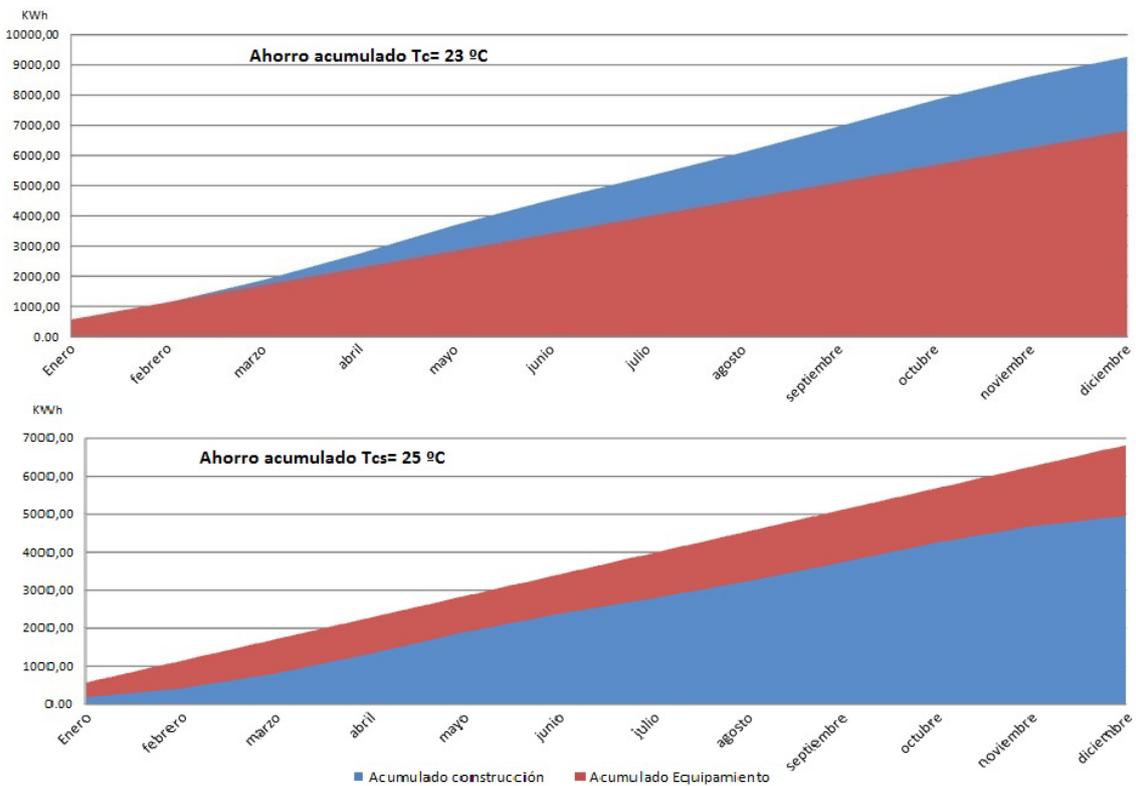


Fig. 34. Ahorros acumulados por el acondicionamiento y el equipamiento sugerido en la ciudad de Barcelona (Venezuela).

Capítulo 6

Conclusiones

El presente trabajo enmarcado dentro del área de la EE, ha planteado los siguientes objetivos principales:

- Eficiencia energética en Latinoamérica: El estudio y análisis de l estado de l a eficiencia energética en algunos países latinoamericanos.
- Reglamentos y normas de calificación energética: Analizar reglamentos, normas y estándares vigentes destinados a la calificación energética.
- Vivienda de interés social: Caracterizar la vivienda de interés social en Latinoamérica y proponer estrategias de eficiencia adaptadas a los países con climas tropicales ubicados en América del Sur.
- Temperatura de confort: Realizar un estudio para la definición de una temperatura de confort adecuada a los países con climas tropicales.
- Ahorro energético: Estudiar la influencia de las estrategias de eficiencia propuestas en la vivienda de interés social y de la adaptación de la temperatura de confort al clima tropical en el ahorro de energía.

Cumplidos los objetivos se ha llegado a las siguientes conclusiones

Eficiencia energética en Latinoamérica

Parte del desarrollo de este documento se dedicó a estudiar el estado de las regulaciones de EE de América Latina haciendo énfasis en el sector de la construcción, las limitaciones que se encontraron son muchas, aunque se reconoce que los gobiernos hacen un esfuerzo por cubrir las necesidades.

Existen limitaciones comunes en muchos de estos países, quizá la más importante es la falta de indicadores que ayuden a interpretar las necesidades y fortalezas que se tienen, para luego convertir estos datos en criterios que se traduzcan en legislaciones destinadas a reducir el consumo de energía en el sector.

Los gobiernos deben centrar su atención en el diseño de herramientas capaces de clasificar las construcciones y de detectar las deficiencias energéticas que se encuentren dentro de cada alternativa de clasificación, para luego poder establecer una dirección dentro de las opciones de ahorro que se puedan encontrar. Como por ejemplo el establecimiento de estrategias de aislamiento y valores adecuados a la zona.

Se debe proponer una dirección en consonancia con la asignación de los límites de consumo de energía de las construcciones y que además tenga coherencia con los

compromisos internacionales adquiridos y con las restricciones ambientales establecidas.

Otra de bilidad importante es la carencia de programas de incentivos y/ o subvenciones destinadas al fomento de las construcciones eficientes, de tal forma de poner al alcance del ciudadano la alternativa de convertir su vivienda en eficiente.

Por otro lado, en estos países la viabilidad de estándares privados para la evaluación de la EE tiene muy poca probabilidad de éxito debido a que los estándares estudiados en este trabajo están diseñados para cubrir condiciones climáticas diferentes. Por lo cual muchos de los valores predeterminados en general son desproporcionados para la zona.

Para los países Latinoamericanos se recomienda el diseño de reglamentos por encima de estándares. Debido que a pesar de que los estándares y reglamentos tienen el mismo objetivo, su principal diferencia es que bajo la concepción de reglamento en la búsqueda de su cumplimiento obligatorio, debe ser difundido, promocionado y regulado por el gobierno. Lo cual debe generar conocimiento y herramientas gratuitas al alcance de todos los ciudadanos.

Mientras que los estándares la mayoría de ellos son de iniciativa privada, con lo cual tienen un costo asociado por el uso de herramientas, un técnico certificado para el asesoramiento y una serie de costos administrativos propios del proceso de certificación. Además algunos estándares están asociados con una serie de marcas que pareciera que condiciona la calificación como producto terminado.

Reglamentos y normas de calificación energética

El análisis de algunas normas de calificación energética sirvió para identificar claramente las medidas que afectan directamente el ahorro energético. Además prueba el compromiso de la mayoría de los países Europeos con la detención del cambio climático y la premisa de la sustitución de energía convencional por energía renovable.

La EE garantiza el progreso de las energías renovables, basándose en la gestión adecuada de las inversiones en I & D, en programas de incentivo para la implementación y en la inversión de tecnologías adecuadas. El establecimiento de metas a largo, mediano y corto plazo hace que se esté revisando y actualizando los requisitos mínimos para la obtención de los certificados redundando en el ahorro energético.

La gestión de la Unión Europea a través del Parlamento Europeo y otros organismos relativos a la EE, aseguran el objetivo de disminuir el consumo de energía y que además sea de una forma segura y competitiva, esto debido a la promoción de generación de energía local.

En muchos países se acepta la posibilidad de usar calificaciones alternativas, esto debido a que en general los estándares y reglamentos establecen criterios equitativos que aseguran que las calificaciones sean equivalentes entre ellos. Sin embargo la desventaja del costo asociado a los estándares que en su mayoría son de iniciativa privada, compensa su costo con posibilidades de calificación parcial de las instalaciones o evaluación de iniciativas no contempladas en los reglamentos como alternativas de transporte, aparcamiento, gestión de aguas residuales entre otras lo que le da un valor agregado a la hora de elegir un mecanismo de calificación.

Vivienda de interés social

Se han definido y utilizado criterios prácticos para la identificación de una vivienda de interés social en algunos países latinoamericanos con clima tropical, usando como instrumento una encuesta. La vivienda resultado de la encuesta fue sometida a un reglamento de calificación, en este caso el CTE representado por el DB-HE que presenta la ventaja de poder adaptarse a las condiciones del clima tropical y además es un reglamento que toma en cuenta la mayoría de los criterios de calificación que afectan la EE.

En general las medidas de EE para la construcción que evalúan los estándares y reglamentos estudiados son comunes, como los niveles de transmitancia (U) para el envolvente y los acristalamientos, la ubicación y orientación de la edificación, la proyección y diseño de las ventanas y puertas, puentes térmicos, aprovechamiento de la iluminación natural y sombras, además la promoción del autoabastecimiento de energía.

La calificación se realizó usando como ubicación Las Palmas de Gran Canaria debido a las condiciones de temperatura y humedad similares a las de muchas partes de América Latina para las cuales se hace el estudio, además de presentar características de radiación solar similares. Aunque se reconoce que los hábitos de ocupación y uso probablemente sean diferentes, el objetivo es introducir la vivienda en algún sistema de calificación y reconocer los criterios adecuados para convertirla en eficiente.

El programa Calener confirmó la premisa inicial de que la vivienda no era apta para obtener calificación energética. Con lo cual se tuvieron que adoptar una serie de criterios, entre los que se encuentra el diseño adecuado del envolvente, el diseño conveniente de ventanas y puertas y el diseño de un sistema de ACS con contribución solar para finalmente obtener una calificación determinada por la letra "C" dentro de una escala definida hasta la letra G, siendo esta última la peor calificación.

El objetivo de obtener criterios técnicos para la calificación de EE queda bastante claro, quedando pendiente la estimación en qué medida los valores de calificación son correctos.

Temperatura de confort

Para la determinación de la temperatura de confort adecuada al clima tropical se estudió el modelo estático y el modelo adaptativo. De entre los modelos se decidió trabajar con el modelo adaptativo ya que los criterios de climatización y habituación cobran relevancia dada las características del clima tropical y las construcciones con ventilación natural.

Del estudio realizado se vio la necesidad de introducir la humedad relativa para poder determinar de forma más precisa la sensación de confort en estos climas tropicales. Por ello se ha propuesto una modificación a las ecuaciones clásicas propuestas dentro del modelo adaptativo de la temperatura de confort, que finalmente depende de la temperatura media del aire y de la humedad relativa. Como es de esperarse se encuentran divergencias en la temperatura de confort en la medida en que la humedad relativa y la temperatura media del aire son mayores.

En general, se concluye del estudio que la definición de una temperatura de confort estándar para todos los climas es básicamente imposible. Sin embargo se ha dejado en evidencia que la variación de la humedad produce cambios en la sensación de confort térmico. De los resultados obtenidos se ha observado que la consideración de la humedad relativa eleva el rango de la temperatura de confort un par de grados con respecto a lo contemplado en las normas de referencia de la literatura, con lo cual la temperatura de confort sugerida (T_{CS}) es de 25°C, cuyo valor se traduce en un ahorro de energía y disminución de la emisión de gases de efecto invernadero.

Ahorro energético

Finalmente los ahorros presentados en el Capítulo 5 para la vivienda se consideran bastante buenos para la condición de evaluación de la temperatura definida por las normas UNE-EN-ISO 7730 y Ashrae 55 ($T_C=23^\circ\text{C}$) como para la temperatura de confort sugerida en este documento ($T_{CS}=25^\circ\text{C}$).

El estudio de equipamiento adecuado al clima así como la utilización de equipos con etiquetado eficiente hace que los consumos sean acordes con las necesidades reales de los usuarios y redundan en ahorros de energía. Además queda la posibilidad de la consideración de criterios de EE que contribuyan a la reducción del sobrecalentamiento como la colocación de toldos, persianas y otras estrategias arquitectónicas que colaboran a la reducción del uso de energía.

La calificación energética cumple el propósito de disminuir el consumo de energía independientemente de la ubicación geográfica, siempre y cuando el ajuste de los valores de transmitancia sean adecuados al clima. Cobra importancia la promoción de estudios destinados a la determinación de los niveles de transmitancia que cubran las necesidades del clima tropical.

El costo de la energía en algunos de estos países no es del todo claro, por lo que uno de los grandes inconvenientes que debe saltar la EE es el costo de la implementación con respecto al costo de la energía. En general, para los reglamentos y estándares estudiados la implementación de las medidas de EE en la vivienda no supera el 3% del costo total de la construcción, con lo cual el costo de la vivienda no se incrementará en gran margen comparado con los beneficios a corto y mediano plazo que se pueden conseguir.

Capítulo 7

Trabajos futuros

El presente trabajo pone en evidencia la necesidad de atención que tiene la eficiencia energética en Latinoamérica. Con lo cual se continuará trabajando en el progreso y la difusión de las aportaciones y resultados significativos que contribuyan al afianzamiento del ahorro energético en la región, esencialmente en el sector de la construcción debido a las grandes posibilidades de ahorro que se tiene en el sector.

Los futuros trabajos podrían realizar un estudio de costos que avale la factibilidad de implementación de la vivienda de interés social propuesta para la zona como solución habitacional adecuada por los resultados obtenidos en favor de la sostenibilidad y el ahorro energético a corto, mediano y largo plazo.

También se podría profundizar en el estudio de la temperatura de confort adecuada a los climas tropicales, buscando métodos que fortalezca la propuesta del rango sugerido para estos climas.

Bibliografía

- [1] CENAC (2009). El contexto económico, social y Tecnológico de la producción de vivienda Social en América Latina. III Encuentro Latinoamericano de gestión y economía de la construcción. 2009 Colombia. http://elagec3.uniandes.edu.co/memorias_elagec_III.pdf
- [2] Datos de la CEPAL para el año 2010. http://www.eclac.org/prensa/noticias/comunicados/8/41798/graficoCOMUNICADO_PANORAMASOCIAL2010_FINAL.pdf
- [3] Rudnick H., Barroso L., Larens D., Watts D., Ferreira R. Flexible connections: Solutions and challenges for the integration of renewables in South America. IEEE Power and energy magazine, March 2012.
- [4] Agua y Energía Datos y Estadísticas. Informe de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos en el mundo 2014. <http://unesdoc.unesco.org/images/0022/002269/226961S.pdf>
- [5] Plan maestro de la electrificación del Ecuador 2009 - 2020. Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC). www.conelec.gob.ec/images/documentos/PME0920CAP5.pdf
- [6] Análisis y revisión de los objetivos de política energética colombiana de largo plazo y actualización de sus estrategias de desarrollo PEN 2010 - 2030 Informe final. Julio 2010. www.upme.gov.co
- [7] Costa Rica: Proyecciones de la demanda eléctrica 2011 - 2033 Instituto costarricense de electricidad. Centro Nacional de planificación eléctrica proceso expansión integrada. Mayo 2011. www.grupoice.com
- [8] Plan de Expansión del Sistema Interconectado Nacional 2012 -2026 Empresa de Transmisión Eléctrica, S.A (ETESA). Diciembre 2012. www.etsa.com.pa/documentos/TOMO_I_ESTUDIOS_BASICOS_2012-2026.pdf
- [9] Balanço Energético Nacional 2013. Año base 2012. Ministerio de Minas e energía. Empresa de Pesquisa Energética EPE. www.ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2013.pdf
- [10] Projeção da demanda de energia eléctrica para os próximos 10 años (2012 -2021). Ministerio de Minas e energía. Empresa de Pesquisa Energética EPE. www.epe.gov.br/mercado/Documents/S%C3%A9rie%20Estudos%20de%20Energia/20120104_1.pdf
- [11] www.mppee.gob.ve/inicio/noticias-internacionales
- [12] Estadísticas consolidadas 2007. Cámara Venezolana de la Industria Eléctrica.
- [13] [www.http://datos.bancomundial.org](http://datos.bancomundial.org)
- [14] <http://www.cepal.org>.
- [15] Heating and cooling no longer majority of U.S home energy use. [Residential Energy Consumption Survey \(RECS\) EIA](http://www.eia.gov/todayinenergy/Residential_Energy_Consumption_Survey_(RECS)_EIA). <http://www.eia.gov/todayinenergy/>
- [16] Garrido S., Núria. Eficiència i certificació en ergètica d'edificis residencials. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Màquines i Motors Tèrmics. 2010
- [17] Ruá A., María J. Método de valoración de viviendas desde la perspectiva medioambiental y análisis de costes. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de València. 2012.
- [18] López P., Fabián. Sobre el uso y la gestión como factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación: una aportación para reducir el impacto ambiental de los edificios. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions. 2006.
- [19] Maccarini V., Luiz H. El concepto de reciclabilidad aplicado a los materiales de construcción y a los edificios: Propuesta de índices para evaluar la reciclabilidad de los sistemas constructivos. Tesis Doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament de Construccions. 2012
- [20] <http://www.europarl.europa.eu/>
- [21] Papel de la legislación y la regulación en las políticas de uso eficiente de la energía de la Unión Europea y de los Estados Miembros. www.eclac.org/publicaciones/xml/8/7258/CapituloIII.pdf
- [22] www.eclac.org/publicaciones/xml/8/7258/CapituloVI.pdf
- [23] Wolfgang F. Lutz y colaboradores. El papel de la legislación y la regulación en las políticas de uso eficiente de la energía en la Unión Europea y sus estados miembros. Publicación de las Naciones Unidas. Serie manuales. 2001.

- [24] Altomonte H., Coviello M., Wolfgang F. Energías renovables y eficiencia energética en América Latina y el Caribe. Restricciones y perspectivas. Publicación de las Naciones Unidas. Serie recursos naturales e infraestructura. 2003.
- [25] Comunicación de la Comisión Energía para el futuro: Fuentes de energía renovables. Libro Blanco para una Estrategia y un Plan de Acción Comunitarios. http://europa.eu/documents/comm/white_papers/pdf/com97_599_es.pdf
- [26] EPBD Directive 2002/91/EC. Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of building. The European Community Official Journal 2003.
- [27] Cisneros. C, Elisa M. Tesis Master: Edificación passivhaus. Universitat Politècnica de Catalunya. 2011
- [28] Plataforma edificación Passivhaus PEP. <http://www.plataforma-pep.org>
- [29] Aranda U. A., Zabalza B. I., Diaz de G. S y LLera S. E. Eficiencia energética en instalaciones y equipamiento de edificios. Prensas Universitarias de Zaragoza. 2010.
- [30] The Passivhaus Standard in European Warm Climates. Project Passive-on. 2007
- [31] Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos al Lider y Calener. Calificación de eficiencia energética de edificios. IDE A. http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Guia-8_Condiciones_Alternativos.pdf
- [32] RD 47/2007 Procedimiento Básico para la certificación en energética de edificios de nueva construcción. www.boe.es/boe/dias/2007/01/31/pdfs/A04499-04507.pdf
- [33] REAL DECRETO 1826/2009 de 27 de noviembre, por el que se modifica el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios. <http://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2009-19915>
- [34] LEED 2009 para nueva construcción y grandes remodelaciones Versión 3.0.
- [35] Cost-Optimal levels of minimum energy performance requirements in the Danish Building regulations. Danish Building Research Institute, Aalborg University. 2013
- [36] www.minergie.ch/documenti_minergie.html
- [37] <http://www.bre.co.uk/sap2012/page.jsp?id=2759>
- [38] The Government's Standard Assessment Procedure for Energy Rating of Dwellings. 2012 edition. Published on behalf of DECC by: BRE.
- [39] Evaluation of the Dutch energy performance standard in the residential and services sector. <http://www.ecofys.com/files/files/aid-ee-2007-evaluation-building-standard-netherlands.pdf>
- [40] The Millennium Development Goals Report 2010. Organización de las Naciones Unidas ONU.
- [41] Energy Technology Perspectives 2010. Scenarios & Strategies to 2050 © OECD/IEA, 2010 International Energy Agency.
- [42] CENAC (2009). El contexto económico, social y Tecnológico de la producción de vivienda Social en América Latina. III Encuentro Latinoamericano de gestión y economía de la construcción. 2009 Colombia. http://elagec3.uniandes.edu.co/memorias_elagec_III.pdf
- [43] Bouillon, César P. Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe. Banco Interamericano de Desarrollo. 2012.
- [44] Ley N° 11.124 de 16 de Junio de 2005, Presidencia de la República de Brasil
- [45] Díaz R. Carlos A., Ramírez L. Julia A., Normas aplicables en el desarrollo de viviendas de interés social. Aincol. Ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 2011 Bogota, Colombia.
- [46] Ley del sistema financiero nacional para la vivienda y la creación del BANHVI (Banco hipotecario de la vivienda) Ley No. 7052 de 13 de noviembre de 1986 y sus reformas. Gaceta N°. 175, 11 SET-2003, Directriz N° 27. La Presidencia de la República de Costa Rica y El Ministro De Vivienda Y Asentamientos Humanos.
- [47] Constitución del Ecuador, Título VII: Régimen del buen vivir, Sección cuarta: Hábitat y vivienda.
- [48] República de Panamá Asamblea Legislativa: Ley 61 de 1996: Por la cual se crea un programa de desarrollo urbano y se incentiva la construcción de viviendas de interés social, mediante participación pública y privada.
- [49] Ley del Régimen prestacional de vivienda y hábitat. Gaceta oficial N° 38182. Ministerio PPP vivienda y hábitat. Venezuela.

- [50] www.aemet.es/es/datos_abiertos/catalogos
- [51] ANSI/ASHRAE Estandart 55-2004. Thermal environmental conditions for human occupancy.
- [52] UNE-EN ISO 7730: 2005. Ergonomics of the thermal environment.
- [53] Beckman, W. A. ; Klein, S. A. ; Due, J. A. (1977). Solar heating design, by the f-chart method. Technology & Engineering.
- [54] Humphreys M., Nicol F. The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in everyday thermal environments. Elsevier, Energy and Buildings 34 (2002) 667-684.
- [55] Humphreys, M. A., Rijal, H. B. and Nicol, J. F. Examining and developing the adaptive relation between climate and thermal comfort indoors. Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings. <http://nceub.org.uk>
- [56] De Dear, R. J., Brager G. S and Cooper D. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. FINAL REPORT. ASHRAE RP- 884. March 1997.
- [57] Fanger O. P., J. Toftum. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. Elsevier, Energy and Buildings 34 (2002) 533-536.
- [58] Fanger O. P. Assessment of man's thermal comfort in practice. British Journal of Industrial Medicine, 1973, 30, 313-324.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1069471/pdf/brjindmed00096-0001.pdf>
- [59] Fanger O. P. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental. McGraw Hill 1974.
- [60] Humphreys, M. A., Field studies of thermal comfort compared and applied. Department of the environment: Building Research establishment. 1975.
- [61] Auliciems, A. Towards a Psycho-Physiological model of thermal perception. International Journal of Biometeorology. Volumen 25. 1981.
- [62] de Dear, R. J., Brager G. S. Thermal comfort in naturally ventilated building: revisions to Ashrae standard 55. Elsevier, Energy and Buildings 34 (2002) 549-561.
- [63] Nicol, F., Roaf, S. Pioneering: new indoor temperature standards the Pakistan project. Elsevier, Energy and Buildings 23 (1996) 169-174
- [64] Comentarios al reglamento de instalaciones térmicas en los edificios. (RITE 2007).
http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10540_Comentarios_RITE_GT7_07_2200d691.pdf
- [65] De Dear, R. J., Brager G. S. Thermal comfort in naturally ventilated building: revisions to Ashrae standard 55 Elsevier, Energy and Buildings 34 (2002) 549-561.
- [66] Humphreys, M. A., Rijal, H. B. and Nicol, J. F. Examining and developing the adaptive relation between climate and thermal comfort indoors. Proceedings of Conference: Adapting to Change: New Thinking on Comfort Cumberland Lodge, Windsor, UK, 9-11 April 2010. London: Network for Comfort and Energy Use in Buildings. <http://nceub.org.uk>
- [67] Nicol, J. F. and Humphreys, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. Oxford Centre for Sustainable Development, School of Architecture, Oxford Brookes University, Gypsy Lane, Oxford OX3 0BP, UK
- [68] Nicol, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. Elsevier, Energy and Buildings 36 (2004) 628-637.
- [69] Nicol, F., Roaf, S. Pioneering: new indoor temperature standards the Pakistan project. Elsevier, Energy and Buildings 23 (1996) 169-174.
- [70] Ye, X., Zhou, Z., Lian, Z., Liu, H., Li, C., y Liu, M. Field study of a thermal environment and adaptive model in Shanghai. Indoor Air Volume 16 320-326 (2006).
- [71] Steadman, R. G. The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of applied meteorology, volumen 18, 1979.
- [72] Steadman, R. G. The Assessment of Sultriness. Part II: Effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. Journal of applied meteorology, volumen 18, 1979.
- [73] Steadman, R. G. A universal scale of apparent temperature. Journal of applied meteorology, volumen 23, 1984.
- [74] <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/graficosClimaticos>
- [75] http://www.inameh.gob.ve/documentos/ESTADISTICOS_BASICOS_TyHR_MEDIAS.pdf

- [76] Sterling E., Arundel A., Sterling T. Criteria for human exposure to humidity in occupied building. Ashrae transactions 1985, vol 91, pp 661-662.

Anexo A

Encuesta para la identificación de la vivienda de interés social en climas tropicales.

Identificación de la vivienda típica de interés social en climas tropicales

La presente encuesta tiene sólo fines académicos y los resultados obtenidos sólo serán usados para este fin, por lo que se agradece que las respuestas sean en lo posible lo más ajustadas a la realidad

***Obligatorio**

AMBIENTE

Coloque su respuesta en el espacio en blanco, si no conoce la respuesta coloque: sin información

País *

Ciudad *

Temperatura media anual (°C) *

Humedad (%)

Precipitación media anual (mm)

Velocidad del viento (m/s)

Radiación solar total (W/m²)

TERRENO

Tendrá una lista de opciones, y deberá seleccionar la que considere cierta o mas general. Si ninguna se ajusta a la realidad podrá utilizar la opción de "Otro" y especificar lo que considere.

Superficie total de la parcela *

- Menos de 60 m²
- Entre 60 y 90 m²
- Entre 90 y 120 m²
- Otro:

Área construida de la parcela *

- Menos de 50 m²
- Entre 50 y 80 m²
- Entre 80 y 110 m²
- Otro:

Contacto con la(s) vivienda(s) vecina(s) *

- Adosada a un costado
- Adosada a dos costados
- Adosada a tres costados
- Otro:

Preparación de la tierra para los cimientos de la vivienda *

- Excavación con compactación de tierra
- Excavación con compactación de piedra picada
- Excavación con pilotaje (columnas de hormigón)

Otro:

CONSTRUCCIÓN

Parámetros estructurales

Tipo de estructura (columnas y vigas) *

- Hormigón
- Metálica
- Madera
- Estructura mixta
- Otro:

Cerramientos

CERRAMIENTOS EXTERIORES (fachada)

Material usado *

- Bloque de arcilla
- Bloque de cemento
- Bloque de poliestireno expandido
- Madera
- Otro:

Cubierta o rebozado a base de: *

- Cemento y arena
- Cemento y cal
- Cemento y yeso
- Otro:

Acabado *

- Cerámica o baldosa
- Acabado en relieve
- Acabado en gravilla
- Acabado liso con pintura
- Ninguno

Otro:

CERRAMIENTOS INTERIORES

Material usado *

- Bloque de arcilla
 Bloque de cemento
 Bloque de poliestireno expandido
 Lamina de fibrocemento
 Otro:

Cubierta o rebozado a base de: *

- Cemento y arena
 Cemento y cal
 Cemento y yeso
 Otro:

Acabado a base de: *

- Mezclilla de mortero de arena, cal y cemento
 Mezclilla de mortero de arena, yeso y cemento
 Otro:

Aislantes

Tipo de aislante *

- Poliestireno expandido (EPS)
 Poliestireno expandido elasticado (EEPS)
 Poliestireno extruído (XPS)
 Lana mineral (MW)
 Espuma rígida de poliuretano (PUR) o poliisocianurato (PIR)
 Manto asfáltico
 Fibra de vidrio
 Corcho expandido
 Ninguno
 Otro:

Área de aplicación

- Forjados (techo)
- Fachada
- Solera (base del suelo)
- Paredes medianeras
- Otro:

Especifique el espesor de la capa de aislante (mm)

Diseño de fachada

Tipo de fachada *

- una hoja
- Dos hojas no ventilada
- Dos hojas ventilada
- Otro:

Tipo de cubrimiento *

- En una hoja
- En dos hojas
- Otro:

Techo

Forma de forjado de cubierta *

- A un agua
- A dos agua
- Placa a una misma altura
- Otro:

Material utilizado *

- Concreto y teja
- Machiembrado y teja
- Laminado
- Otro:

Si selecciona la opción laminado, por favor especifique el material

Suelo interno de la vivienda

Losa a base de: *

- Hormigón con malla electrosoldada
- bloque de poliestireno expandido (EPS)
- Otro:

Recubrimiento utilizado *

- Cerámica o baldosa
- Vinil
- Hormigón pulido
- Granito
- Madera o parquet
- Otro:

PARÁMETROS DE DISEÑO ARQUITECTONICO

Distribución

Número de plantas *

- Una
- Dos
- Otro:

Número de habitaciones *

- Una
- Dos
- Tres
- Otro:

Número de Baños *

- Uno
- Dos

- Tres
- Otro:

Distribución de las áreas comunes *

Nota: las áreas unidas por guión (-) comparten un solo espacio

- Sala, comedor, cocina, área de servicios
- Sala-comedor, cocina, área de servicios
- Sala, comedor, cocina- área de servicios
- Sala, comedor- cocina, área de servicios
- Sala- comedor-cocina, área de servicios
- Otro:

Caracterización de la cocina

Ubicación *

- Entrada de la vivienda en planta
- Final de la vivienda en planta
- En medio de la vivienda en planta
- Otro:

Disposición de ventanas *

- Hacia el exterior
- Hacia el interior
- sin ventanas
- Otro:

Puertas Exteriores

Sistema de apertura (predominante) *

- Abatible
- Basculante
- Corrediza
- Otro:

Material (predominante) *

- Madera
- Acero

- DM
 Vidrio
 Otro:

Material del marco *

- Madera
 Acero
 PVC
 Otro:

Ventanas al exterior

Número de ventanas *

Área promedio de una ventana *

Sistema de apertura (predominante) *

- Batiente
 Panorámicas o correderas
 De celosía
 Oscilobatiente o basculante
 Otro:

Material del marco (predominante) *

- Madera
 Aluminio
 PVC
 Acero prensado
 Otro:

Vidrios

Debe elegir el tipo de configuración que presenta el vidrio, y luego debe seleccionar el tipo de prestación(es) que caracteriza(n) la configuración seleccionada

Configuración *

Se refiere al número de laminas del vidrio

- Vidrio monolítico
- Vidrio laminado
- Vidrio doble con cámara de aire
- Otro:

TIPO DE AISLAMIENTO O PROTECCIÓN

Vidrio con control solar *

Esta definido por: El Factor de Transmisión luminosa que representa el porcentaje de luz, es decir, de rayos visibles, transmitidos por el acristalamiento y El Factor Solar que expresa el porcentaje total de energía, y por tanto, de calor, que atraviesa dicho acristalamiento.

- Si
- No

Vidrio de baja emisividad *

Está destinado a retener la energía infrarroja de onda larga, es decir, el calor dentro del edificio, para mejorar el coeficiente de transmisión térmica (U) y la eficiencia energética del acristalamiento. Están diseñados para reducir al mínimo la pérdida de calor del interior del edificio a través del acristalamiento

- Si
- No

Vidrio con aislamiento acústico *

El aislamiento acústico se mide por la diferencia entre los niveles de intensidad acústica incidente y transmitida a través del elemento constructivo.

- Si
- No

Vidrio de seguridad *

Un vidrio de seguridad es aquel que es difícil de ser traspasado por el impacto de personas u objetos, y en caso de rotura no presenta potencial para causar heridas de consideración a las personas.

- Si
- No

Vidrio convencional transparente *

Es el vidrio transparente de 6 mm de espesor, sin ninguna prestación.

- Si

No

PARÁMETROS TÉCNICOS

Tipo de instalación de la acometida eléctrica *

Aérea

Subterránea

Otro:

Forma de conexión de acometida eléctrica *

Monofásica de 2 hilos (fase + neutro)

Monofásica de 3 hilos (2 fases + neutro)

Trifásica

Otro:

Ubicación del tablero de distribución de energía eléctrica dentro de la vivienda *

En la entrada de la vivienda

En la cocina

En el área de servicios

No usa

Otro:

Forma del suministro del servicio de gas *

Por bombona o tanque (para cada vivienda)

Por conexión a la red pública

Instalación centralizada con un depósito exterior (para varias viviendas)

No usa

Otro:

Ubicación de la conexión para la distribución del servicio de gas dentro de la vivienda *

En la entrada de la vivienda

En la cocina

En el área de servicios

Otro:

EQUIPAMIENTO

Suministros energéticos *

- Electricidad
- Gas natural (GN)
- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Agua potable
- Otro:

Suministro energético para el equipo de cocción *

- Electricidad
- Gas natural (GN)
- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Otro:

Tipo de quemador del equipo de cocción si funciona con electricidad

- Fogón eléctrico tradicional
- Vitrocerámica con principio de funcionamiento: Inducción
- Vitrocerámica con principio de funcionamiento: Resistencias
- Vitrocerámica con principio de funcionamiento: Halógeno
- Otro:

Tipo de equipo para el agua caliente sanitaria *

- Eléctrico
- Gas natural (GN)
- Gas licuado de petróleo (GLP)
- Otro:

Tipo de lámpara usado en la iluminación interior (predominante) *

- Fluorescente
- Incandescente
- Fluorescente compacta
- Halógeno
- Led
- Otro:

Tipo de climatización usada *

- Aire acondicionado
- Ventiladores
- Ventilación cruzada natural
- Otro:

Ubicación de los aires acondicionados

- En habitaciones
- En áreas comunes
- En ambas
- Otro:

Tipo de aire acondicionado

- Split fijo
- Split móvil o portátil
- De ventana
- Central o por ductos
- Con bomba de calor
- Otro:

Ubicación de los ventiladores

- En habitaciones
- En áreas comunes
- En ambas
- Otro:

Tipo de ventilador

- Fijo en techo
- Fijo en pared
- Portátil
- Otro:

CONFORT Y SOSTENIBILIDAD

Estudio de la orientación de la vivienda *

- Si
- No

Uso de sistemas alternativos para el calentamiento del agua sanitaria *

- Si
 No

Uso de la vegetación como elemento climatizador o cortina natural *

- Si
 No

Uso de toldos y/o persianas para el control de entrada de la iluminación natural *

- Si
 No

Uso de lucernarios o tragaluz *

- En la cocina
 En la sala de estar
 En los baños
 No usa
 Otro:

Sistema que usa el lucernario o tragaluz

- De base con apertura para ventilación
 Fijo sin ventilación
 Abierto con techo a desnivel
 Otro:

Material que usa el lucernario o tragaluz

- Acrílico
 Vidrio
 Del mismo material del techo
 Otro:

Uso de algún tipo automatización y/o control para la iluminación

- Detección de movimiento
 Actuadores de tiempo
 Ninguno
 Otro:

NECESIDADES ESPECIALES

Implementación de algún sistema de almacenamiento de agua para la vivienda *

- Si
 No

El sistema de distribución del agua almacenada se hace a través por:

- Gravedad
 Bomba para impulsar el agua
 Otro:

El sistema de apertura del portón del estacionamiento o garaje *

- Manual
 con motor
 Con automatización y uso de sensores
 No necesita
 Otro:

Con la tecnología de [Google Docs](#)

[Informar sobre abusos](#) - [Condiciones del servicio](#) - [Otros términos](#)

Anexo B

Informe técnico del Lider: Limitación de demanda energética.

Código Técnico de la Edificación



LIDER
**DOCUMENTO
BÁSICO HE
AHORRO DE ENERGÍA**
**HE1: LIMITACIÓN
DE DEMANDA
ENERGÉTICA**



MINISTERIO
DE INDUSTRIA, TURISMO
Y COMERCIO

IDAE Instituto para la
Diversificación y
Ahorro de la Energía



MINISTERIO
DE VIVIENDA

DIRECCIÓN GENERAL
DE ARQUITECTURA
Y POLÍTICA DE VIVIENDA

Proyecto: VIS
Fecha: 23/01/2014
Localidad:
Comunidad:

| | |
|--|------------------------|
|  HE-1 Opción General | Proyecto VIS |
| | Localidad Comunidad |

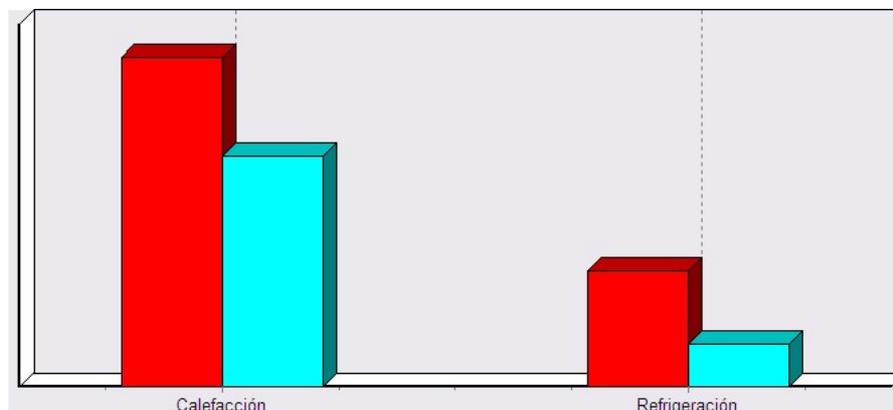
1. DATOS GENERALES

| | |
|--|---------------------------------------|
| Nombre del Proyecto VIS | |
| Localidad | Comunidad Autónoma |
| Dirección del Proyecto | |
| Autor del Proyecto Alejandra | |
| Autor de la Calificación | |
| E-mail de contacto | Teléfono de contacto (null) |
| Tipo de edificio Unifamiliar | |

2. CONFORMIDAD CON LA REGLAMENTACIÓN

El edificio descrito en este informe **NO CUMPLE** con la reglamentación establecida por el código técnico de la edificación, en su documento básico HE1.

| | Calefacción | Refrigeración |
|---|-------------|---------------|
| % de la demanda de Referencia | 143,4 | 272,5 |
| Proporción relativa calefacción refrigeración | 74,0 | 26,0 |



En el caso de edificios de viviendas el cumplimiento indicado anteriormente no incluye la comprobación de la transmitancia límite de 1,2 W/m²K establecida para las particiones interiores que separan las unidades de uso con sistema de calefacción previsto en el proyecto, con las zonas comunes del edificio no calefactadas.

| | | |
|---|-----------|-----------|
|  HE-1 Opción General | Proyecto | |
| | VIS | |
| | Localidad | Comunidad |

Los siguientes cerramientos y/o particiones interiores no cumplen los requisitos mínimos.

P01_E01_PE001 $U = 2.17\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E01_PE003 $U = 1.90\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E01C001 $U = 3.20\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 0.65\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E01_Med001 $U = 1.59\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E01_Med002 $U = 1.59\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E01_MED001 $U = 1.62\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E01_MED002 $U = 1.62\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E01_FTER003 $U = 0.81\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 0.69\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E02_PE004 $U = 2.17\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E02_PE005 $U = 1.90\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E02C005 $U = 3.20\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 0.65\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E02_Med005 $U = 1.59\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E02_Med006 $U = 1.59\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E02_MED001 $U = 1.62\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 1.22\text{W/m}^2\text{K}$,

P01_E02_FTER002 $U = 0.81\text{W/m}^2\text{K}$ $U_{\text{limite}} = 0.69\text{W/m}^2\text{K}$,

Existe riesgo de formación de condensaciones superficiales en los siguientes cerramientos y/o particiones interiores.

P01_E01_PE001 $f_{\text{Rsi}} = 0.46$ $f_{\text{Rsi_minimo}} = 0.50$,

P01_E01C001 $f_{\text{Rsi}} = 0.20$ $f_{\text{Rsi_minimo}} = 0.50$,

P01_E02_PE004 $f_{\text{Rsi}} = 0.46$ $f_{\text{Rsi_minimo}} = 0.50$,

P01_E02C005 $f_{\text{Rsi}} = 0.20$ $f_{\text{Rsi_minimo}} = 0.50$,

| | | | |
|---|-------------------|-----------|-----------|
|  | HE-1 | Proyecto | |
| | Opción General | VIS | |
| | | Localidad | Comunidad |

Existe riesgo de formación de condensaciones intersticiales en los siguientes cerramientos y/o particiones interiores.

| | | |
|--|-----------------|-----------|
|  HE-1 Opción General | Proyecto VIS | |
| | Localidad | Comunidad |

3. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA

3.1. Espacios

| Nombre | Planta | Uso | Clase higrometria | Área (m ²) | Altura (m) |
|---------|--------|-------------------------|-------------------|------------------------|------------|
| P01_E01 | P01 | Residencial | 3 | 9,60 | 3,00 |
| P01_E02 | P01 | Residencial | 3 | 9,00 | 3,00 |
| P01_E03 | P01 | Nivel de estanqueidad 3 | 3 | 3,60 | 3,00 |
| P01_E04 | P01 | Nivel de estanqueidad 1 | 3 | 25,80 | 3,00 |

3.2. Cerramientos opacos

3.2.1 Materiales

| Nombre | K (W/mK) | e (kg/m ³) | Cp (J/kgK) | R (m ² K/W) | Z (m ² sPa/kg) | Just. |
|---|----------|------------------------|------------|------------------------|---------------------------|-------|
| Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Mortero de cemento o cal para albañilería y | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Mortero de cemento o cal para albañilería y | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Plaqueta o baldosa cerámica | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Hormigón armado 2300 < d < 2500 | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Roca natural porosa [por ejem. Lava] d < 16 | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Tierra vegetal [d < 2050] | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Teja de arcilla cocida | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Betún fieltro o lámina | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |
| Conífera de peso medio 435 < d < 520 | 0,600 | 1500,00 | 800,00 | - | 1 | SI |

| | | |
|--|-----------|-----------|
|  HE-1 Opción General | Proyecto | VIS |
| | Localidad | Comunidad |

| Nombre | K (W/mK) | e (kg/m ³) | Cp (J/kgK) | R (m ² K/W) | Z (m ² sPa/kg) | Just. |
|--------------------------------|-------------|---------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|-------|
| BH convencional espesor 150 mm | 0,789 | 1040,00 | 1000,00 | - | 10 | -- |
| BH convencional espesor 100 mm | 0,632 | 1210,00 | 1000,00 | - | 10 | -- |

3.2.2 Composición de Cerramientos

| Nombre | U (W/m ² K) | Material | Espesor (m) |
|--------------------|---------------------------|--|----------------|
| Fachada principal | 2,17 | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | BH convencional espesor 150 mm | 0,150 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| Particion interior | 2,34 | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | BH convencional espesor 100 mm | 0,100 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| Medianera | 1,90 | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,050 |
| | | BH convencional espesor 150 mm | 0,150 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| suelo | 1,13 | Plaqueta o baldosa cerámica | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,010 |
| | | Hormigón armado 2300 < d < 2500 | 0,100 |

| | |
|--|------------------------|
|  HE-1 Opción General | Proyecto VIS |
| | Localidad Comunidad |

| Nombre | U (W/m ² K) | Material | Espesor (m) |
|-----------------|---------------------------|--|----------------|
| suelo | 1,13 | Roca natural porosa [por ejem. Lava] d < 1600 | 0,200 |
| | | Tierra vegetal [d < 2050] | 0,100 |
| techo inclinado | 3,21 | Teja de arcilla cocida | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Betún fieltro o lámina | 0,020 |
| | | Conífera de peso medio 435 < d < 520 | 0,025 |

3.3. Cerramientos semitransparentes

3.3.1 Vidrios

| Nombre | U (W/m ² K) | Factor solar | Just. |
|-----------|---------------------------|--------------|-------|
| VER_M_4 | 5,70 | 0,85 | SI |
| VER_M_6 | 5,70 | 0,85 | SI |
| opaco MDF | 2,20 | 0,10 | SI |

3.3.2 Marcos

| Nombre | U (W/m ² K) | Just. |
|-----------------------------------|---------------------------|-------|
| VER_Madera de densidad media alta | 5,60 | SI |
| HOR_Madera de densidad media alta | 5,60 | SI |

3.3.3 Huecos

| | |
|--------|-------------------|
| Nombre | Ventana principal |
|--------|-------------------|

| | | |
|--|-----------|-----------|
|  HE-1 Opción General | Proyecto | VIS |
| | Localidad | Comunidad |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Acristalamiento | VER_M_6 |
| Marco | VER_Madera de densidad media alta |
| % Hueco | 10,00 |
| Permeabilidad m³/hm² a 100Pa | 50,00 |
| U (W/m²K) | 5,69 |
| Factor solar | 0,79 |
| Justificación | SI |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Nombre | ventana interna |
| Acristalamiento | VER_M_4 |
| Marco | HOR_Madera de densidad media alta |
| % Hueco | 10,00 |
| Permeabilidad m³/hm² a 100Pa | 50,00 |
| U (W/m²K) | 5,69 |
| Factor solar | 0,79 |
| Justificación | SI |

| | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Nombre | Puerta madera |
| Acristalamiento | opaco MDF |
| Marco | HOR_Madera de densidad media alta |
| % Hueco | 10,00 |
| Permeabilidad m³/hm² a 100Pa | 60,00 |
| U (W/m²K) | 2,54 |
| Factor solar | 0,11 |
| Justificación | SI |

| | | | |
|---|----------------|-----------|-----------|
|  CTE <small>CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN</small> | HE-1 | Proyecto | |
| | Opción General | VIS | |
| | | Localidad | Comunidad |

3.4. Puentes Térmicos

En el cálculo de la demanda energética, se han utilizado los siguientes valores de transmitancias térmicas lineales y factores de temperatura superficial de los puentes térmicos.

| | Y W/(mK) | FRSI |
|---|----------|------|
| Encuentro forjado-fachada | -0,05 | 0,85 |
| Encuentro suelo exterior-fachada | 0,42 | 0,68 |
| Encuentro cubierta-fachada | 0,42 | 0,68 |
| Esquina saliente | 0,14 | 0,76 |
| Hueco ventana | 0,22 | 0,63 |
| Esquina entrante | -0,12 | 0,78 |
| Pilar | 0,87 | 0,56 |
| Unión solera pared exterior | 0,13 | 0,72 |

| | | |
|---|-----------------|-----------|
|  HE-1 Opción General | Proyecto VIS | |
| | Localidad | Comunidad |

4. Resultados

4.1. Resultados por espacios

| Espacios | Área (m ²) | Nº espacios iguales | Calefacción % de max | Calefacción % de ref | Refrigeración % de max | Refrigeración % de ref |
|----------|------------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------|------------------------|
| P01_E01 | 9,6 | 1 | 100,0 | 144,0 | 84,1 | 270,4 |
| P01_E02 | 9,0 | 1 | 75,4 | 142,5 | 100,0 | 274,5 |

| | | | |
|---|-------------------|----------|-----------|
|  CTE <small>CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN</small> | HE-1 | Proyecto | |
| | Opción General | VIS | Localidad |

5. Lista de comprobación

Los parámetros característicos de los siguientes elementos del edificio deben acreditarse en el proyecto

| Tipo | Nombre |
|-----------------|--|
| Material | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] Plaqueta o baldosa cerámica Hormigón armado 2300 < d < 2500 Roca natural porosa [por ejem. Lava] d < 1600 Tierra vegetal [d < 2050] Teja de arcilla cocida Betún fieltro o lámina Conífera de peso medio 435 < d < 520 |
| Acristalamiento | VER_M_4 VER_M_6 opaco MDF |
| Marco | VER_Madera de densidad media alta HOR_Madera de densidad media alta |

Anexo C

Diseño del sistema de agua caliente sanitaria

Diseño del sistema de agua caliente sanitaria

Condiciones de la norma DB-HE4

1.- Descripción del lugar:

| Ubicación | Altitud (m) | Latitud (º) | Longitud (º) | Zona climática | Zona climática por radiación |
|----------------------------|-------------|-------------|--------------|----------------|------------------------------|
| Las palmas de Gran Canaria | 500 | 28,2 | 15,4 | A3 | V |

2.- Diseño del sistema de ACS

2.1.- Demanda de ACS

de ocupantes = 4 personas

Tabla 3.1 del DB-HE4, Demanda de referencia a 60°C:

Demanda vivienda unifamiliar → 30 l/día por persona

Demanda máxima:

$$Demanda_{ACS} = \# \text{ ocupantes} \cdot demanda_{unifamiliar} = 120 \text{ l/día}$$

2.2.- Contribución solar mínima

Según la Tabla 2.1 del DB-HE4 por la zona climática por radiación y la demanda de ACS corresponde una contribución solar mínima de 70%

2.3.- Selección de los elementos del sistema de ACS

2.3.1 Caudales y consumos: Guía técnica de ACS del CTE

http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_08_Guia_tecnica_agua_caliente_sanitaria_central_906c75b2.pdf

a. Caudales instantáneos.

| Sistema | Aparato | Cantidad | Q _{AF} (lts/s) | Q _{ACS} (lts/s) |
|--------------------|----------------------|----------|-------------------------|--------------------------|
| Cocina | Fregadero | 1 | 0,20 | 0,10 |
| Baño | Lavamanos | 1 | 0,05 | 0,03 |
| | Ducha | 1 | 0,20 | 0,10 |
| | Inodoro con cisterna | 1 | 0,10 | - |
| Servicios | Lavadero | 1 | 0,20 | 0,10 |
| | Lavadora | 1 | 0,20 | 0,15 |
| | Grifo aislado | 1 | 0,20 | - |
| Totales de consumo | | | 1,15 | 0,48 |

Q_{AF} caudal de agua fría

Q_{ACS} caudal de agua caliente sanitaria

Caudal total: $Q_T = 0,48$ l/s

b. Cálculo del caudal simultáneo

$$Q_C = A \cdot (Q_T)^B + C$$

Siendo:

Q_C : Caudal simultáneo (l/s)

Q_T : Caudal total (l/s)

A, B y C coeficientes que dependen del tipo de edificio, de los caudales de la construcción y de los aparatos, se obtienen de la siguiente tabla:

| Tipo de edificio | Caudales (l/s) | | Coeficientes | | |
|------------------|----------------|-----------|--------------|-------|--------|
| | Q_U | Q_T | A | B | C |
| Viviendas | <0,5 | ≤ 20 | 0,682 | 0,450 | -0,140 |
| | $\geq 0,5$ | ≤ 1 | 1,000 | 1,000 | 0,000 |
| | $\geq 0,5$ | ≤ 20 | 1,700 | 0,210 | -0,700 |
| | Sin límite | >20 | 1,700 | 0,210 | -0,700 |

$$Q_C = 0,682 \cdot (0,48)^{0,450} - 0,140 = 0,350 \text{ l/s}$$

c. Tiempo de consumo punta

$$\frac{\text{Demanda diario a } 60^\circ\text{C}}{Q_C} = \frac{120}{0,350} = 342,85 \text{ s/día}$$

Que es equivalente a 5,71 min al día

d. Energía de demanda para el calentamiento de ACS

$$P_{\text{Caldera}} = \left[\text{Demanda}_{\text{max}} \cdot (T_{\text{ACS}} - T_{\text{AF}}) - V_{\text{acumulación}} (T_{\text{acumulación}} - T_{\text{AF}}) \cdot F_{\text{uso acumulación}} \right] \cdot \frac{1,16 \text{ (W} \cdot \text{h/l} \cdot ^\circ\text{C)}}{\eta_{\text{ACS}}}$$

Siendo:

T_{ACS} : Temperatura de servicio ($^\circ\text{C}$)

T_{AF} : Temperatura de agua fría ($^\circ\text{C}$)

$V_{\text{acumulación}}$: volumen del acumulador (l)

$F_{\text{uso acumulación}}$: frecuencia de uso del volumen acumulado

$$F_{\text{uso acumulación}} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{H}{D}$$

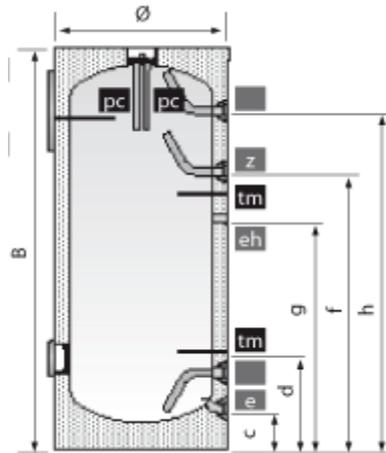
Siendo:

H: Altura del depósito

D: Diámetro del depósito

Se revisaron los equipos comerciales para la selección del sistema acumulador, se partió del criterio de un 50% de acumulación lo cual sería de 60 litros, sin embargo el valor más pequeño de acumulador es de 80 litros, vertical y con las siguientes especificaciones:

| | |
|-------------|-----|
| ϕ (mm) | 385 |
| B (mm) | 980 |
| C (mm) | 165 |



Dimensiones de un acumulador

$$F_{uso\ acumulaci\ on} = 0,63 + 0,14 \cdot \frac{980}{385} = 0,98 = 98\%$$

$$P_{caldera} = [120 \cdot (60 - 15) - 80(70 - 15) \cdot 0,98] \cdot 1,16 / 0,87 = 1447,04\ W$$

Tiempo de recuperación para el calentamiento del depósito:

$$Tiempo = \frac{[litros\ de\ acumulaci\ on \cdot (T_{ref} - T_{AF}) \cdot 1,16 (Wh/lts \cdot ^\circ C)]}{(P_{caldera} \cdot \eta_{ACS})}$$

Donde:

T_{ref} = Temperatura de referencia de calentamiento ($^\circ C$)

T_{AF} = Temperatura de agua fría ($^\circ C$)

$P_{caldera}$ = Potencia de la caldera

η_{ACS} = Rendimiento del sistema de ACS

$$Tiempo = \frac{[80 \cdot (70 - 15) \cdot 1,16 (Wh/lts \cdot ^\circ C)]}{(1447,04 \cdot 0,87)} = 4,05\ h$$

Tiempo de recuperación para el almacenamiento= 4,05 horas

Recomendaciones para la selección del acumulador para una Vivienda de 50 m² (4 personas)

| Variable | Dato |
|-------------------------|------------------------------|
| Demanda | Max: 120 l/día min: 90 l/día |
| Caudal instantáneo | 0,350 l/s |
| Tiempo de consumo punta | 5,71 min/día |
| Potencia | 1447,04 W |
| Volumen de acumulación | 4,05 horas |

3.- Dimensionado de los colectores solares usando el método F-Chart

Se realizó una revisión de los colectores comerciales y se seleccionó uno con las siguientes características:

| Datos técnicos | |
|--|---------|
| Rendimiento óptico | 0,677 |
| Coefficiente de pérdida de calor (K1) (W/m ² K) | 3,4446 |
| Coefficiente de pérdida de calor (K2) (W/m ² K) | 0,01274 |
| Área de apertura (m ²) | 1,862 |
| Área total (m ²) | 2,00 |

Siendo la curva característica del captador:

$$\eta = 0,677 - [3,4446 + 0,01274 \cdot (T_e - T_a)] \cdot \left(\frac{(T_e - T_a)}{I_s} \right)$$

Con:

T_e = Temperatura de entrada del fluido al colector

T_a = Temperatura medio ambiente

I_s = Radiación en W/m²

Ecuación del método de las curvas F-Chart

$$f = 1,029 \cdot D1 - 0,065 \cdot D2 - 0,245 \cdot D1^2 + 0,0018 \cdot D2^2 + 0,0215 \cdot D1^3$$

Calculo de D1:

$$D1 = \frac{E_a}{Q_a}$$

Con:

E_a : Energía adsorbida por el captador

Q_a : Carga calorífica mensual de calentamiento de ACS (J/mes)

$$E_a = S_c \cdot F' r(\tau\alpha) \cdot R1 \cdot N$$

Con:

E_a Energía adsorbida por el captador

S_c superficie del captador (m²)

$F' r(\tau\alpha)$ factor dimensional

$R1$ Radiación diaria mensual incidente sobre la superficie de captación por unidad de área (KJ/m²)

N Numero de días al mes

F_{rUL} es la pendiente de la curva característica del captador
 =coeficiente global de pérdidas del captador
 t_a temperatura media mensual del ambiente (horas diurnas)
 Δt periodo de tiempo considerado en segundos
 K_1 Factor de corrección por almacenamiento
 K_2 factor de corrección para ACS que relaciona la temperatura

Donde

$$K_1 = \left[\frac{Kg \text{ de acumulación}}{(75 \cdot Sc)} \right]^{-0.25}$$

Con: $37,5 < (Kg \text{ de acumulación}/m^2 \text{ captación}) < 300$

$$K_2 = \frac{(11.6 + 1.18 \cdot T_{ref} + 3.86 \cdot T_{af} - 2.32 \cdot t_a)}{(100 - t_a)}$$

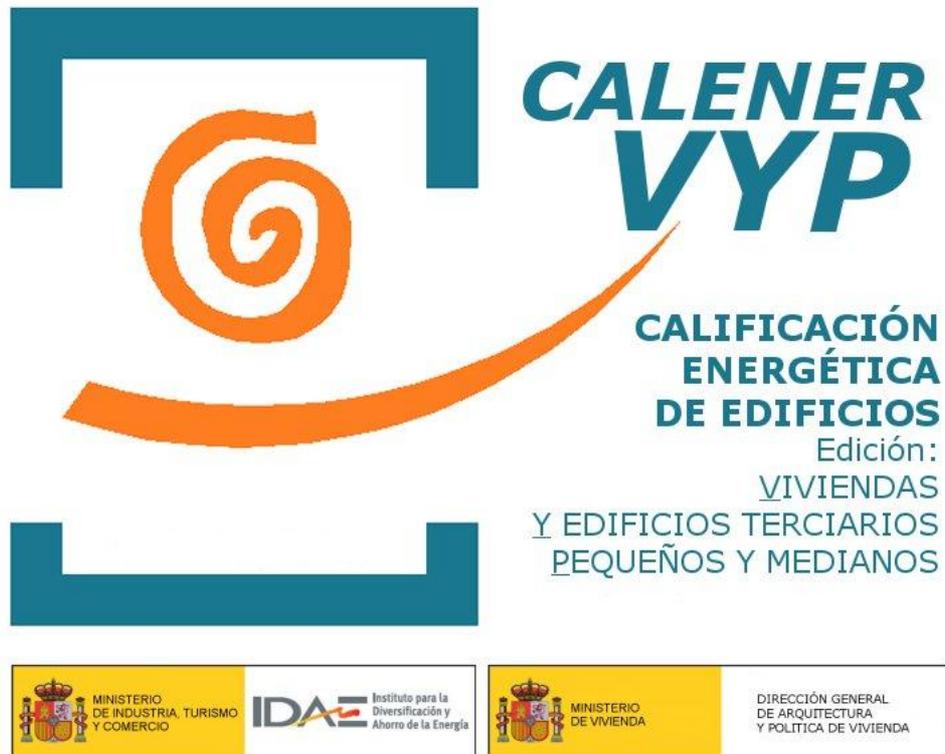
A lo que se obtiene la siguiente cobertura mensual, usando un solo colector solar.

| Contribución mensual de energía solar (%) | | | | | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|------|--------|--------|--------|-------|------|------|
| Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ags | Sep | Oct | Nov | Dic |
| 64,76 | 78,55 | 97,05 | 92,63 | 93,79 | 97,8 | 116,80 | 112,40 | 114,61 | 95,24 | 83,2 | 67,8 |

Anexo D

Calificación energética Calener VYP. Edición viviendas y edificios terciarios pequeños y medianos.

Calificación Energética



Proyecto: casa replanteada

Fecha: 18/12/2013

| | | |
|--|------------------|------------------|
|  Calificación Energética | Proyecto | |
| | casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

1. DATOS GENERALES

| | |
|--|---------------------------------------|
| Nombre del Proyecto casa replanteada | |
| Localidad | Comunidad Autónoma |
| Dirección del Proyecto | |
| Autor del Proyecto Alejandra Agudelo | |
| Autor de la Calificación UPC | |
| E-mail de contacto | Teléfono de contacto (null) |
| Tipo de edificio Unifamiliar | |

| | | |
|--|------------------------------|-----------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

2. DESCRIPCIÓN GEOMÉTRICA Y CONSTRUCTIVA

2.1. Espacios

| Nombre | Planta | Uso | Clase higrometria | Área (m ²) | Altura (m) |
|---------|--------|-------------|-------------------|------------------------|------------|
| P01_E01 | P01 | Residencial | 3 | 9,60 | 3,00 |
| P01_E02 | P01 | Residencial | 3 | 3,60 | 3,00 |
| P01_E03 | P01 | Residencial | 3 | 9,00 | 3,00 |
| P01_E04 | P01 | Residencial | 3 | 25,80 | 3,00 |

2.2. Cerramientos opacos

2.2.1 Materiales

| Nombre | K (W/mK) | e (kg/m ³) | Cp (J/kgK) | R (m ² K/W) | Z (m ² sPa/kg) |
|---|----------|------------------------|------------|------------------------|---------------------------|
| Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,300 | 750,00 | 1000,00 | - | 6 |
| Mortero de cemento o cal para albañilería y | 0,550 | 1125,00 | 1000,00 | - | 10 |
| Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm] | 0,427 | 920,00 | 1000,00 | - | 10 |
| Cámara de aire ligeramente ventilada vertical | - | - | - | 0,09 | - |
| EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,038 | 30,00 | 1000,00 | - | 20 |
| Mortero de cemento o cal para albañilería y | 0,700 | 1350,00 | 1000,00 | - | 10 |
| BH convencional espesor 150 mm | 0,789 | 1040,00 | 1000,00 | - | 10 |
| Teja de arcilla cocida | 1,000 | 2000,00 | 800,00 | - | 30 |
| Betún fieltro o lámina | 0,230 | 1100,00 | 1000,00 | - | 50000 |
| Conífera de peso medio 435 < d < 520 | 0,150 | 480,00 | 1600,00 | - | 20 |
| Uretano o poliuretano [rotura de puente térm] | 0,210 | 1300,00 | 1800,00 | - | 60 |

| | | |
|--|------------------------------|-----------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

| Nombre | K (W/mK) | e (kg/m ³) | Cp (J/kgK) | R (m ² K/W) | Z (m ² sPa/kg) |
|----------------------------------|-------------|---------------------------|---------------|---------------------------|------------------------------|
| Azulejo cerámico | 1,300 | 2300,00 | 840,00 | - | 1e+30 |
| Hormigón armado 2300 < d < 2500 | 2,300 | 2400,00 | 1000,00 | - | 80 |
| MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] | 0,041 | 40,00 | 1000,00 | - | 1 |
| Asperón [1300 < d < 1900] | 0,900 | 1600,00 | 1000,00 | - | 20 |
| Tierra vegetal [d < 2050] | 0,520 | 2000,00 | 1840,00 | - | 1 |
| Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,570 | 1150,00 | 1000,00 | - | 6 |

2.2.2 Composición de Cerramientos

| Nombre | U (W/m ² K) | Material | Espesor (m) |
|----------------------|---------------------------|---|----------------|
| Fachada principal | 0,30 | Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm] | 0,100 |
| | | Cámara de aire ligeramente ventilada vertical 5 c | 0,000 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,100 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,010 |
| Cerramiento interior | 0,93 | Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,010 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm] | 0,100 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,010 |
| medianera | 0,32 | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |

| | | |
|--|------------------------------|-----------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

| Nombre | U (W/m ² K) | Material | Espesor (m) |
|---------------|---------------------------|--|----------------|
| medianera | 0,32 | BH convencional espesor 150 mm | 0,150 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,100 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,010 |
| cubierta | 0,55 | Teja de arcilla cocida | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Betún fieltro o lámina | 0,020 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,050 |
| | | Conífera de peso medio 435 < d < 520 | 0,020 |
| | | Uretano o poliuretano [rotura de puente térmico] | 0,005 |
| suelo | 0,52 | Azulejo cerámico | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,010 |
| | | Hormigón armado 2300 < d < 2500 | 0,150 |
| | | MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] | 0,050 |
| | | Asperón [1300 < d < 1900] | 0,200 |
| | | Tierra vegetal [d < 2050] | 0,100 |
| Cerramiento | 0,94 | Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,010 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,010 |
| | | Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm] | 0,100 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| | | Azulejo cerámico | 0,020 |
| Cerramiento_1 | 0,94 | Azulejo cerámico | 0,010 |

| | | |
|--|------------------------------|-----------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

| Nombre | U (W/m ² K) | Material | Espesor (m) |
|---------------|---------------------------|--|----------------|
| Cerramiento_1 | 0,94 | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Tabicón de LH triple [100 mm < E < 110 mm] | 0,100 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,020 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso aislante 600 < d < 900 | 0,010 |
| medianera_1 | 0,32 | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | BH convencional espesor 150 mm | 0,150 |
| | | EPS Poliestireno Expandido [0.037 W/[mK]] | 0,100 |
| | | Mortero de cemento o cal para albañilería y para | 0,020 |
| | | Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 | 0,010 |
| | | Azulejo cerámico | 0,010 |

2.3. Cerramientos semitransparentes

2.3.1 Vidrios

| Nombre | U (W/m ² K) | Factor solar |
|----------------|---------------------------|--------------|
| VER_DB1_4-12-4 | 2,00 | 0,65 |
| VER_DC_4-12-4 | 2,80 | 0,52 |

2.3.2 Marcos

| Nombre | U (W/m ² K) |
|-----------------------------------|---------------------------|
| opaco MDF | 2,20 |
| VER_Madera de densidad media alta | 2,20 |

| | | |
|--|-------------------------------------|------------------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

| Nombre | U (W/m ² K) |
|---------------------|---------------------------|
| HOR_PVC dos cámaras | 2,40 |

2.3.3 Huecos

| | |
|---|-----------------------------------|
| Nombre | Ventana principal |
| Acrilamiento | VER_DC_4-12-4 |
| Marco | VER_Madera de densidad media alta |
| % Hueco | 20,00 |
| Permeabilidad m³/hm² a 100Pa | 50,00 |
| U (W/m²K) | 2,68 |
| Factor solar | 0,43 |

| | |
|---|------------------|
| Nombre | Puerta principal |
| Acrilamiento | VER_DC_4-12-4 |
| Marco | opaco MDF |
| % Hueco | 90,00 |
| Permeabilidad m³/hm² a 100Pa | 60,00 |
| U (W/m²K) | 2,26 |
| Factor solar | 0,06 |

| | |
|---------------------|-----------------|
| Nombre | puerta interior |
| Acrilamiento | VER_DC_4-12-4 |
| Marco | opaco MDF |
| % Hueco | 90,00 |

| | | |
|--|-------------------------------------|------------------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

| | |
|-------------------------------------|-------|
| Permeabilidad m³/hm² a 100Pa | 60,00 |
| U (W/m²K) | 2,26 |
| Factor solar | 0,06 |

| | |
|-------------------------------------|---------------------|
| Nombre | lucernario |
| Acristalamiento | VER_DB1_4-12-4 |
| Marco | HOR_PVC dos cámaras |
| % Hueco | 20,00 |
| Permeabilidad m³/hm² a 100Pa | 50,00 |
| U (W/m²K) | 2,08 |
| Factor solar | 0,53 |

| | | |
|--|------------------------------|-----------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

3. Sistemas

| | |
|--|-------------------------------------|
| Nombre | sistema_ACS |
| Tipo | agua caliente sanitaria |
| Nombre Equipo | EQ_Caldera-ACS-Convencional-Defecto |
| Tipo Equipo | Caldera eléctrica o de combustible |
| Nombre demanda ACS | Demanda_ACS |
| Nombre equipo acumulador | Equipo_acumulacion |
| Porcentaje abastecido con energia solar | 85,00 |
| Temperatura impulsión (°C) | 60,0 |
| Multiplicador | 1 |

4. Equipos

| | |
|--|--------------------------|
| Nombre | Equipo_acumulacion |
| Tipo | Acumulador Agua Caliente |
| Volumen del depósito (L) | 50,00 |
| Coeficiente de pérdidas global del depósito, UA | 1,00 |
| Temperatura de consigna baja del depósito (°C) | 50,00 |
| Temperatura de consigna alta del depósito (°C) | 70,00 |

| | |
|---------------|-------------------------------------|
| Nombre | EQ_Caldera-ACS-Convencional-Defecto |
|---------------|-------------------------------------|

| | | |
|--|------------------------------|-----------|
|  Calificación Energética | Proyecto casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad |

| | |
|---|--|
| Tipo | Caldera eléctrica o de combustible |
| Capacidad nominal (kW) | 10,00 |
| Rendimiento nominal | 0,90 |
| Capacidad en función de la temperatura de impulsión | cap_T-EQ_Caldera-unidad |
| Rendimiento nominal en función de la temperatura de impulsión | ren_T-EQ_Caldera-unidad |
| Rendimiento en función de la carga parcial en términos de potencia | ren_FCP_Potencia-EQ_Caldera-unidad |
| Rendimiento en función de la carga parcial en términos de tiempo | ren_FCP_Tiempo-EQ_Caldera-ACS-Conventional-Defecto |
| Tipo energía | Gas Natural |

5. Unidades terminales

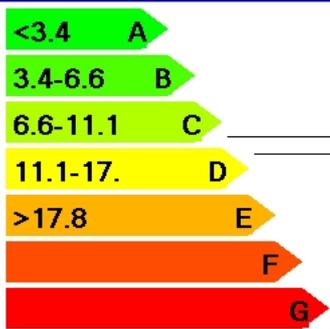
6. Justificación

6.1. Contribución solar

| Nombre | Contribución Solar | Contribución Solar Mínima HE-4 |
|-------------|--------------------|--------------------------------|
| sistema_ACS | 85,0 | 70,0 |

| | | | |
|---|-----------|------------------|--|
|  Calificación Energética | Proyecto | casa replanteada | |
| | Localidad | Comunidad | |

7. Resultados

| Certificación Eneréctica de Edificios Indicador kaCO2/m ² | Edificio Objeto | | | Edificio Referencia | | |
|--|-----------------|----------------------|-----------|---------------------|----------------------|-----------|
| | Clase | kWh/m ² | kWh/año | Clase | kWh/m ² | kWh/año |
|  | | | | | | |
| | | | 10,6 C | 12,2 D | | |
| Demanda calefacción | B | 4,7 | 225,6 | C | 7,9 | 379,2 |
| Demanda refrigeración | C | 11,7 | 561,6 | C | 12,0 | 576,0 |
| | Clase | kgCO2/m ² | kgCO2/año | Clase | kgCO2/m ² | kgCO2/año |
| Emisiones CO2 calefacción | C | 1,8 | 86,4 | C | 3,0 | 144,0 |
| Emisiones CO2 refrigeración | D | 6,7 | 321,6 | D | 7,0 | 336,0 |
| Emisiones CO2 ACS | C | 2,1 | 100,8 | D | 2,2 | 105,6 |
| Emisiones CO2 totales | | | 508,8 | | | 585,6 |

Datos para la etiqueta de eficiencia energética

| | Edificio Objeto | | Edificio Referencia | |
|--------------------------------|--------------------|--------|---------------------|--------|
| | por metro cuadrado | anual | por metro cuadrado | anual |
| Consumo energía final (kWh) | 23,6 | 1132,0 | 26,3 | 1264,7 |
| Consumo energía primaria (kWh) | 40,3 | 1934,2 | 44,1 | 2119,0 |

| | | |
|--|--------------------|-----------|
|  Calificación Energética | Proyecto | |
| | casa replanteadada | |
| | Localidad | Comunidad |

| | | | | |
|------------------------------|------|-------|------|-------|
| Emisiones CO2 (kgCO2) | 10,6 | 508,8 | 12,2 | 585,6 |
|------------------------------|------|-------|------|-------|