

ENERGY EFFICIENCY AS A STRATEGIC PLANNING TOOL IN A HOUSING PROJECT TYPE

Castelán Peña, José Arturo¹; Aparicio Fernández, Carola¹; Vivancos Bono, José Luis²

¹ Universitat Politècnica de València, ² Universitat Politècnica de València – CIBER de Bioingeniería, Biomateriales y Nanomedicina (CIBER-BBN) –Valencia

Energy efficiency in a project to build housing type is an essential tool in strategic planning, as this creates an opportunity to reduce energy consumption, design houses with low energy demand and promote more sustainable construction.

In this paper an analysis of a housing project type in Mexico, considering different climate zones, oriented to the exploration and study of the behavior of such housing under different operating conditions is made. The analysis was performed using the Trnsys software, a transient simulation software used for design and optimization of energy systems and thermal simulation of buildings .

Results of the performance of housing project type in different structural design for different climatic zones are presented, exploring its utility in implementing strategic planning to design, construction, use and maintenance of homes with energy efficiency in relation to hygrothermal comfort.

Keywords: *Housing type; Energy demand; Climate zone; Energy consumption; Hygrothermal comfort.*

LA EFICIENCIA ENERGÉTICA COMO UNA HERRAMIENTA DE PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA EN UN PROYECTO DE VIVIENDA TIPO

La eficiencia energética dentro de un proyecto de construcción de viviendas tipo es una herramienta indispensable en la planificación estratégica, ya que esto plantea la oportunidad de reducir el consumo energético, diseñar viviendas con baja demanda energética y fomentar una construcción más sostenible.

En este trabajo se hace un análisis de una vivienda tipo en México, considerando diferentes zonas climáticas, orientado a la exploración y estudio del comportamiento de dichas viviendas sometido a diferentes condiciones de funcionamiento. El análisis se ha realizado mediante el programa Trnsys, un software de simulación en régimen transitorio que se utiliza para el diseño y optimización de sistemas energéticos y simulación térmica de edificios.

Se presentan los resultados del comportamiento de dicha vivienda en diferentes condiciones de diseño estructural para diferentes zonas climáticas, explorando su utilidad de aplicación dentro de la planificación estratégica hacia el diseño, construcción, vida útil y mantenimiento de viviendas con eficiencia energética en relación al confort higrotérmico.

Palabras clave: *Viviendas tipo; Demanda energética; Zona climática; Consumo energético; Confort higrotérmico*

1. Introducción

En los últimos años en México se han desarrollado algunas estrategias que se han utilizado para reducir el impacto de las construcciones en el clima, así como para disminuir el consumo de la energía dentro de estas. Innovaciones tecnológicas y sociales juegan un papel primordial en el logro de la construcción de un hábitat sostenible y en la búsqueda de respuestas (Acosta y Cilento Sarli, 2005). Una de las estrategias más estudiada tanto a nivel nacional como internacional es la orientación de las viviendas. Investigadores como Solís (2001), Krishan (1996), la Comisión Nacional de Fomento a la Vivienda (CONAFOVI, 2006), y Morillón (2011) en México han coincidido en la importancia de una adecuada orientación para la vivienda.

Conforme avanza la tecnología, van surgiendo nuevas herramientas y nuevos materiales que permiten diseñar y construir una vivienda más óptima con una baja demanda energética. Conceptos aislados como, orientación al Norte, sombreados, vidrios de alta tecnología (Giménez Molina y Lauret Aguirregabiria, 2008), ya no son suficientes para obtener una vivienda eficiente. Herramientas de simulación en transitorio utilizadas adecuadamente en la planificación estratégica de un proyecto de construcción de viviendas tipo nos dará como resultado el óptimo aprovechamiento de los recursos.

1.1. Objetivo

El objetivo de esta comunicación ha sido conocer el comportamiento energético de cada vivienda tipo propuesta, en diferentes zonas climáticas de México. Así mismo se han planteado una serie de objetivos particulares:

- Identificar la orientación con menor demanda energética, para cada vivienda tipo en las diferentes zonas climáticas.
- Analizar el efecto de la geometría en una vivienda tipo en las diferentes zonas climáticas propuestas.
- Analizar el efecto del acristalamiento para una vivienda tipo en cada zona climática.
- Analizar el efecto de la envolvente óptima propuesta con menor demanda energética, para cada vivienda tipo en las diferentes zonas climáticas.
- Identificar el posible ahorro económico para cada uno de los casos analizados.

En este trabajo se analizan dos viviendas tipo en 4 diferentes zonas climáticas de México; al norte del País Chihuahua, al centro del país el Distrito Federal y al sur San Cristóbal y Tapachula en Chiapas. Estas dos últimas ciudades aunque pertenecen al mismo estado tienen un clima diferente, de ahí el interés por el análisis. Para esto se utiliza el TRNSYS 17 una herramienta de simulación extremadamente flexible con un entorno basado en un software que se usa para simular el comportamiento de sistemas en régimen transitorios. (TRNSYS 17, 2014) Este software ha permitido calcular la demanda de energía de la vivienda tipo en un periodo de tiempo en distintas condiciones.

2. Metodología

2.1. Identificación de la vivienda tipo

El análisis se ha realizado sobre dos viviendas unifamiliares aisladas, con el objetivo de conocer el comportamiento de cada una de ellas en un escenario extremo. Se trata de dos viviendas compactas con una superficie construida de 36 m² como mínimo (Infonavit, 2009). Para el análisis y desarrollo del trabajo se aplican los siguientes pasos:

- Con el Type building project multi zone del simulador TRNSYS se diseña una vivienda en 3D donde se introduce la geometría de la vivienda a estudiar.
- Se establece cada uno de los parámetros de cálculo considerando en el estudio la geometría, la orientación, la envolvente térmica, la zona acristalada y los sistemas previstos de climatización que serán los indicadores de la cantidad de demanda energética.
- Se definen los datos meteorológicos de diferentes climas a estudiar.
- Se hacen simulaciones con distintas propuestas constructivas en las que se emplean, distintos materiales.

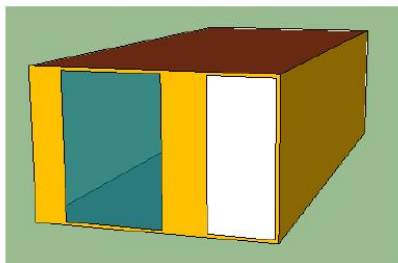
2.2. Geometría de la vivienda

Se plantean dos geometrías distintas pero con igual superficie construida para ver la incidencia de la forma y la compacidad sobre los resultados. En la tabla 1 se resumen las dimensiones de las viviendas consideradas. El volumen de aire interior varía levemente para cada vivienda ya que se ha descontado el espesor del muro de fachada. La envolvente exterior de fachada varía según la forma y eso repercute en la superficie útil de la vivienda. Es decir, la compacidad de las viviendas es distinta según su forma, variando la superficie de cerramientos expuesta al exterior (Compacidad = volumen / superficie de la envolvente (m)).

Tabla 1. Tipologías de viviendas consideradas en el cálculo

| Vivienda Tipo | Dimensión en planta (m) | Sup. Construida (m ²) | Sup. Útil (m ²) | Altura libre (m) | Volumen aire climatizado (m ³) |
|---------------|-------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|------------------|--|
| A | 4 x 9 | 36 | 32,16 | 2,3 | 74,04 |
| B | 6 x 6 | 36 | 32,49 | 2,3 | 74,73 |

Figura 1. Vivienda tipo analizada



*SI Soluciones Inmobiliarias

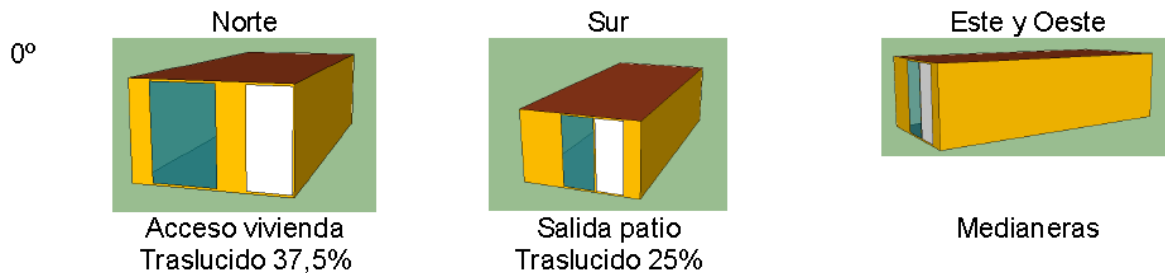
2.3. Orientaciones

Se ha considerado la vivienda Tipo A y Tipo B con las siguientes orientaciones (figura 2):

- Fachada norte. Acceso a la vivienda.
- Fachada sur. Salida a jardín o patio de usos múltiples en la parte trasera.
- Fachada este.
- Fachada oeste.

A partir de esta orientación se irá girando la vivienda en sentido horario y con intervalos de 45°, siendo las orientaciones consideradas en la simulación.

Figura 2. Vivienda tipo analizada



2.4. Zonas Climáticas

También se considera de interés el análisis de distintas zonas climáticas dentro de la República Mexicana ya que por ser un país extenso engloba diversas climatologías que afectarán al confort en el interior de las viviendas. Así, para el estudio de la vivienda se han considerado 4 zonas climáticas situadas en 3 estados distintos. En la tabla 2 se muestran las localidades consideradas, así como los datos promedio de temperatura y humedad relativa. La base de datos empleada es la de Meteonorm que tiene datos meteorológicos de temperatura exterior, humedad relativa, radiación solar y viento cada 10 minutos a lo largo de un periodo anual. Estos datos son los que utiliza el programa para calcular el comportamiento térmico de la vivienda en régimen transitorio.

Tabla 2. Resumen de temperaturas de las zonas climáticas

| Estado | Ciudad | Clima | Temp. Media Anual °C | Temp. Max °C | Temp. Min °C | %HR |
|------------------|----------------------------------|---------------------|----------------------|--------------|--------------|-----|
| Chihuahua | Chihuahua (chi) | Seco y semicálido | 18,2 | 38 | -7 | 45 |
| Distrito federal | Distrito federal (df) | Templado y lluvioso | 16,6 | 28 | -1 | 62 |
| Chiapas | San cristobal de las casas (scr) | Templado y húmedo | 15,1 | 22 | 8 | 74 |
| Chiapas | Tapachula (tap) | Cálido y subhúmedo | 25,4 | 40 | 8 | 40 |

2.4.1 Datos meteorológicos.

Quando creamos un nuevo proyecto con el software TRNSYS, en la configuración del modelo el "weather data" utilizado para la introducción de datos climatológicos es el Type109, que hace la lectura de ficheros tm2. Este Type permite introducir los datos de las distintas zonas climáticas a analizar. Esto nos permite analizar el comportamiento de un mismo modelo de edificio en distintas zonas climáticas. Como ya se ha indicado, el trabajar con programas de régimen transitorio permite obtener resultados más reales, ya que el comportamiento de la vivienda varía continuamente según las condiciones ambientales exteriores.

2.5. Parámetros de cálculo considerados

Los parámetros considerados en las viviendas propuestas en el trabajo son los siguientes:

- Infiltraciones de aire no controladas que se producen a través de la envolvente del edificio. El valor de las infiltraciones es difícil de determinar sin realizar un ensayo en el sitio, pero se fija un valor de 0,2 h-1, siendo este valor el habitual en viviendas con

baja demanda energética. El valor de la infiltración es muy reducida, pero se considera así ya que no disponemos de datos reales para justificarlo.

- Temperatura de confort interior oscila entre 19°C y 26°C.
- Humedad relativa interior del 55%.
- Envoltente térmica:
 - Ventanas. En el caso inicial se consideran unas ventanas resueltas con vidrio simple, claro de 6 mm y una carpintería metálica sin rotura de puente térmico. Esta es la solución constructiva que podemos encontrar actualmente de forma habitual. Como mejora se propone un acristalamiento doble con vidrio doble, claro, del tipo 6/8/6. En los dos tipos de viviendas calculadas se considera el mismo porcentaje de huecos; siendo del 37,5% en la fachada con el acceso principal y del 25% sobre la fachada que da al patio trasero.

Tabla 34. Resumen de temperaturas de las zonas climáticas

| Ventanas | Material | Espesor (mm) | g^{\perp} | U (W/m ² K) | ϵ |
|----------------|---------------|--------------|-------------|------------------------|------------|
| Estrategia 01. | Vidrio simple | 6 | 0,83 | 5,7 | 0,89 |
| Estrategia 02. | Vidrio doble | 6-8-6 | 0,76 | 3 | 0,89 |

- Fachadas. Se considera el cerramiento vertical en contacto con el exterior. En el caso inicial se ha considerado una solución constructiva convencional en México. A partir de esta tipología se plantean otra mejor aisladas consiguiendo disminuir la transmitancia térmica del cerramiento y ver la influencia que tiene sobre el resultado obtenido. La Tabla 4 muestra las capas ordenadas del interior al exterior.

Tabla 4. Fachada. Estrategias en fachadas utilizadas en la simulación

| Fachada | Material | Espesor (m) | ρ (kg/m ³) | λ (W/mK) | R (m ² K/W) | R _t | U (W/m ² K) | C _p (J/kg K) |
|------------------------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| Estrategia 01. Fachada convenc. | Enlucido yeso | 0,015 | 1200 | 0,57 | 0,03 | | | 1000 |
| | Fábrica LP | 0,14 | 1020 | 0,67 | 0,21 | | | 1000 |
| | Enfoscado cemento | 0,015 | 1350 | 0,7 | 0,02 | 0,26 | 3,90 | 1000 |
| Estrategia 02 | Enlucido yeso | 0,015 | 1200 | 0,57 | 0,03 | | | 1000 |
| | Fábrica LP | 0,14 | 1020 | 0,67 | 0,21 | | | 1000 |
| | Aislam. term | 0,015 | 100 | 0,07 | 0,21 | 0,45 | 2,22 | 1000 |
| Estrategia 03 | Aislam. term | 0,015 | 100 | 0,07 | 0,21 | | | 1000 |
| | Fábrica LP | 0,14 | 1020 | 0,67 | 0,21 | | | 1000 |
| | Aislam. term | 0,015 | 100 | 0,07 | 0,21 | 0,60 | 1,57 | 1000 |

- Suelo. El cerramiento inferior se resuelve con una losa armada en contacto con el terreno. Los datos utilizados introducidos en este cerramiento se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Suelo. Losa de hormigón armado

| Suelo | Material | Espesor (m) | ρ (kg/m ³) | λ (W/mK) | R (m ² K/W) | R _t | U (W/m ² K) | C _p (J/kg K) |
|----------------|-----------------|-------------|-----------------------------|------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| ESTRATEGIA 01. | Hormigón armado | 0,1 | 2500 | 2,5 | 0,04 | 0,04 | 25,00 | 1000 |

- Cubierta. Cerramiento horizontal superior en contacto con el ambiente exterior. Los datos de los materiales empleados para la configuración más habitual empleada en México se presentan en la tabla 6. Las capas se ordenan del exterior al interior.

| Cubierta | Material | Espesor (m) | ρ (kg/m ³) | λ (W/mK) | R (m ² K/W) | R _t | U (W/m ² K) | C _p (J/kg K) |
|----------------|-------------------|-------------|-----------------------------|------------------|------------------------|----------------|------------------------|-------------------------|
| Estrategia 01. | Lámina bituminosa | 0,015 | 1100 | 0,23 | 0,07 | | | 1000 |
| | Fdo. Unid EPS | 0,25 | 710 | 0,17 | 1,47 | | | 1000 |
| | Enlucido yeso | 0,015 | 1200 | 0,57 | 0,03 | 1,56 | 0,64 | 1000 |

Para el cálculo del coste energético se ha tenido en cuenta el sistema tarifario residencial en México en Pesos Mexicanos (CFE, 2014) el cual se basa en un sistema de 3 escalas de consumo, la primera para consumos mensuales inferiores a 75 kWh (0,807 \$/kWh), otro coste para los siguientes 65 kWh (0,978 \$/kWh) y por último para aquellos superiores a 140 kWh (2,862 \$/kWh).

2.6. Fase de simulación

Una vez introducidos todos los datos en el programa podemos empezar a obtener resultados y a variar las estrategias para comprobar que propuestas nos reducen la demanda energética de forma más eficaz. Con el programa de simulación en régimen transitorio obtendremos la demanda de energía necesaria en cada vivienda para conseguir unos parámetros de confort previamente establecidos. La demanda se calcula kWh/m² año.

El caso inicial de estudio se inicia con las dos propuestas de vivienda tipo tradicionales con el acceso principal orientado a Norte. De todas las propuestas realizadas obtendremos resultados para cuatro zonas climáticas diferentes en México. Posteriormente se irá girando la vivienda 45°, cambiando así la orientación y permitiendo optimizar la orientación de las viviendas analizadas. También se modificará la envolvente térmica del edificio considerando los valores del apartado anterior. Esto permitirá determinar la mejor solución constructiva para diferentes zonas climáticas. Posteriormente se compararán todos los resultados obtenidos para poder decidir sobre qué estrategia de construcción es la óptima dependiendo la zona y el modelo de vivienda analizada. Esto permitirá realizar de forma más eficiente el desarrollo de los proyectos arquitectónicos.

3. Casos de estudio y resultados

En este trabajo se irán combinando todas las propuestas anteriormente comentadas sobre la zona climática, la forma del edificio y la envolvente térmica. Para poder analizar los resultados de cada propuesta de forma separada, se irán aplicando distintas estrategias de forma progresiva al caso inicial, que lo denominamos Caso 0. A continuación se ordenan los casos propuestos para el análisis:

- Caso 0. Vivienda tipo. Estado inicial propuesto. Solución constructiva convencional (Fachada. Estrategia 01).
- Caso 1. Influencia de la forma en la vivienda tipo. Vivienda tipo A y B. La vivienda considerada es la del Caso 0.
- Caso 2. Influencia de la orientación para cada tipo de vivienda. La vivienda considerada es la del Caso 0.
- Caso 3. Influencia del tipo de acristalamiento. Vidrio sencillo y doble.

- Caso 4. Influencia añadiendo un aislante térmico colocado por el exterior del cerramiento, considerando vidrio doble en las ventanas. (Fachada. Estrategia 02). Se analiza a partir del caso 3.
- Caso 5. Influencia de un aislamiento térmico de la fachada colocado al exterior e interior del ladrillo (Fachada. Estrategia 03).

En la figura 3 se resumen los resultados obtenidos para los dos tipos de viviendas consideradas (Tipo A y Tipo B) durante un periodo anual. Estos son los datos de referencia y corresponde con el Caso 1, que es la vivienda tipo de partida. Con estos datos de partida se procede a analizar los resultados de Demanda Energética. Con esta aclaración, a continuación se resumen los resultados de demanda energética para calentar y refrigerar la vivienda, así como la demanda total anual las distintas zonas climáticas de México consideradas.

3.1. Caso 1. La influencia de la forma en la vivienda tipo

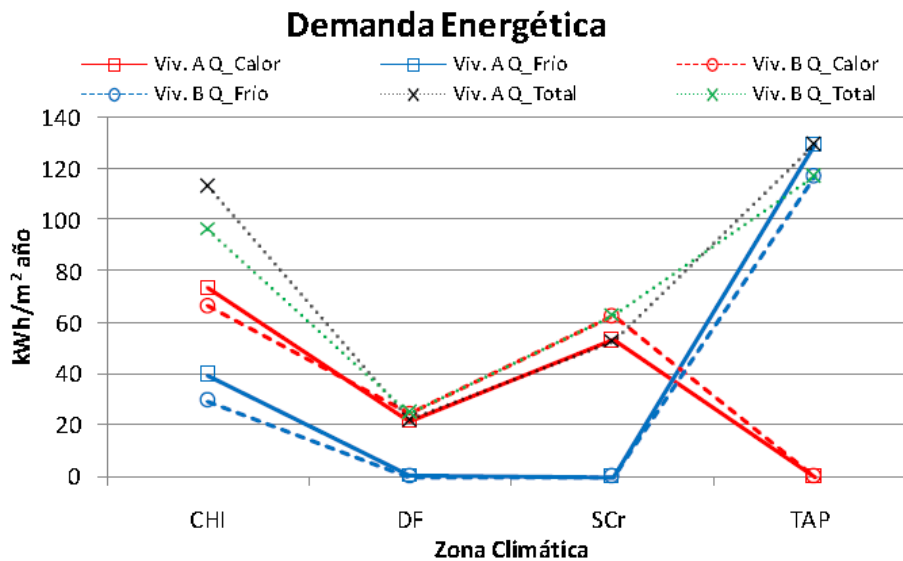
Para conocer el comportamiento de la vivienda, analizaremos la demanda energética tanto para refrigerar como para calentar en cada zona climática, estableciendo así una base de referencia que consideran los datos de un proyecto original como los que actualmente se construyen en México. Los parámetros de cálculo de la envolvente térmica son los siguientes:

- Acristalamiento simple. Ver propuestas en tabla 3.
- Envolvente, se consideran los datos propuestos en la tabla 4. Empezamos analizando con la estrategia 0.
- Suelo. Se utilizaron los datos que se proponen en la tabla 5.
- Cubierta. Se utilizan los datos que se proponen en la tabla 6.
- Los valores de los espesores, composición de las paredes, Resistencia Térmica total (R_t) y Transmitancia Térmica total (U) de los cerramientos considerandos, se establecen de acuerdo con los datos de proyecto original en la tabla 3, considerando este proyecto como punto de partida para comparar resultados.

Como podemos ver en la figura 3 la demanda energética varía para cada tipo de vivienda Para el caso de Chihuahua la vivienda Tipo B es 14,67 % más eficiente que la vivienda Tipo A. En el caso del Distrito Federal la vivienda Tipo A es 10,02% más eficiente en comparación con la vivienda Tipo B. La vivienda Tipo A tiene también un mejor desempeño en San Cristóbal con una eficiencia del 15,59%, sobre la vivienda tipo B. En cambio en Tapachula una ciudad del mismo estado que San Cristóbal de las casas en Chiapas pero con clima diferente al de San Cristóbal la vivienda Tipo B fue más eficiente en un 9,61%.

En la figura 3 se aprecian cómo la zona climática influye sobre la demanda energética. En este primer resultado se aprecia que en Chihuahua (CHI) tenemos demanda de refrigeración y de calefacción a lo largo del año, siendo mayor la demanda de calor que la de refrigeración. En las siguientes zonas climáticas de Distrito Federal (DF) y San Cristóbal (SCr) la demanda de refrigeración se puede considerar nula o casi nula, por lo que las estrategias a proponer siempre estarán influenciadas por la demanda de calor en los periodos fríos. Por último está Tapachula (TAP) en la que sólo hay demanda de refrigeración a lo largo del año, por lo que las estrategias analizadas tendrán influencia sólo para la demanda de frío. Estas zonas climáticas permiten abarcar los climas más variados de México.

Figura 3. Comparativa Caso 01. Demanda energética total de calor y frío (kWh/m² año)



En la figura 3 se analiza la compacidad de las viviendas con el tipo constructivo utilizado habitualmente en ese país, el que hemos denominado caso 0. Aunque las diferencias no son muy grandes, se aprecia cómo en CHI y TAP la demanda total es menor con la Vivienda B y en DF y SCr la demanda total es menor con la Vivienda A. Se aprecia como aun teniendo la misma orientación la geometría de las casas es determinante para conseguir disminuir la demanda energética. Por esta razón, si utilizamos esta herramienta en el momento de diseñar una vivienda conseguiremos optimizar las viviendas. Por lo que no debe considerarse un solo modelo de vivienda para todos los estados o para el mismo estado si hay climas diferentes en este.

Desde el punto de vista económico se ha estimado que para las zonas climáticas de Chihuahua (CHI) y Tapachula (TAP) se podría obtener un ahorro mensual en la factura de la energía de alrededor de 100 \$ y con la ventaja que esta aproximación no supondría un coste de inversión significativo.

3.2. Caso 2. Comportamiento de la vivienda tipo con diferentes orientaciones

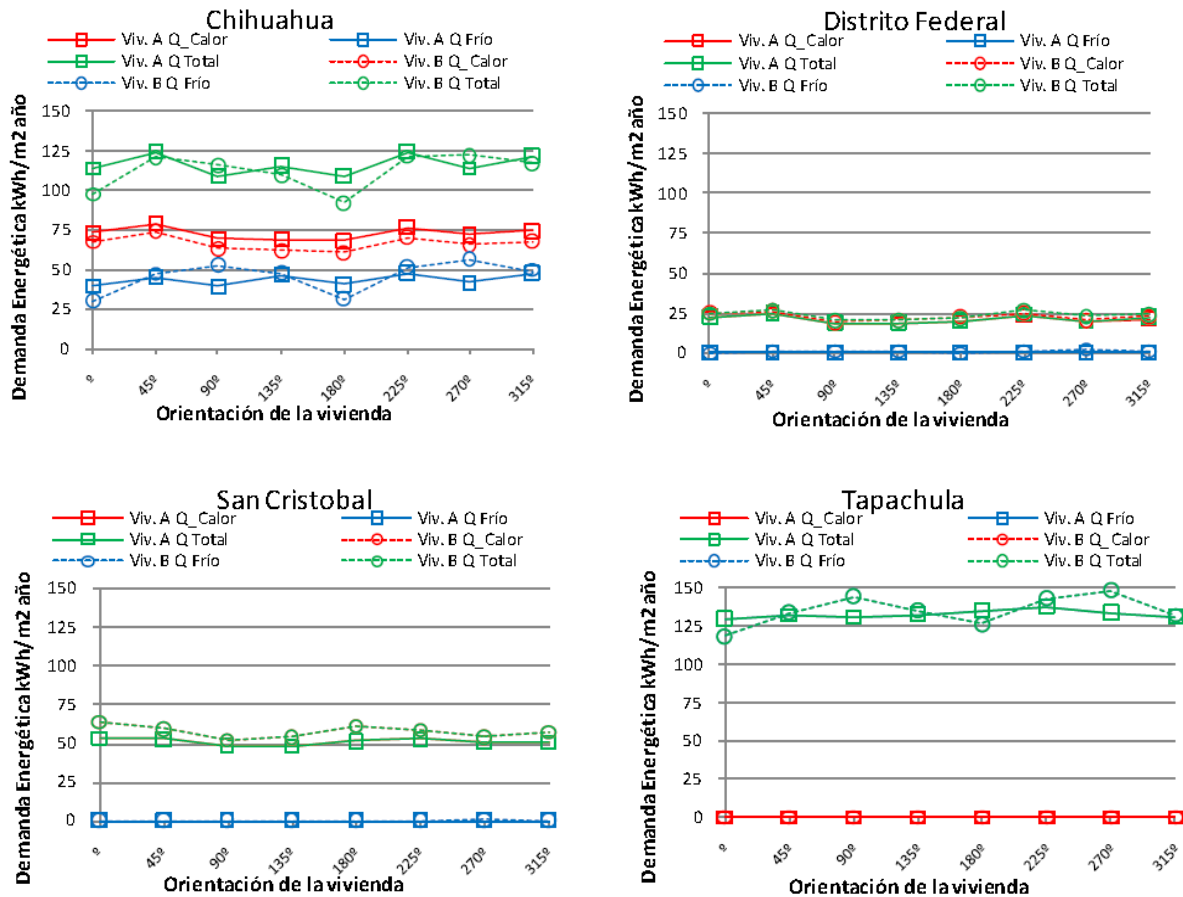
Con el objetivo de conocer la mejor orientación para cada una de las viviendas analizadas, se realizan una serie de simulaciones modificando la orientación, considerando 8 orientaciones distintas con una variación en la orientación de 45° y una rotación de 360°.

Para este análisis consideramos también las viviendas tipo A y B y el Caso 0 inicial (vidrio simple; fachada con estrategia 01, losa y cubierta). La figura 4 muestra los resultados de las viviendas tipo A y B en las distintas zonas climáticas. A continuación se resumen los datos de demanda energética anual obtenidos para las distintas zonas analizadas, considerando el caso de partida la vivienda tipo sin modificar. Recordar que la orientación 0 significa que el acceso principal con un 37,5% de acristalamiento está orientado a Norte y el acceso al jardín con un 25% de acristalamiento está orientado a Sur.

Analizando los datos obtenidos se observa que solo en una zona climática coincide la demanda energética global mínima con, la orientación de partida por lo que en la mayoría de las zonas la orientación es mejorable. La zona climática que más mejora con la orientación es la vivienda B en Chihuahua, en la que con un giro de 180° disminuimos la demanda de refrigeración y de calefacción. Esto es debido a que es la zona climática en la que más disminuye la demanda de calefacción y de refrigeración. También es la vivienda A en esta

zona climática la que más cambia con efecto de la orientación. Dando una reducción de demanda del 4,09% para la vivienda tipo A y del 5.81% para la vivienda tipo B.

Figura 4. Comparativa Caso 02. Demanda energética total de calefacción y refrigeración (kWh/m² año)



En Distrito Federal, la demanda refrigeración es prácticamente nula a lo largo del año, siendo la demanda de calefacción la que más nos hace variar el valor global. En esta zona climática obtenemos la mayor reducción cuando giramos la vivienda 90° en ambas propuestas de vivienda. Si analizamos la reducción en porcentaje sobre el global obtenemos una reducción del 15.66% para la vivienda tipo A y del 17.69% para la vivienda tipo B.

Para San Cristóbal se repiten los resultados de DF ya que tampoco tenemos demanda de refrigeración y las propuestas de mejora serán las mismas. Las mayores reducciones las obtenemos al girar la vivienda 135° y 90° para la tipo A y B respectivamente. La disminución global en porcentaje es del 9,8% en la vivienda tipo A y del 18,1% en la vivienda tipo B. Desde el punto de vista económico se ha estimado que para esta zona climática se podría obtener un ahorro mensual en la factura de la energía de alrededor de 90 \$ y con la ventaja que esta aproximación no supondría un coste de inversión significativo.

La última zona analizada es Tapachula, en la que no hay demanda de refrigeración. En esta zona la menor demanda la obtenemos con el caso de partida a 0°, por lo que la orientación se considera la óptima.

Así, según la zona climática se deberá optimizar la orientación. Deberíamos de rectificar las orientaciones para todas las zonas climáticas excepto para Tapachula.

En el resto de casos a analizar a partir de los casos más favorables, analizaremos los siguientes casos:

- CHI A_180° B_90°
- DF A_90° B_90°
- SCr A_135° B_90°
- TP` A 0° B_0°

3.3. Caso 3. Comportamiento de la vivienda tipo con acristalamiento doble

Se analiza la influencia del vidrio empleado para conocer el impacto real que tiene sobre el proyecto original. En este caso se modifica el vidrio original simple de 6 mm por un vidrio doble aislado. La demanda energética que se obtenga será comparada con la demanda original y se determinará el comportamiento de las ventanas y las ventajas de un buen acristalamiento.

Se consideran las siguientes características:

- Caso 1
- Caso 3. Vidrio doble 6-8-6.

Los valores de la envolvente se encuentran descritos en el apartado 2.5. Se ha estimado el coste de la sustitución del vidrio en 892,71 \$, lo que permitirá poder obtener un valor de amortización de la inversión.

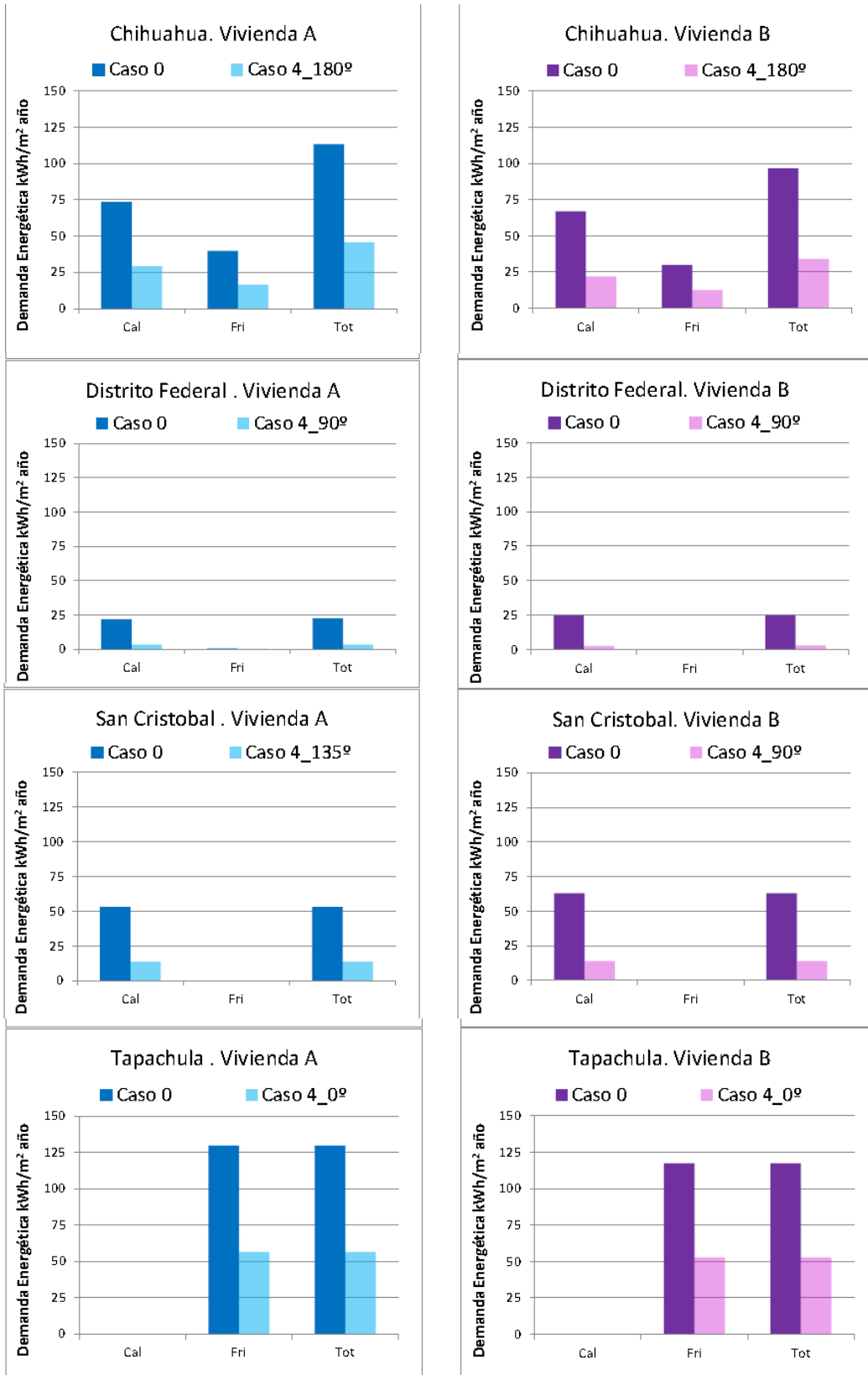
Se ha podido comprobar el comportamiento del acristalamiento para la vivienda tipo A y tipo B de Chihuahua y que existe un ahorro del 13,39% y 20,50% respectivamente con el acristalamiento 6-8-6 que se propone. En el caso del Distrito Federal la mejora es del 21,54% para la vivienda Tipo A y del 37,81% para la vivienda Tipo B. San Cristóbal tiene un ahorro del 17,94% y 28,60% para las viviendas Tipo A y B respectivamente, usando el acristalamiento doble. El acristalamiento doble 6/8/6 da a Tapachula un beneficio del 10,03% para la vivienda Tipo A y del 16,19% para la vivienda Tipo B. Por último la mejora del vidrio afecta a todas las zonas climáticas independientemente de la demanda que tenga. Reducir las pérdidas de calor y de frío a través de los vidrios siempre es beneficioso para la vivienda. Además en la mayoría de los casos se recupera la inversión en menos de un año, excepto en el caso del Distrito Federal que puede ser entre 3 y 4 años en función del tipo de vivienda.

3.4. Caso 4. Comportamiento de la vivienda tipo con aislamiento térmico por el exterior

El caso 4 a analizar es a partir del caso 3 pero con cambio de envolvente exterior aislada (estrategia 2). Los resultados de demanda energética, y permiten comparar con los casos anteriores. El acristalamiento doble, se considera la envolvente con aislante térmico por el exterior (estrategia 2), la losa y la cubierta son las propuestas en las tablas 3 y 4 respectivamente. Se ha estimado el coste del aislante en la fachada en 105,60 \$/m², lo que supondría una inversión de 5822,97 \$ y de 5337,23 \$ para la vivienda Tipo A y Tipo B respectivamente.

Los resultados que se presentan en la figura 5, muestran el comportamiento de la vivienda Tipo A y B con aislamiento en la fachada. En Chihuahua, con una mejora del 59,64%, y 64,84% respectivamente para los tipos de viviendas, observándose una importante reducción de demanda energética con relación a la vivienda tipo de referencia.

Figura 5. Comparativa Caso 04. Demanda energética total de calor y frío (kWh/m² año)



Para el Distrito Federal la reducción es del 85,81% y 87,76% para la vivienda Tipo A y 2 respectivamente. En este caso, para San Cristóbal de las casas la vivienda Tipo A tuvo comportamiento del 73,96% menor a la de la referencia y la vivienda Tipo B tuvo una mejora del 78,10% con respecto a la original. En Tapachula las demandas fueron menores en 56,48% y 55,05% para las viviendas Tipo A y B respectivamente

En este caso se considera un aislamiento térmico por el exterior, protegiendo así la fachada de las oscilaciones térmicas diarias. Este aislamiento exterior permite reducir el valor de transmitancia térmica del cerramiento casi a la mitad del valor inicial. Esto nos ofrece buenos resultados en todas las ciudades y climas, siendo el Distrito Federal y San Cristóbal los que mayor reducción obtienen, en cambio Chihuahua y Tapachula con un clima más extremo tienen una reducción de la demanda menor. No obstante, en todos los casos se ha conseguido una reducción de más del 50% con respecto a la vivienda original. Además en la mayoría de los casos se recupera la inversión en un año, excepto en el caso del Distrito Federal que puede ser entre 10 y 11 años en función del tipo de vivienda.

3.5. Caso 5. Comportamiento de la vivienda tipo con fachada aislada por el interior y por el exterior

El este caso se modifica la envolvente de la fachada aislándola a dos caras, así se revestirá tanto por el exterior y por el interior con un material aislante. Se ha estimado el coste del aislante en la fachada en 211,19 \$/m², lo que supondría una inversión de 10753,24 \$ y de 9781,76 \$ para la vivienda Tipo A y Tipo B respectivamente.

En el caso 5 consideramos el acristalamiento es el doble, la fachada con enfoscado aislamiento a dos caras, (estrategia 3), la losa y la cubierta son las propuestas en el apartado 2.5.

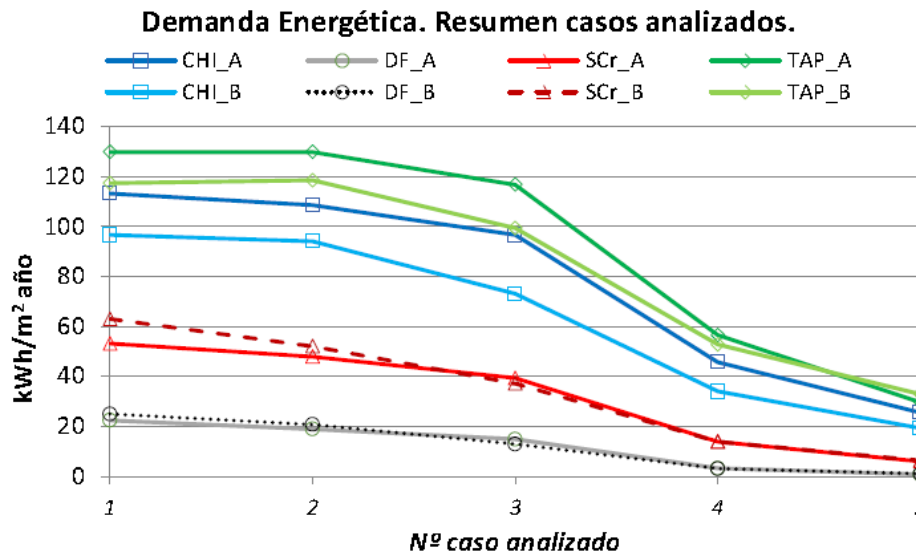
Los resultados obtenidos para la vivienda Tipo A y B ubicada en Chihuahua, para el caso 5. El resultado ha sido de 77,46% y 80,06% más eficiente que la casa Tipo A tomada como referencia. Para el Distrito Federal el resultado es 96,90% para la vivienda Tipo A. Y en el caso de San Cristóbal la reducción obtenida para la vivienda Tipo A es del 88,74% y del 89,90% para la vivienda B, comparando con el caso 1. Tapachula tiene una disminución del 77,13% y del 71,97% de para las viviendas Tipo A y B respectivamente. El aislamiento aplicado por el exterior y el interior reduce considerablemente la demanda energética de la vivienda, tanto para demanda de calefacción como de refrigeración. En todos los casos se ha conseguido reducir la demanda más del 70% con respecto al caso original planteado.

Desde el punto de vista económico hay que señalar que en la mayoría de los casos se recupera la inversión en dos años, lo que indica la viabilidad económica de las estrategias planteadas. Únicamente en los casos de San Cristóbal y Distrito Federal que puede ser entre 7 años para el mejor de San Cristóbal y de hasta 18 años para el Tipo A.

3.6. Resumen de resultados

Puesto que son muchos los resultados obtenidos, en la figura 6 se resumen todos los casos, pudiendo así observar las mejoras. En la figura 6 se aprecia cómo se disminuye la demanda energética global en cada zona climática y con cada una de las estrategias propuestas. La mayor disminución en la demanda se ha obtenido al aislar la fachada por el exterior. También se aprecia cómo se ha reducido la demanda con respecto al caso 1.

Figura 6. Resumen de resultados. Demanda energética total (calor + frío) (kWh/m² año)



4. Conclusiones

En este trabajo se muestran las ventajas de utilizar un programa en régimen transitorio que facilita cambiar las zonas climáticas (Aparicio-Fernández et al, 2013), esto nos permite el desarrollo de diferentes estrategias y nos permite optimizar la solución constructiva de acuerdo a la zona climática de análisis.

Dentro de los objetivos planteados la geometría del edificio y la compacidad han sido un aspecto a analizar y tras los resultados obtenidos queda demostrado que para todas las zonas climáticas, la geometría si influye en el resultado de la demanda y que ambas propuestas de vivienda tipo pueden dar diferentes demandas dependiendo la zona climática.

El acristalamiento ha sido otra de las estrategias estudiadas, donde se muestra una reducción de la demanda de hasta un 38% para el Distrito Federal y aunque el resultado está en combinación con la compacidad y la geometría, el reducir las pérdidas de calor y de frío a través de los vidrios es una estrategia que debe ser considerada en el diseño de la vivienda.

Dentro de las estrategias analizadas la mayor reducción de demanda energética se obtiene al aislar las fachadas, teniendo reducciones de hasta un 97%, en combinación con las otras estrategias propuestas, por lo que el cambio de la envolvente se puede considerar una estrategia clave en el diseño y la construcción de edificios que limitan el uso de los sistemas de acondicionamiento de espacios activos (Morrissey y Horne, 2011).

Aun habiendo demostrado que la envolvente, la forma y el acristalamiento del edificio son importantes para el desarrollo de la estrategia constructiva lo es también la orientación ya que esto nos permite mejorar hasta en un 18% dependiendo la zona climática, enfatizando que en San Cristóbal y Tapachula ambas ciudades de Chiapas el clima ha sido determinante para establecer la orientación de las viviendas.

Con estos resultados vemos que para San Cristóbal y Distrito Federal es sencillo obtener viviendas con demanda energética inferior a 15kWh/m² año, que es el estándar establecido para Passivhaus. (Rodríguez-Soria et al., 2014).

En el desarrollo económico de los países se tienen en cuenta aspectos económicos, por eso en este trabajo se han estimado los posibles ahorros de las distintas estrategias. En general

las estrategias se podrían amortizar en un tiempo breve. En concreto para los casos de Tapachula y Chihuahua la amortización de la inversión se podría llevar a cabo en menos de 2 años. Sin embargo para el caso de Distrito Federal se observaron mayores de tiempo de amortización aunque inferiores a la vida útil de la vivienda.

5. Referencias

- Acosta, D., & Cilento Sarli, A. (2005). Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo. *Tecnología y Construcción*, 21, n.1 15-30.
- Aparicio-Fernandez, C., Royo Pastor, R., Vivancos Bono, J. L. (2013) Meeting passivhaus standard through simulation in design phase. Application in the area of Madrid. 17th International Congress on Project Management and Engineering Logroño, 17-19th July 2013
- CFE, (2014). Comisión Federal de electricidad. http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp
- CONAFOVI, (2006). Uso eficiente de la energía en la vivienda comisión nacional de Fomento a la vivienda.
- Giménez Molina, C.; Lauret Aguirregabiria, B. (2008). Nuevo método de estudio para el análisis de la eficiencia energética de cerramientos de vidrios especiales en viviendas sostenibles. Ponencia en Congreso E.T.S. Arquitectura (UPM)
- Infonavit, (2009). Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores
- Krishan, A. (1996). The habitat of two deserts in India: hot-dry desert of Jaisalmer (Rajasthan) and the cold-dry high altitude mountainous desert of Leh (Ladakh). *Energy and Buildings*, 23, 3, 217-229.
- Morillón, D. (Diciembre 2011). Edificación sustentable en México: retos y oportunidades.
- Morrissey, J. & Horne, R.E. 2011 'Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings'. *Energy and Buildings* 43, 4, 915-924.
- Queipo, J. M. Navarro, M. Izquierdo, A. del Águila, D. Guinea, M. Villamor, S. Vega, J. Neila (2009) Proyecto de investigación INVISIO: industrialización de viviendas sostenibles. *Informes de la Construcción*, Vol 61, 513.
- Rodríguez-Soria B., Domínguez-Hernández J., Pérez-Bella J.M., del Coz-Díaz J.J. (2014) Review of international regulations governing the thermal insulation requirements of residential buildings and the harmonization of envelope energy loss. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Vol 34. 78-90
- Solís D. (2008). Efecto de la orientación de una vivienda económica en el confort y consumo eléctrico por climatización clima cálido seco. "Avances en energías renovables y medio Ambiente" Vol. 12, 2008.
- TRNSYS 17,2014 <http://www.trnsys.com/>