

# INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA



## EFICIENCIA ENERGÉTICA EDIFICACIONAL: ESTUDIO COMPARATIVO EN ENVOLVENTES DE EDIFICACIÓN DE USO RESIDENCIAL

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO ACADÉMICO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS  
ESPECIALIDAD EN INGENIERÍA ENERGÉTICA

POR:  
ROMAIN PIQUET

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY

CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente proyecto de tesis presentado por el Ing. Romain Piquet sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de:

**Maestro en Ciencias con especialidad en Ingeniería Energética**

Comité de Tesis:

---

Dr. Armando Llamas Terrés  
Asesor

---

M.C. Aníbal Morones  
Sinodal

---

M.C. Enrique Luis Cervantes Jaramillo  
Sinodal

Aprobado:

---

Dr. Joaquín Acevedo Mascarúa  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería

Mayo, 2008

# AGRADECIMIENTOS

Quisiera agradecer al Dr. Armando Llamas Terrés por su apoyo y su confianza a lo largo de este trabajo. Gracias por haber aceptado ser mi asesor. Siempre me dejó escoger el camino que quería seguir, invitándome a proponer ideas y a verificar mis propias hipótesis. También fue un placer ser su alumno, descubrir con usted el enorme trámite del ahorro de energía en un momento cuando necesitamos más que nunca seguir los principios de un desarrollo sobrio desde el punto de vista de los recursos naturales. Como ser humano, admiro su curiosidad, su anchura de miras, su paciencia y su generosidad, entre muchas otras cosas.

Después de haber agradecido a su director, me gustaría agradecer a todo el Centro de Estudios de Energía (CEE) del ITESM Campus Monterrey: Dr. Osvaldo Micheloud, Ing. Jesús Baez, Ing. Enrique Cervantes, Ing. Aníbal Morones, Ing. Pablo de Jarmy, Ing. Carlos Saucedo, Ing. Luis Quintero, Roció Salazar. Muchas gracias a todos. Fue un placer compartir con ustedes la vida cotidiana del CEE, participar a los numerosos eventos, asistir a unas conferencias y compartir algunos deliciosos pasteles.

Gracias a todos mis compañeros de la maestría en ingeniería energética del TEC, por la convivencia que tuvimos durante mi estancia en el Campus Monterrey. Un agradecimiento especial para mi compañero Humberto Ibarra quien siempre me ayudó cuando lo necesité. Gracias a Juan Pablo Castillo Chávez por su ayuda en la finalización de mi trabajo.

Gracias al Dr. Román Moreno director del centro de ahorro de energía del TEC campus Hermosillo por su ayuda a lo largo de mi trabajo, por sus numerosos consejos y respuestas, por su disponibilidad y paciencia, por haber siempre contestado mis dudas.

Gracias al Ing. Odón de Buen Rodríguez, creador y director de Energía, Tecnología y Educación, S.C., que escuchó mis preguntas y me enseñó su excelente trabajo como experto en el tema de ahorro de energía en cuestión edificacional en el contexto de México.

Quiero agradecer los miembros de la asociación PROMODUL que me recibieron y contestaron mis preguntas. Gracias a Didier Clément y Laurent Bénédict.

Gracias a Gautier Lahitte, Masayuki Iwata, Mikel Belausteguigoitia, Alexandre Bouthery, por el apoyo.

En especial, muchas gracias a Christophe Karlin, un gran amigo mío que tuvo un papel decisivo en el desarrollo de mis estudios de posgrado, enseñándome el

camino del trámite energético, contestándome cuando tenía dudas respecto a mis estudios universitarios, apoyándome cuando tomé la decisión de venir a México para empezar ese programa de graduación en ingeniería.

Quiero agradecer especialmente mis padres Martine y Jacques por su confianza desde los primeros días, por haber hecho todo para que pudiera estudiar en las mejores condiciones posibles. Gracias por haber dejado su hijo escoger el camino que quería, incluso cuando estaba pidiendo irse tan lejos tanto tiempo. Gracias por todo, los quiero.

Merci à tous, je ne vous oublierai jamais.

**Romain Piquet**

# Resumen

El objetivo de este trabajo consiste en identificar y poner en práctica algunas herramientas para llevar a cabo diagnósticos de eficiencia energética en cuestión de edificaciones.

Poniendo en evidencia el hecho de que el sector de las edificaciones tiene un peso considerable en el consumo mundial de energía primaria, se inicia el trabajo identificando el ahorro de energía en este sector como etapa decisiva en la lucha contra los cambios climáticos y la seguridad del suministro energético.

En ese sentido se presentan los objetivos impuestos por la Comisión Europea, y cómo Francia contestó a estos llevando a cabo una reforma energética de envergadura. Exponiendo las características del sector residencial, se identifican las consecuencias positivas de tal política energética y se estima en qué medida la renovación del parque residencial existente representa una oportunidad económica considerable para los profesionistas que desean responder a la demanda creciente de este nuevo mercado allá en Francia.

Después, se considera el contexto mexicano, demostrando que el consumo energético de los inmuebles residenciales y no residenciales, entendido en este caso como los espacios en los que la gente vive y desarrolla muchas de sus actividades cotidianas, es de los más importantes. Se pone en evidencia la subestimación del peso de esas instalaciones consumidoras de energía en las estadísticas energéticas nacionales y su impacto posiblemente negativo en cuestión de política energética.

Una vez identificado el peso real de las edificaciones en el consumo de electricidad del país, se presentan algunos fundamentos de la eficiencia energética edificacional en el contexto mexicano. Se mencionan los principios que permiten ahorrar energía a cada etapa del ciclo de vida de la edificación, las características de la envolvente de la edificación siendo uno de los parámetros más importantes.

Toda vez que los dos contextos nacionales han sido presentados, se desarrolla el estudio comparativo detallado de una casa a punto de ser construida en el municipio de Guadalupe, Nuevo León, con su equivalente virtual en término de espacio habitable en Francia, con el propósito de identificar y comparar los márgenes de maniobra de los usuarios que quisieran mejorar su vivienda para alcanzar las mismas condiciones de confort que en el país europeo.

# Contenido

RESUMEN .....	5
CONTENIDO .....	6
<b>CAPÍTULO 1 – INTRODUCCIÓN: EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS EDIFICACIONES A NIVEL MUNDIAL .....</b>	<b>9</b>
<b>I.1 - UN CRECIMIENTO ALARMANTE DE LA DEMANDA ENERGÉTICA .....</b>	<b>9</b>
<b>I.2 - FUENTE Y USO DE LA ENERGÍA PRIMARIA REQUERIDA POR LAS EDIFICACIONES .....</b>	<b>12</b>
<b>I.3 - ALCANZAR EFICIENCIA ENERGÉTICA EDIFICACIONAL.....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 2 – REFORMA ENERGÉTICA FRANCESA: EFICIENCIA DE LAS EDIFICACIONES.....</b>	<b>15</b>
<b>II.1 - INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>II.2 - EL GRENELLE ENVIRONNEMENT .....</b>	<b>16</b>
<b>II.2.a - El sector de la edificación en Francia: .....</b>	<b>18</b>
<b>II.2.b - Acción 1: edificaciones nuevas.....</b>	<b>21</b>
<b>II.2.c - Acción 2: edificaciones existentes.....</b>	<b>22</b>
<b>II.3 - EL SECTOR DE LAS CASAS INDIVIDUALES EXISTENTES .....</b>	<b>27</b>
<b>II.3.a - El Diagnóstico de Eficiencia Energética.....</b>	<b>28</b>
<b>II.3.b - La caja de herramientas PROMODUL .....</b>	<b>29</b>
<b>CAPÍTULO 3 – EL SECTOR DE EDIFICACIONES E INMUEBLES EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO MEXICANO .....</b>	<b>31</b>
<b>III.1 - ESTADÍSTICAS ECONÓMICAS - INEGI .....</b>	<b>31</b>
<b>III.2 - ESTADÍSTICAS ENERGÉTICAS - CFE .....</b>	<b>33</b>
<b>III.3 - EVALUACIÓN DE LA SUBESTIMACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DEL SECTOR DE SERVICIOS.....</b>	<b>38</b>
<b>III.3.a - Consumo eléctrico estimado de tiendas de autoservicio y departamentales..</b>	<b>38</b>
<b>III.3.a.i - Tiendas de autoservicio.....</b>	<b>39</b>
<b>III.3.a.ii - Tiendas departamentales.....</b>	<b>39</b>
<b>III.3.b - Consumo eléctrico estimado de los hoteles .....</b>	<b>39</b>
<b>III.3.c - Consumo eléctrico estimado de los restaurantes.....</b>	<b>39</b>
<b>III.3.d - Consumo eléctrico estimado de las escuelas .....</b>	<b>40</b>
<b>III.3.e - Consumo eléctrico estimado de los hospitales .....</b>	<b>40</b>
<b>III.3.f - Consumo eléctrico estimado de los edificios de oficinas.....</b>	<b>40</b>
<b>III.3.g - Primera aproximación sobre el consumo total del sector de edificaciones.....</b>	<b>41</b>
<b>III.4 - CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>

## **CAPÍTULO 4 – FUNDAMENTOS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EDIFICACIONAL EN EL CONTEXTO DE MÉXICO..... 44**

<b>IV. 1 - INTRODUCCIÓN: ARQUITECTURA Y ENERGÍA .....</b>	<b>44</b>
<b>IV.2 - CONTEXTO Y PROCESO EN MÉXICO .....</b>	<b>44</b>
<b>IV.3 - LAS CONDICIONES QUE DETERMINAN EL CONSUMO DE ENERGÍA DE UN INMUEBLE.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.a - Condiciones predeterminadas .....</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.a.i - La localización y la orientación.....</b>	<b>46</b>
<b>IV.3.a.ii - La envolvente y los materiales de construcción .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.3.b - Condiciones variables .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.4 - INTERACCIÓN DE LAS VARIABLES .....</b>	<b>47</b>
<b>IV.5 - EL CICLO DE VIDA DE LA EDIFICACIÓN .....</b>	<b>48</b>
<b>IV.6 - GANANCIA DE CALOR DE ENVOLVENTE DE EDIFICACIÓN.....</b>	<b>49</b>

## **CAPÍTULO 5 – ESTUDIO COMPARATIVO DE MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CASA INDIVIDUAL ENTRE FRANCIA Y MÉXICO ..... 52**

<b>V. 1 - INTRODUCCIÓN: OBJETIVO DEL TRABAJO .....</b>	<b>52</b>
<b>V.2 - EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA CASA ROSENDA (MÉXICO, NUEVO LEÓN) .....</b>	<b>53</b>
<b>V.2.a - El anteproyecto de NOM-020-ENER .....</b>	<b>53</b>
<b>V.2.b - Presentación del estudio energético de la casa Rosenda.....</b>	<b>53</b>
<b>V.2.c - Características generales de la casa Rosenda.....</b>	<b>56</b>
<b>V.2.c.i - Superficie habitable total de la vivienda .....</b>	<b>56</b>
<b>V.2.c.ii - Características de las fachadas y del techo .....</b>	<b>57</b>
<b>V.2.c.iii - Cálculo de las resistencias térmicas .....</b>	<b>68</b>
<b>V.2.d - Aplicación del anteproyecto de NOM-020-ENER.....</b>	<b>69</b>
<b>V.2.d.i - Objetivo: .....</b>	<b>69</b>
<b>V.2.d.ii - Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación residencial proyectada .....</b>	<b>69</b>
<b>V.2.d.iii - Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación residencial de referencia.....</b>	<b>77</b>
<b>V.2.e - Análisis de los diferentes casos de estudio .....</b>	<b>82</b>
<b>V.2.f - Estimación de los ahorros en el caso de mejor eficiencia energética .....</b>	<b>84</b>
<b>V.3 - EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UNA CASA VIRTUAL EN EL CONTEXTO FRANCÉS .....</b>	<b>87</b>
<b>V.3.a - La BAO Promodul.....</b>	<b>87</b>
<b>V.3.b - Diagnóstico energético de la casa Bellechasse .....</b>	<b>88</b>
<b>V.3.b.i - Casa Bellechase .....</b>	<b>89</b>
<b>V.3.b.ii - Eficiencia energética antes de obras – primera simulación .....</b>	<b>90</b>
<b>V.3.b.iii - Mejora de la eficiencia energética.....</b>	<b>92</b>
<b>V.3.b.iv - Eficiencia energética después de obras – segunda simulación .....</b>	<b>93</b>
<b>V.3.b.v - Costo y financiamiento .....</b>	<b>95</b>
<b>V.3.c - Análisis de los diferentes casos de estudio.....</b>	<b>97</b>
<b>V.3.d - Estimación de los ahorros en el caso de mejor eficiencia energética .....</b>	<b>99</b>

<b>CAPÍTULO 6 – CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO</b> .....	100
<b>VI.1 - CONCLUSIONES</b> .....	100
<b>VI.1.a - Sobriedad energética en el sector el más consumidor</b> .....	100
<b>VI.1.b - La respuesta francesa al objetivo europeo</b> .....	101
<b>VI.1.c - El peso del sector de los inmuebles en el consumo total nacional de energía eléctrica en México</b> .....	102
<b>VI.1.d - El consumo energético edificacional mexicano</b> .....	102
<b>VI.1.e - Estudio comparativo de mejora de eficiencia energética de casas individuales entre VI.f Francia y México</b> .....	103
<b>VI.2 - TRABAJO FUTURO</b> .....	104
<b>ANEXOS</b> .....	105
<i>Anexo 1 – Calculo del coeficiente global de transferencia de calor (apéndice B de NOM-020-ENER)</i> .....	105
Resistencia térmica total de una porción de la envolvente de una edificación formada con capas homogéneas .....	106
Resistencia térmica total de porciones formadas con capas homogéneas y capas no homogéneas .....	107
<i>Anexo 2 – Datos propuestos en el anteproyecto de NOM-020-ENER para la ciudad de Monterrey, Nuevo León</i> .....	109
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	111
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	113
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	115



---

# Capítulo 1 – INTRODUCCIÓN: EL CONSUMO ENERGÉTICO DE LAS EDIFICACIONES A NIVEL MUNDIAL

---

## *I.1 - Un crecimiento alarmante de la demanda energética*

El World Business Council for Sustainable Development (WBCSD, Consejo Económico Mundial para el Desarrollo Sostenible) identificó el sector de edificación como uno de los cinco principales sectores consumidores de energía, el cual necesitará cambios muy fuertes para poder alcanzar la eficiencia energética. En los países occidentales, el 40% de la energía primaria<sup>1</sup> está dedicada a las puras edificaciones y el consumo va en aumento. Además, la International Energy Agency (IEA, Agencia Internacional de la Energía) estima a partir del análisis de las tendencias actuales que la demanda energética de las edificaciones va a representar la mitad de las inversiones en suministro de energía hasta el 2030 [2].

La figura I.1-1 muestra la repartición del espacio construido absoluto dividido entre la parte residencial y comercial en diferentes regiones del mundo. El mercado de la propiedad es especialmente importante en China y crece muy rápidamente – 2,000 millones de metros cuadrados adicionales cada año, lo que es el equivalente a un tercio del espacio construido actualmente en Japón.

---

<sup>1</sup> Energía primaria incluye tanto la energía requerida para generar, transmitir y distribuir electricidad como la que está directamente utilizada en la edificación misma y la que se ha necesitado para su construcción.

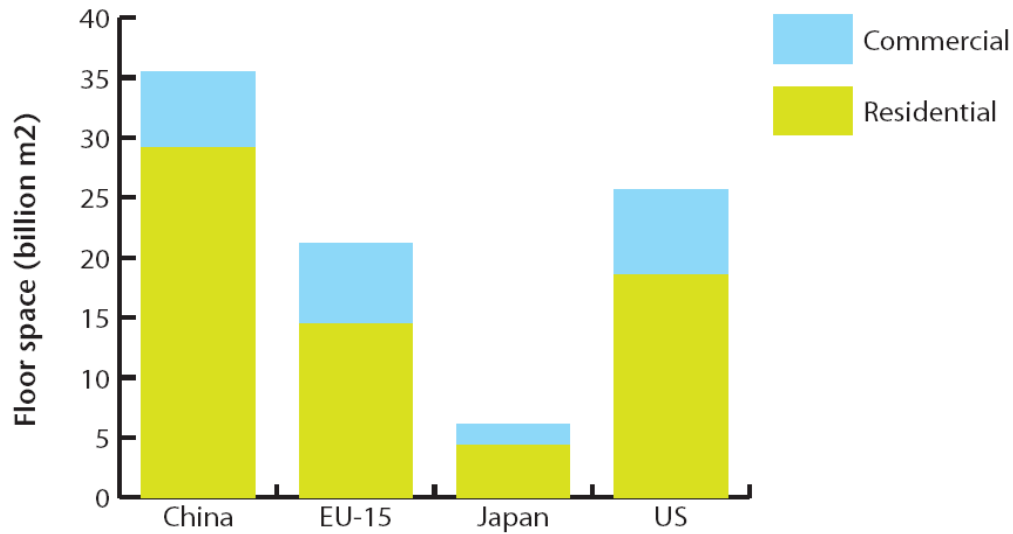


Figura I.1-1 – Existing building floor space (2003) [1] [2] [3]

Considerando el espacio construido per cápita (figura I.1-2), se pueden ver otros contrastes interesantes entre las diferentes regiones del mundo, cómo es que en EEUU la superficie residencial per cápita es mucho más importante comparada con otras regiones. Sin embargo, las diferencias no son tan significativas hablando de negocios excepto en el caso de China que tiene menos espacio comercial per cápita que todas las otras regiones. Eso tiene implicaciones notables considerando que la demanda china de espacio construido no sigue el camino europeo o japonés sino el americano.

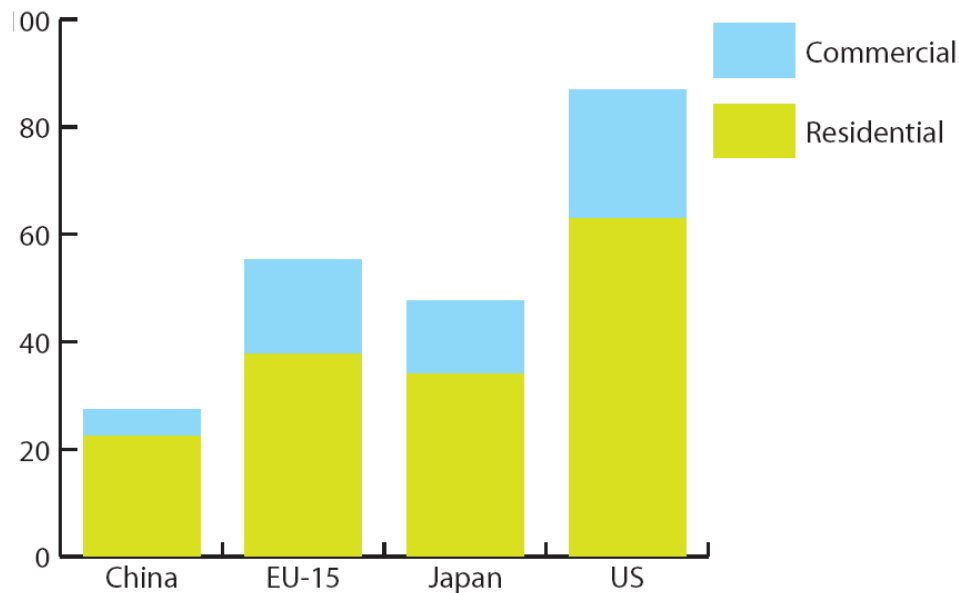
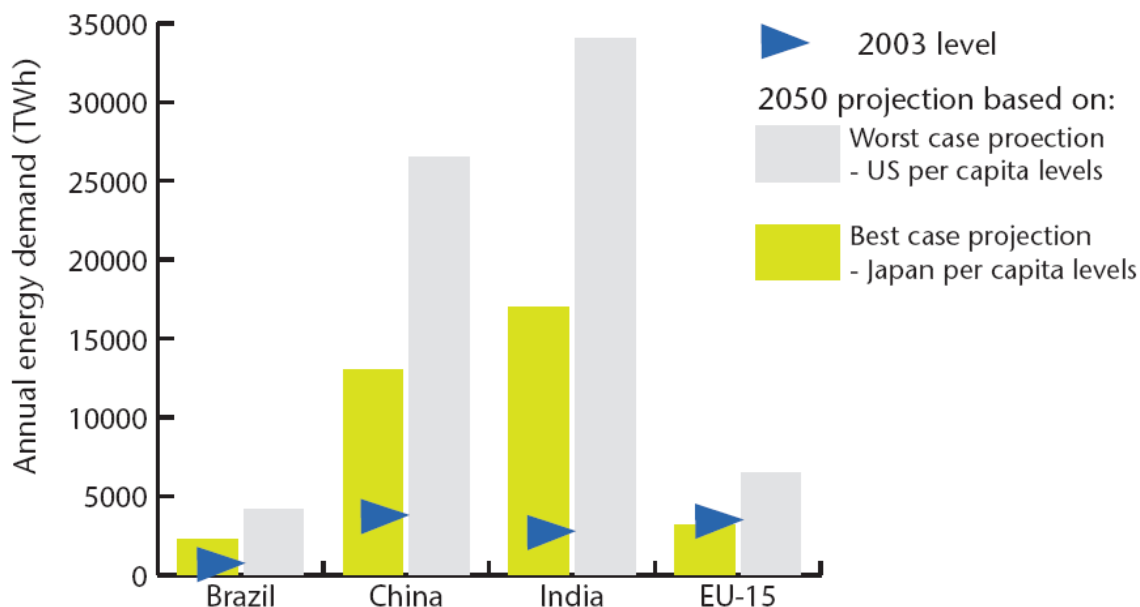


Figura I.1-2 – Building floor space per person (2003) (m<sup>2</sup>/person) [1] [2] [3]

Si el consumo de las edificaciones en China e India alcanza el nivel americano actual, el consumo total de esos países va a ser respectivamente cuatro y siete

veces más importante. La figura I.1-3 muestra una proyección hecha a partir de los pronósticos poblacionales actuales combinados con el uso de energía primaria per cápita basado en los niveles japoneses y americanos actuales – lo que podría ser considerado como el mejor y el peor caso (las flechas indican el nivel del consumo en 2003).



*Figura I.1-3 – Best and worst case projections of site energy demand [4]*

*nota: "site energy demand" significa la demanda energética a todos los niveles de la vida de una edificación, desde la construcción hacia la destrucción pasando por el uso cotidiano del lugar.*

Esos datos subrayan el hecho de que el consumo de energía va a crecer drásticamente en caso de que no se haga nada para mejorar la eficiencia energética de las edificaciones. La explosión en el sector de la construcción, especialmente en China, aumenta considerablemente la demanda energética. Sin embargo, el desarrollo económico y otros factores también son responsables del incremento de las necesidades energéticas de las edificaciones.

El uso de energía para edificaciones en los EEUU es sustancialmente más alto que en las otras regiones del mundo, y eso no va a cambiar hasta el 2030 (ver figura I.1-4). El consumo en China e India va a crecer rápido. Sin embargo, el consumo energético en el sector de la edificación de China va a acercarse al europeo en el mismo periodo, mientras que India habrá rebasado Japón. Si las tendencias actuales se confirman, el uso de energía en edificios comerciales chinos va a aumentar más de dos veces, en tanto que Europa del oeste incrementará mínimamente y Japón permanecerá igual. El uso de energía en el mismo sector va a aumentar en Brasil, pero no tanto como en otras regiones emergentes del mundo.

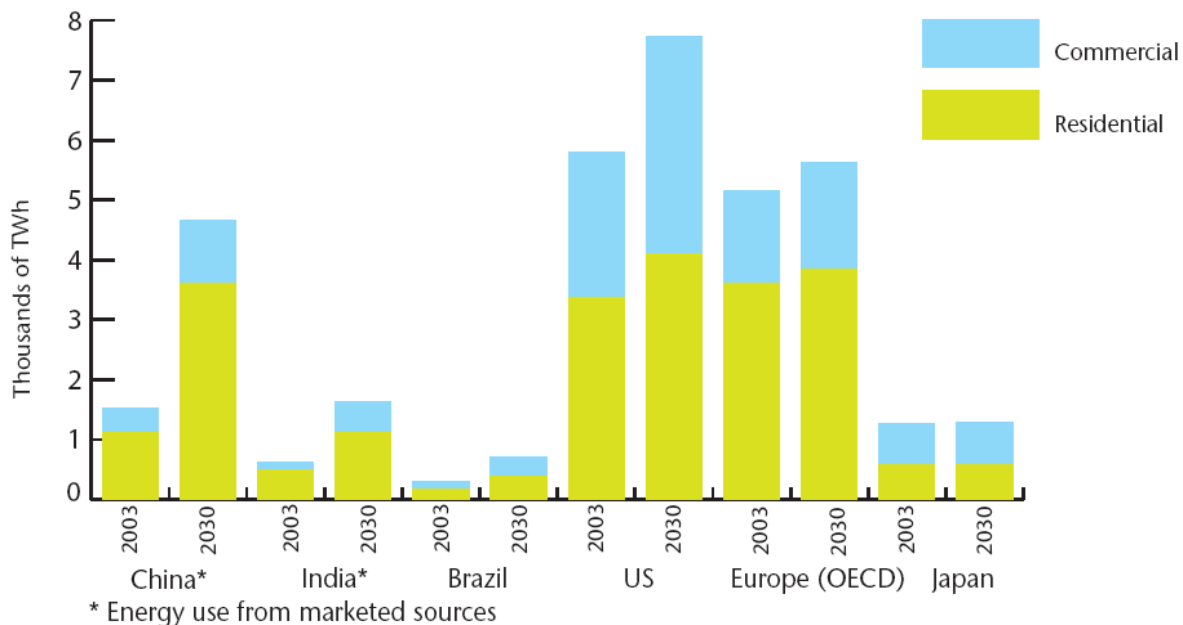


Figura I.1-4 – Building energy projection by region, 2003/2030 [1]

## I.2 - Fuente y uso de la energía primaria requerida por las edificaciones

Las fuentes de energía primaria utilizada en las edificaciones cambian mucho de una región a otra, tal y como lo muestra la figura I.2-1, con grandes cantidades de carbón o biomasa quemadas en China e India, al contrario de los otros países que utilizan más electricidad de manera directa.

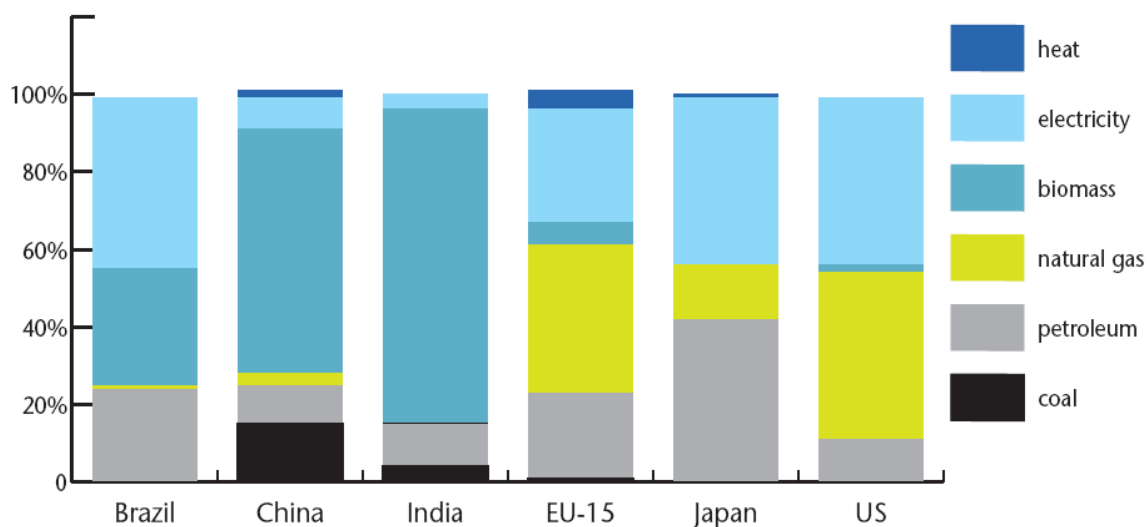
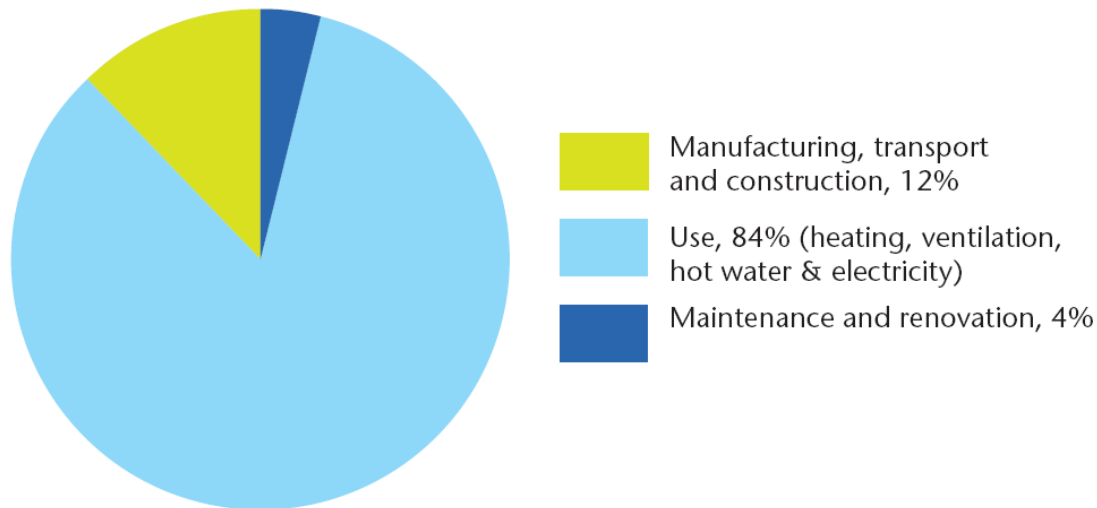


Figura I.2-1 – Site energy sources (2003)

Hoy, más del 80% de toda la energía primaria consumida por una edificación ocurre en su fase operacional, como se puede ver en la figura I.2-2. Obviamente, la proporción de este uso de energía se reduce si se mejora la eficiencia energética operacional de la edificación, o también si se reduce su vida útil.



*Figura I.2-2 – Life cycle energy use*

El uso final de energía en las edificaciones varía entre sectores, regiones y climas. Por ejemplo, la proporción de consumo de energía por el sistema de refrigeración es mucho más importante en el sector alimenticio mientras que el sistema de iluminación representa una parte más grande en sectores no-alimenticios. El sector de los alimentos (fabricantes, almacenes y vendedores) corresponde a consumos intensivos de energía, a pesar de que las oficinas tradicionales son las primeras consumidoras hablando del volumen de energía total, dado que hay mucho más espacio dedicado a esas.

Dentro del sector residencial, el tipo de uso varía mucho entre las diferentes regiones pero de manera general se nota una gran parte dedicada a la calefacción del espacio y del agua. Sin embargo, en algunos países donde se encuentran temperaturas promedio altas, el acondicionamiento del aire suele ser la primera causa de consumo de energía.

### *1.3 - Alcanzar eficiencia energética edificacional*

La eficiencia del uso de energía en edificaciones depende de algunos factores como la geografía, el clima, el tipo de edificación y la ubicación local, por ejemplo. Es importante distinguir los países desarrollados de los emergentes, al igual que los

edificios nuevos de los ya existentes. En todos esos casos, se encuentran estándares diferentes de calidad de edificación, pero lo esencial es mejorar la eficiencia energética de las edificaciones a todos esos niveles. Los balances eficientes de energía no deben restringir a las puras propiedades de medios y altos recursos financieros. El uso eficiente de la energía pertenece a todos y todos lo pueden hacer diferentemente.

Esa complejidad significa que es imposible diseñar una única solución para cada mercado y cada cultura. Al contrario, es necesario identificar maneras de enfocar, márgenes de maniobra, factores de mercado y iniciativas de legislación que permitirán a todos de alcanzar los resultados juntos.

El calentamiento global va a hacer aumentar el consumo energético de las edificaciones dado que los usuarios van a querer mantener los mismos niveles de confort dentro de condiciones más extremas. Sin embargo, otros factores influyen sobre la demanda energética mundial:

- Los datos demográficos,
- El desarrollo económico,
- El cambio de estilo de vida,
- Las nuevas tecnologías y la difusión de los nuevos equipos.

---

# Capítulo 2 – REFORMA ENERGÉTICA FRANCESA: EFICIENCIA DE LAS EDIFICACIONES

---

## II.1 - Introducción

Europa siempre ha puesto la cuestión energética al centro de sus preocupaciones: originalmente, la Unión Europea (UE) nació en 1951 en calidad de Comunidad Europea del Carbón y del Acero (CECA).

Hoy día, considerando la realidad incontestable del calentamiento global y deseando responder a la lógica del plan Factor 4, la Comisión Europea (CE) fija en enero del 2007 el objetivo de los 3x20: en el 2020, los países miembros tienen que haber reducido el **20%** de sus emisiones de GEI, el **20%** de sus consumos de energía primaria total, y el **20%** de la energía producida debe ser de fuente renovable.



*Figura II.1-1 - Los "tres veinte" europeos*

La consecuencia directa de tal objetivo es la movilización de todos los sectores emisores de GEI (transporte, edificio, industria, agricultura, turismo...). Cada uno de los 27 miembros de la Unión Europea tiene que cumplir el objetivo escogiendo su propia política energética.

Francia responde organizando un evento especial para concertar todos los actores calificados antes de tomar medidas.

## *II.2 - El Grenelle Environnement*

Durante la campaña electoral presidencial del año 2007 surge un hombre popular conocido por haber presentado programas televisados sobre la naturaleza desde hace muchos años. Nicolas Hulot se vale del instrumento mediático para proponer un pacto ambiental (<http://www.pacte-ecologique.org/>) que comprometa a todos los candidatos. La opinión pública apoya mucho la idea así que los candidatos firman el documento y se desafían comprometiéndose más.

Recién elegido, el nuevo presidente Nicolas Sarkozy propone, en mayo del 2007, organizar el grande y esperado "Grenelle Environnement" (<http://www.legrenelle-environnement.com>) para poder responder tanto a la CE como a Nicolas Hulot y respetar su pacto ambiental:

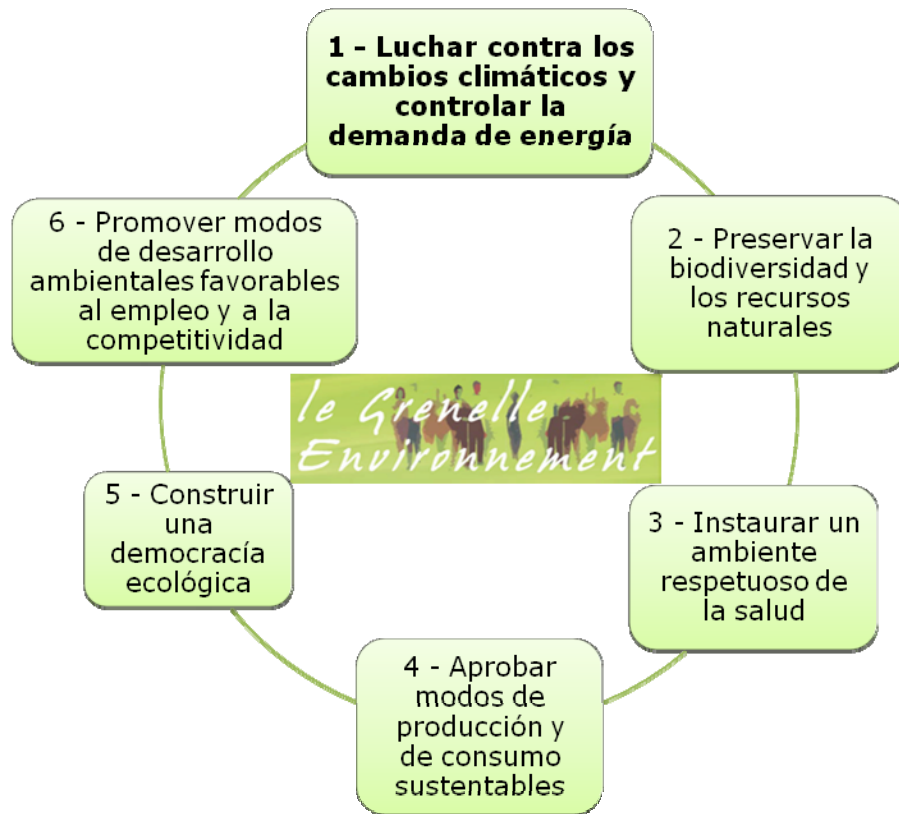
*"El Grenelle Environnement es un contrato entre el gobierno, las administraciones locales, los sindicatos, las empresas y las asociaciones. Quiero que ese contrato comprometa los responsables"* Extracto de discurso del presidente de la República Francesa Nicolas Sarkozy, el 27 de mayo del 2007 durante la junta preparatoria con las asociaciones ecologistas.

Ese proyecto aspira a juntar al gobierno con los representantes de la sociedad civil para definir una hoja de ruta a favor de la ecología, el desarrollo y la ordenación sustentables. Debe llevar a buen término un plan de acciones de algunas 20 medidas concretas y cuantificables, validadas por la mayoría de los participantes. Se desarrolla desde julio hasta diciembre del 2007, según el calendario siguiente:

1. **Elaboración de proposiciones de acción.** *Mi julio – fin septiembre 2007*
2. **Consultación de los públicos.** *Fin septiembre – mi octubre 2007*
3. **Plan de acciones y programas.** *Fin de octubre 2007*
4. **Fase operacional.** *Fin de diciembre 2007*

La primera fase está dedicada al diálogo y a la elaboración de las proposiciones dentro de los seis grupos de trabajo constituidos:





*Figura II.2-1 – Los seis grupos de trabajo constituidos*

Cada grupo se compone de 40 miembros, repartidos en 5 colegios que representan a los actores del desarrollo sustentable: el gobierno, las administraciones locales, las ONG, los empleadores y los empleados.



*Figura II.2-2 – Constitución interna de cada grupo*

El grupo más esperado es el primero porque se dedica al cambio climático y a la energía. Ese grupo empieza a debatir poniendo sobre la mesa las cifras de repartición de consumo energético nacional para poder estimar los márgenes de maniobra en términos de ahorro de energía.

## II.2.a - El sector de la edificación en Francia:

Hoy, el sector de la edificación es el primer consumidor de energía primaria en Francia. Ese peso del sector en el contexto energético francés explica que las medidas más fuertes tomadas al fin del Grenelle Environnement correspondan a las edificaciones, mientras que muchas otras hubieran sido impuestas en otros órdenes.

La figura II.2.a-1 muestra la repartición del consumo de energía entre los diferentes sectores en Toneladas de Equivalente Petróleo (TEP).

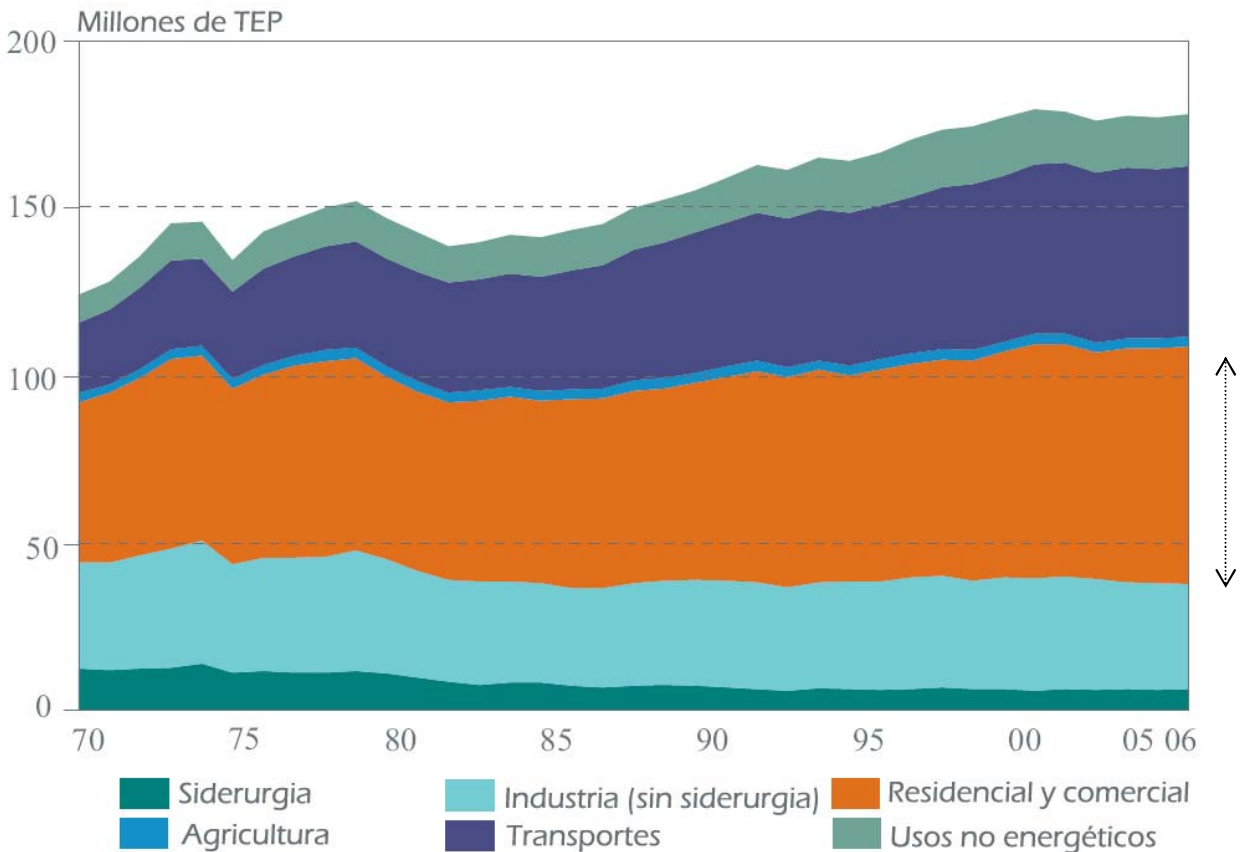


Figura II.2.a-1 – Repartición del consumo de energía entre sectores en Francia desde 1973 [8]

Tabla II.2.a-1 – Repartición del consumo de energía entre sectores en Francia desde 1973 [8]

<i>en millones de TEP</i>	<b>1973</b>	<b>1979</b>	<b>1985</b>	<b>1990</b>	<b>2000</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>
Siderurgia	13	11	8	7	6	6	6	6
Industria (sin siderurgia)	35	36	30	32	33	32	32	31
<b>Residencial y comercial</b>	<b>56</b>	<b>57</b>	<b>54</b>	<b>59</b>	<b>67</b>	<b>69</b>	<b>70</b>	<b>71</b>
Agricultura	3	3	3	3	3	3	3	3
Transportes	26	32	34	42	49	51	50	51
<b>Total final energía</b>	<b>133</b>	<b>139</b>	<b>129</b>	<b>143</b>	<b>158</b>	<b>161</b>	<b>161</b>	<b>162</b>
Uso no energético	11	12	12	12	17	15	15	15
Trámite energía	35	42	61	75	93	99	100	98
<b>Total energía primaria</b>	<b>179</b>	<b>193</b>	<b>202</b>	<b>230</b>	<b>268</b>	<b>275</b>	<b>276</b>	<b>275</b>

En Francia, las edificaciones son responsables de:

- Un consumo de 71 millones de TEP por año, es decir los **42.5%** del total nacional;
- Emisiones de 123 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>, es decir el **23%** del total nacional.

Aunque los  $\frac{3}{4}$  de la electricidad producida son de origen nuclear, los gases anteriores son emitidos por la quema de los combustibles fósiles utilizados para la calefacción del espacio y del agua en las edificaciones, así como por la electricidad generada en horario pico.

Hablando de la edificación (residencial y comercial), la repartición del consumo de energía es la siguiente:

- 70% por la calefacción del espacio
- 30% por el resto: agua caliente, equipos eléctricos, iluminación,...

Esa repartición se debe al clima templado del país, es decir con inviernos fríos, lo que obliga al uso de la calefacción la mayor parte del año, pero también al fenómeno de tercerización de la economía que cuenta con cada vez menos industria y más oficinas.

El parque total representa 3,500 millones de m<sup>2</sup> calentados, y el consumo promedio es de **240 kWh/m<sup>2</sup>/año**. Hablando de GEI, las emisiones promedio de CO<sub>2</sub> son de

**35 kg/m<sup>2</sup>/año**.

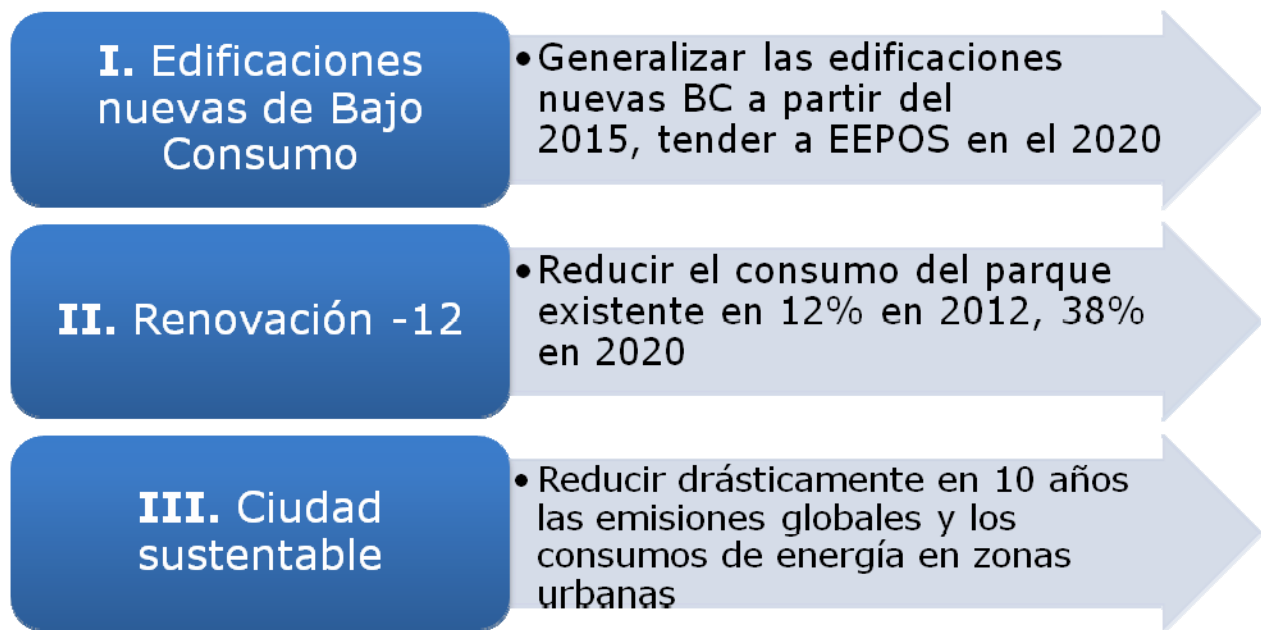
Dado que en Francia ese sector es el más consumidor de energía (42.5% del total) el grupo 1 del Grenelle Environnement (*luchar contra los cambios climáticos y controlar la demanda de energía*) estima que el objetivo europeo del 20% de reducción de la energía consumida por el país puede ser alcanzado con acciones nada más enfocadas sobre este sector: reduciendo en 50% el consumo de las edificaciones; es decir, dividiendo entre dos los 42.5% del total nacional, se baja en 21% el consumo del país.

Aparte, las ventajas son múltiples: reducción de la factura energética del país, mejora de la seguridad del suministro energético y de la calidad de vida, reducción de los cargos de las empresas y de los hogares, desarrollo del sector de la edificación – más de 100,000 nuevos empleos por año y modernización de la imagen del sector.

El grupo 1 propone la lógica siguiente para diseñar un programa fuerte:

- Fase inicial inmediata de preparación, desarrollo de herramientas de diagnóstico, organización de las responsabilidades, creación de productos financieros y planes de formación;
- Evolución significativa de las reglas y normas en el sector de la construcción y del urbanismo, política ajustada sobre el ahorro y la eficiencia global de las edificaciones ya que ahora hay solamente dispositivos fiscales con respecto al equipo eléctrico;
- Desarrollo inmediato e importante de planes de acompañamiento concretos (empleos y formación, financiamientos, seguro de calidad, innovación tecnológica)

El programa propuesto por el grupo 1 se compone de tres elementos complementarios. El primero trata de las edificaciones nuevas, mientras el segundo se aplica a las edificaciones existentes. El último y tercero trata de la ciudad en general y de la armonía sustentable adentro de esta.



*Figura II.2.a-2 - Las tres acciones propuestas acerca de las edificaciones [9]*

A continuación se presenta el detalle de las dos primeras acciones propuestas dado que se enfocan sobre las edificaciones como primero sector consumidor de energía en Francia.

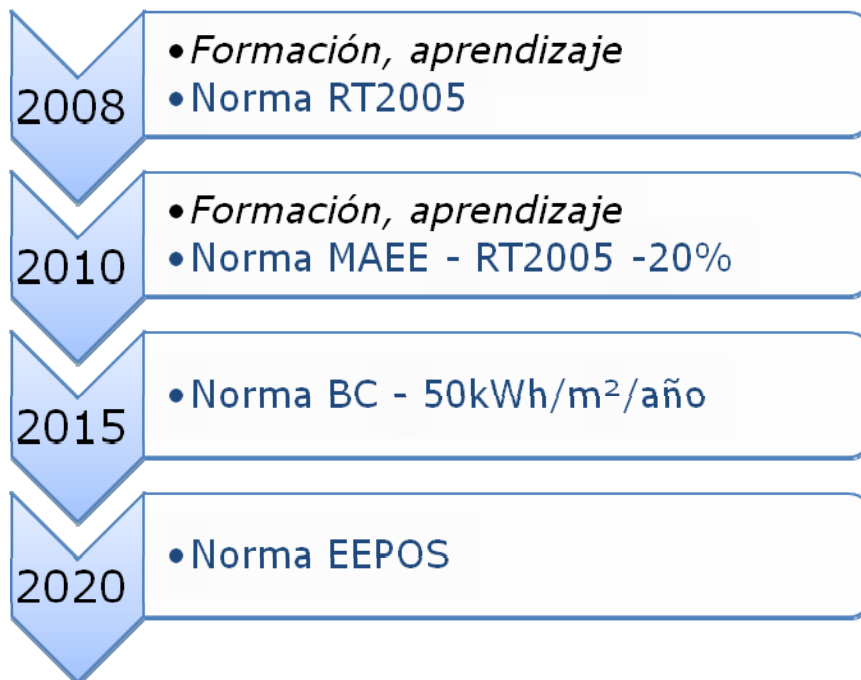
## II.2.b - Acción 1: edificaciones nuevas

El principio de la primera acción es imponer normas cada vez más exigentes desde hoy hacia un futuro de medio plazo (2020).

Entonces se definen cinco niveles de eficiencia energética:

- Reglamentación Técnica actual (**RT2005**),
- Edificación a Muy Alta Eficiencia Energética (**MAEE**): RT2005 -20%,
- edificación a Bajo Consumo (**BC**): 50 kWh/m<sup>2</sup>/año,
- Edificación a Energía PASiva (**EEPAS**): menos de 15 kWh/m<sup>2</sup>/año,
- Edificación a Energía POSitiva (**EEPOS**): EEPAS con producción de Energías Renovables adicional (EnR).

Luego se propone el calendario siguiente:



*Figura II.2.b-1 – El calendario de la acción 1 [9]*

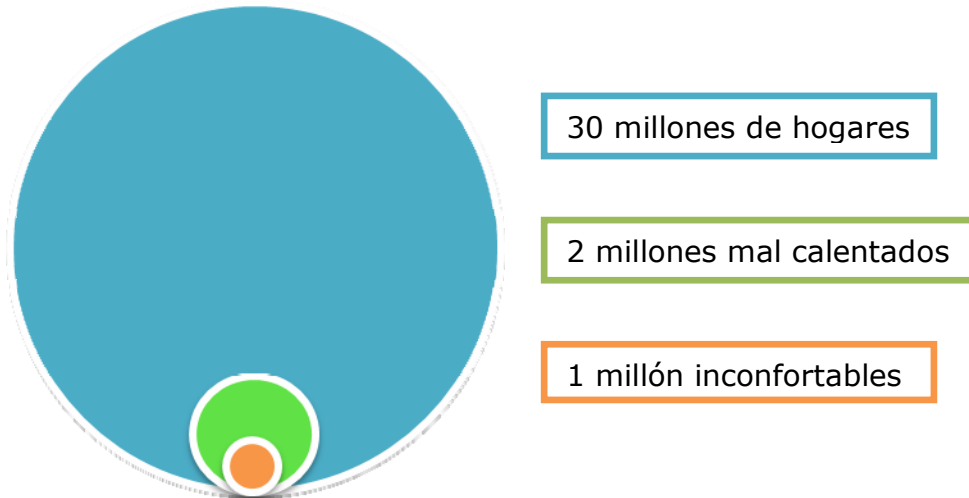
El propósito es el de generalizar los edificios nuevos BC (+400,000 edificaciones por año, +1% del parque total) hacia EEPOS en 2020.

La primera etapa consiste en enseñar a partir del 2008 los diferentes niveles de eficiencia BC, EEPAS y EEPOS, a través de formación y aprendizaje entre 2008 y 2012, normas MAEE obligatoria a partir del 2010, BC a partir del 2015.

## II.2.c - Acción 2: edificaciones existentes

El parque existente es el primer filón de ahorros de energía. Hay que pensar a grande escala, se trata de un “plan Marshall de la renovación” según el grupo 1. Obviamente, las dificultades son múltiples, sobre todo la cuestión esencial del financiamiento.

El contexto francés es el siguiente: en 2008 el país cuenta con 64 millones de habitantes, 30.7 millones de hogares, 2 millones mal calentados y un millón inconfortables.



*Figura II.2.c-1 – La repartición de los hogares en Francia [9]*

Para definir un plan de acciones sobre las edificaciones existentes, el grupo 1 pone en evidencia algunos puntos claves que van a condicionar el éxito del programa:

#### **Segmentación del parque**

- **Adaptación de las operaciones a las necesidades reales**

#### **Información de los usuarios**

- **Sensibilización y comunicación sobre la eficiencia energética**

#### **Creación de valor**

- **En contrapartida de los gastos para mejorar la edificación**

#### **Obligación en algunos casos**

- **Edificaciones a muy mala eficiencia energética deben de ser renovadas**

#### **Uso de herramientas económicas**

- **Como el Certificado de Ahorro de Energía (CAE)**

*Figura II.2.c-2 – Puntos claves para asegurar el éxito de las dos acciones [9]*

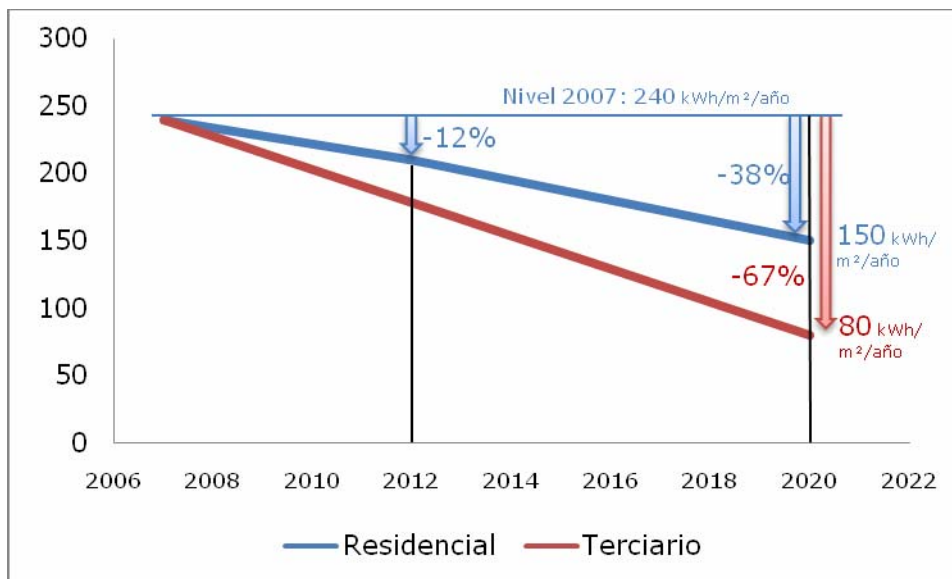
La lógica global también debe implementar:

- Actividades complementarias de las profesiones del sector de edificación para converger hacia un resultado final,
- Consideraciones de aspectos técnicos y financieros al mismo tiempo,
- Reconocimiento de la necesidad de tener normas,
- Inversiones en costo global establecido sobre la duración y con criterios de externalidades.

Garantizando el anterior se puede esperar alcanzar los objetivos globales de la acción 2:

- Alcanzar en el **sector residencial** existente un consumo primario promedio de 210 kWh/m<sup>2</sup>/año en 2012 (-12% de 2007) y 150 kWh/m<sup>2</sup>/año en 2020 (-38%)
- Alcanzar en el **sector de servicios** (oficinas, negocios, equipos públicos y privados) un consumo primario promedio de 80 kWh/m<sup>2</sup>/año en el año 2020 (-67%)
- Creación de un sello "BC renovación" (objetivo de 80 kWh/m<sup>2</sup>/año más un

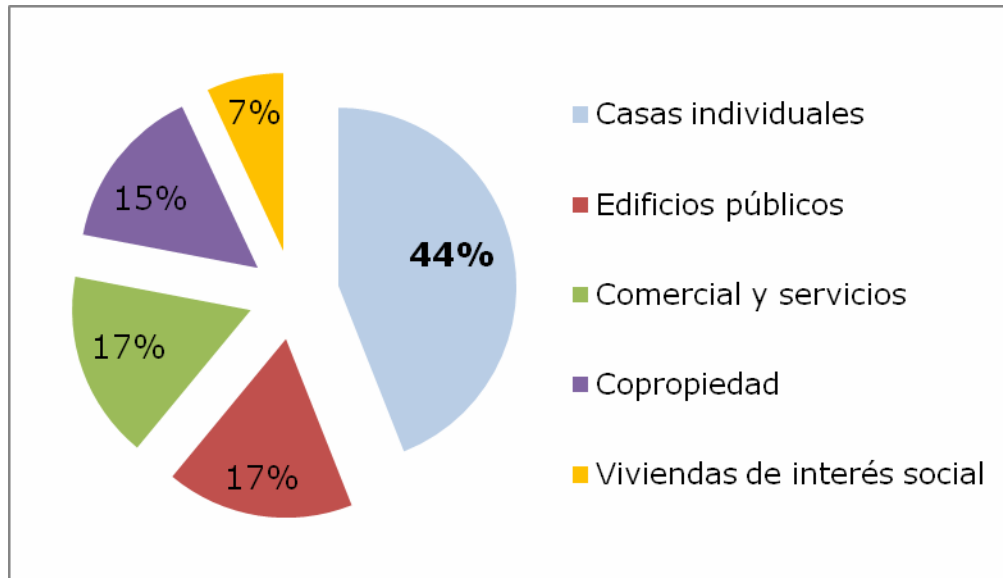
objetivo CO<sub>2</sub>) para preparar una obligación reglamentaria para las renovaciones pesadas en 2020 y otro sello "BC compatible" para las renovaciones parciales.



*Figura II.2.c-3 – Objetivos de consumo promedio en el parque de edificaciones existentes (acción 2 definida por el grupo 1) [9]*

Del 2009 hasta 2012, algunas medidas adaptadas a cada tipo de hogares deben ser tomadas. La repartición de los tipos de edificaciones en el parque estudiado es la siguiente:





*Figura II.2.c-4 – Repartición de los tipos de edificación en el parque existente residencial y comercial [9]*

La figura II.2.c-4 muestra el destino final de los 3,500 millones de m<sup>2</sup> identificados en el estudio.

Con 44% de la superficie total, las casas individuales corresponden al subsector el más importante. El sector residencial global alcanza los dos tercios del consumo en edificación, el tercero corresponde a los edificios públicos, comerciales y de servicios.

Los objetivos de la segunda acción solamente podrán ser alcanzados en el plazo concedido si se arranca inmediatamente un plan de apoyo basado sobre tres puntos necesarios y complementarios:



*Figura II.2.c-5 – Puntos clave para asegurar el éxito de la acción 2*

El detalle de ese plan de acompañamiento de los programas para desarrollar las técnicas y las herramientas de la eficiencia es el siguiente:

- **Innovar en término de soluciones financieras:**
  - Consideración de que hoy la diferencia de costo no está significativa para edificios nuevos,
  - Creación de préstamos a tasa reducida según criterios ambientales para proyectos de construcción y de renovación,
  - Creación de fondo de garantía de financiamientos ambientales, contratos de garantía de eficiencia energética,
  - Concentrar las ayudas financieras sobre los productos que cumplen las normas y que tienen sellos de calidad;
  
- **Emergencia del empleo y de la formación en el sector del edificio:**
  - Disposiciones especiales para asegurar la creación de los empleos y responder a la demanda,
  - Desarrollo de un nuevo trámite profesional: “renovador de edificios”,
  - Creación de nuevas licencias y formaciones universitarias,
  - Añadido de cursos sobre la eficiencia energética en las carreras de las profesiones del sector,
  - Arrancar un gran plan de formación de las empresas del sector;
  
- **Procesos de seguro de calidad global para edificios sanos y eficientes**
  - Información,
  - Normalización,
  - Certificación/calificación,
  - Evaluación,
  - Control,
  - Corrección.

La tabla II.1.c-1 muestra una estimación de los requisitos en término de costos adicionales, de empleos y de ayuda pública para llevar a cabo esas dos acciones:

*Tabla II.1.c-1 – Guiones de los impactos económicos y ambientales de los objetivos de los dos primeros planes de acción sobre el sector de la edificación en Francia, en millones de euros (M€). [10]*

		Costo adicional de inversión total / hoy	Costo adicional de inversión / tendencia (refuerzo programado de la reglamentación)	Cantidad de empleos adicionales / tendencia	Costo público (equivalente subvención 25% del costo adicional de inversión total)	Eficiencia de la ayuda pública
ACCIÓN 1	<b>Residencial</b>					206
	Objetivo: THPE 65%, BBC 25%, BEPOS 10%	4,800 M€	2,400 M€	16 500	1,200 M€	€/tCO <sub>2</sub>
	<b>Terciario</b>					103
	Objetivo: THPE 50%, BBC 30%, BEPOS 20%	3,000 M€	2,300 M€	8 000	750 M€	€/tCO <sub>2</sub>
ACCIÓN 2	<b>Residencial</b>					
	Objetivo: Cons. prom. de -12% (210kWh/m <sup>2</sup> )	20,000 M€	7,900 M€	80 000	2,800 M€	78 €/tCO <sub>2</sub>
	<b>Terciario</b>					112
	Objetivo: 20% del parque renovado	28,000 M€	6,500 M€	44 500	2,900 M€	€/tCO <sub>2</sub>

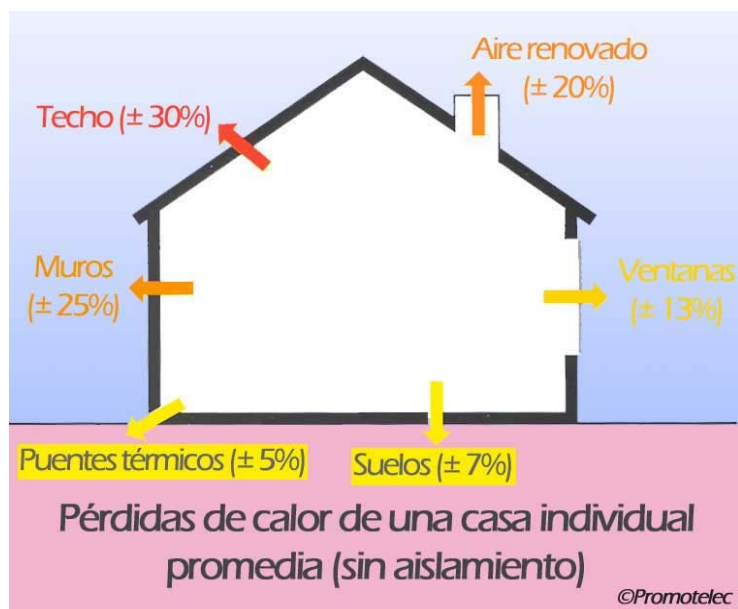
De lo anterior se puede mencionar que los niveles de inversión requeridos por la acción 2 son mucho más importantes que los que corresponden a la acción 1. Además arreglar la eficiencia energética de edificaciones residenciales necesita dos veces más empleos que para el caso del subsector de servicios y de negocios.

## *II.3 - El sector de las casas individuales existentes*

Sobre los 30 millones de hogares en Francia, un poco más de 13 millones son casas individuales (sea los 44%, figura II.2.c-4).

Un estudio nacional demostró que el 55% de ellas ya no recibieron obras de renovación de techumbre en los últimos 20 años, y que el 41% cuentan con acristalamiento sencillo.

Ahora bien, las pérdidas de energía térmica en una casa promedio son las siguientes: 30% por el techado, 20% por la ventilación (aire nuevo frío), 13% por las ventanas, 25% por los muros, 7% por el suelo, 5% por los puentes térmicos.



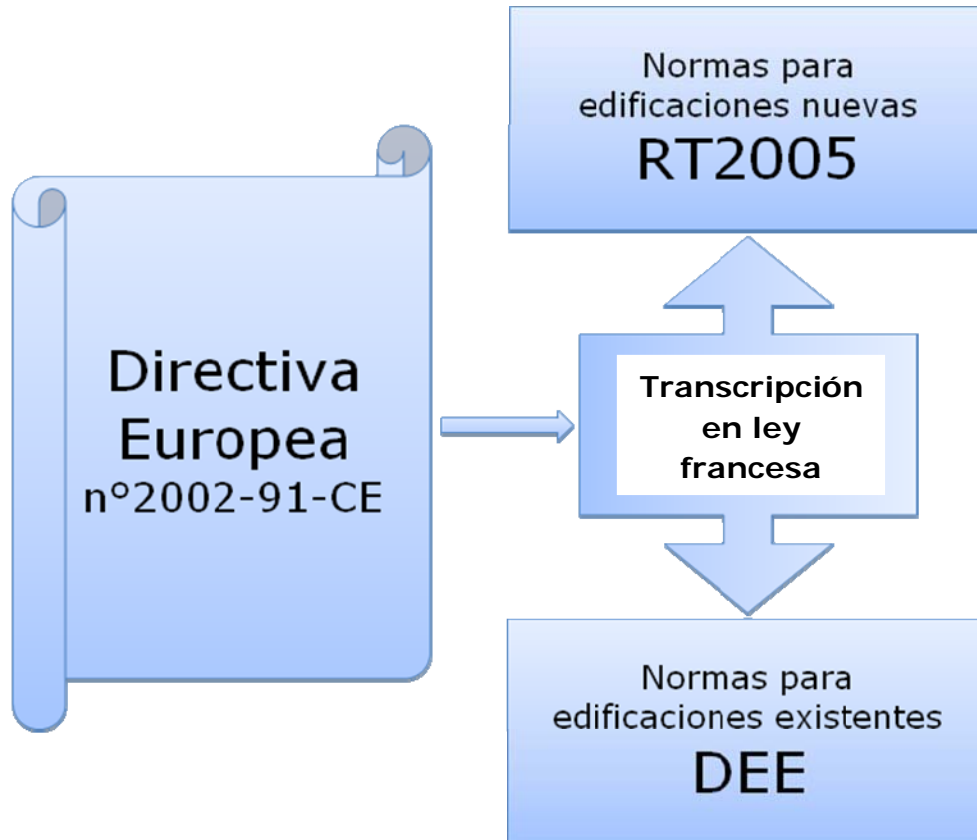
*Figura II.3-1 – Pérdidas de calor de una casa individual promedio no aislada en Francia [11]*

Entonces el sector de las casas individuales existentes corresponde a los principales gastos de energía del sector de la edificación y merece una atención especial.

En Francia esos tipos de hogares son bien identificados desde el punto de vista de eficiencia energética. Ya se sabe exactamente donde se pierde energía y como arreglarlo. Según los profesionales del sector, el problema resulta en la dificultad de arrancar un proyecto de gran escala para llegar a resultados pertinentes al nivel nacional.

## II.3.a - El Diagnóstico de Eficiencia Energética

La transcripción en ley francesa de una directiva europea da unas herramientas para poder entrar en un proceso de renovación a gran escala.



*Figura II.3.a-1 – Transcripción de directiva europea en la ley francesa*

La **Directiva Europea n°2002-91-CE** introduce la noción de eficiencia energética de los edificios y establece algunos principios para hacer disminuir los consumos de energía de la totalidad del parque residencial y terciario. La transposición de esa directiva europea en la ley francesa ocasiona la creación de nuevas normas con respecto a ambos aspectos del sector de edificaciones.

De un lado se elaborada la Reglamentación Térmica 2005 (**RT2005**) que se aplica a los edificios nuevos, y del otro lado es diseñado el Diagnóstico de Eficiencia Energética (**DEE**) que se aplica al parque existente.

## II.3.b - La caja de herramientas PROMODUL

El Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB, centro científico y técnico del edificio) propuso un método para realizar diagnósticos energéticos eficientes, proceso que fue validado por el gobierno francés. La empresa de ingenieros consultores Tribu Energie adaptó ese método y llevó a cabo el algoritmo de cálculo 3CL para hacer DEE.

En 2007, la asociación PROMODUL recuperó esos algoritmos públicos y los ensambló dentro una Boîte À Outils (BAO Promodul, caja de herramientas Promodul) informática intuitiva y con diferentes niveles de complejidad.

El principio de la BAO es hacer el diagnóstico de una casa existente, de analizar los márgenes de maniobras posibles que hacer y proponer los últimos elementos disponibles en la industria a partir de una base de dato actualizada. Además, la BAO informa el usuario sobre las diferentes ayudas que pueden aplicar para las obras escogidas.

La interfaz es muy ergonómica y la BAO se declina en tres versiones según el nivel de calificación del utilizador. La fiabilidad de la BAO fue probada comparando muchas simulaciones con la realidad en término de factura energética.

Respondiendo a la demanda de un banco interesado en los préstamos ambientales, PROMODUL decidió proponer una versión en línea simplificada totalmente gratis (<http://www.bao-gp.com>).



*Figura II.3.b-1 – Logotipo de la BAO PROMODUL gratis en línea*

En el capítulo 5 de este documento se desarrolla una simulación completa de la eficiencia energética de la envolvente de una edificación virtual en el contexto francés.

---

# Capítulo 3 – EL SECTOR DE EDIFICACIONES E INMUEBLES EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO MEXICANO

---

En el mundo desarrollado se ha definido a los edificios como uno de los conjuntos de instalaciones de mayor peso como usuarios de energía, comparándose en importancia con el transporte. Este es un hecho que refleja el peso del clima en las latitudes de esos países (ubicados en regiones con inviernos extremos) y el proceso de “tercerización” de la economía, lo cual se refiere al crecimiento del sector de los servicios y a la disminución relativa de la producción industrial.

En México, las estadísticas nacionales reflejan un peso muy reducido de las instalaciones del sector servicios, muy por abajo del correspondiente al sector industrial y al de las viviendas. Sin embargo, el evidente crecimiento del sector de los servicios y de sus instalaciones características (edificios de oficinas, tiendas departamentales, escuelas y hospitales, entre otros) lleva a poner en duda las bases de la clasificación por las que se establece el consumo energético del sector.

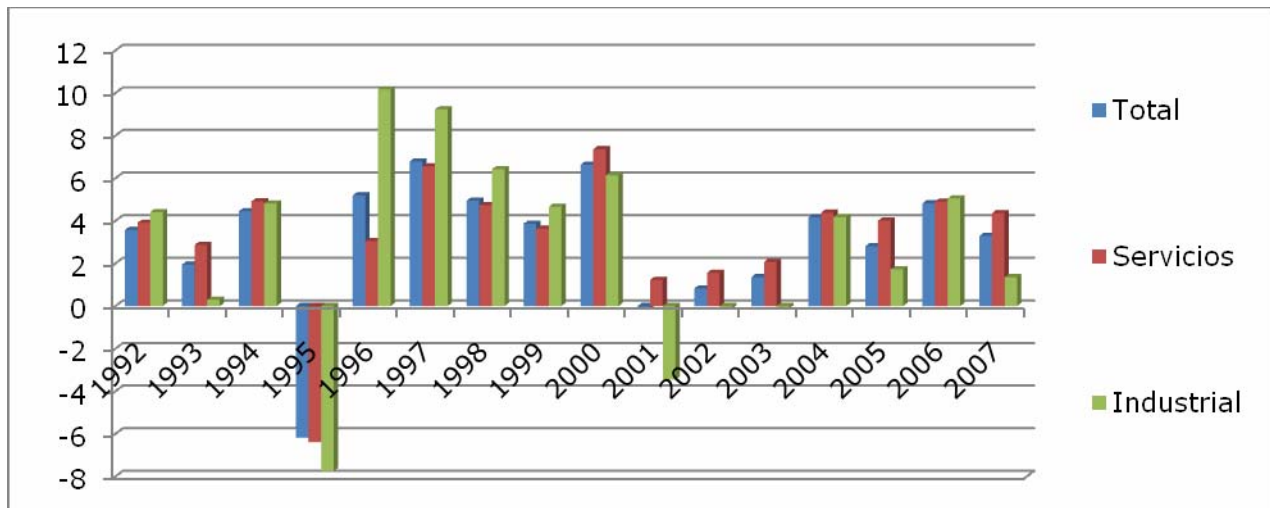
Comparando las cifras de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) con las estadísticas económicas nacionales, se hace evidente que se subestima significativamente el peso que tienen las instalaciones en la que opera el sector de servicios (inmuebles no residenciales) en el uso final de la energía eléctrica en México, lo cual tiene serias implicaciones para la política pública relacionada al ahorro de energía. Esta subestimación parece originarse en el hecho de que CFE clasifique como “comercial” solamente a los usuarios en las tarifas 2, 3 y 7 (baja tensión) mientras la mayoría de las instalaciones típicas del sector servicios están conectadas en tarifas OM y HM (media tensión) que CFE integra dentro de la categoría “mediana industria”.

## *III.1 - Estadísticas económicas - INEGI*

En las clasificaciones nacionales hechas por el Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI), los sectores industriales y de servicios corresponden a las actividades siguientes:

- Sector industrial,
  - Minería,
  - Industria manufacturera,
  - Construcción,
  - Electricidad, gas y agua;
- Sector de servicios,
  - Comercio, restaurantes y hoteles,
  - Transporte, almacenaje y comunicaciones,
  - Servicios financieros, seguros, actividades inmobiliarias y de alquiler,
  - Servicios comunales, sociales y personales.

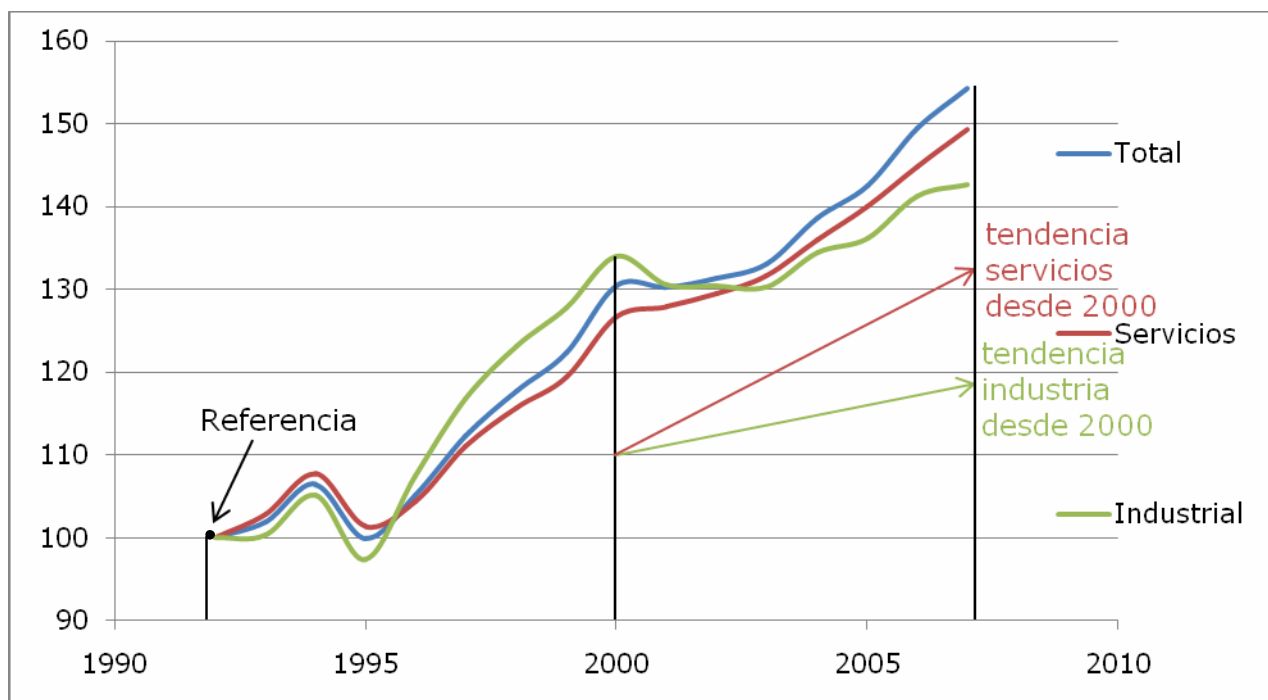
De acuerdo a las estadísticas económicas nacionales de México, el sector de servicios tiene una creciente importancia. Esto se pone en evidencia en el crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB), donde el del sector de servicios ha crecido más que el del sector industrial desde el año 2000 como lo muestra la figura III.1-1.



*Figura III.1-1 – Tasa de crecimiento anual de PIB nacional y del correspondiente a sectores industriales y de servicios desde el 1992 en México [12]*

En la figura III.1-2 se hace más evidente la evolución de la importancia del sector de servicios, poniendo un índice 100 por el PIB del año 1992.





*Figura III.1-2 – Evolución del PIB nacional y del correspondiente a sectores industriales y de servicios respecto al nivel de 1992 [12]*

Sin embargo, las estadísticas nacionales de energía solo reflejan parcialmente el peso energético de estos dos sectores en el consumo total nacional.

## III.2 - Estadísticas energéticas - CFE

Las estadísticas energéticas nacionales difundidas por CFE proponen la clasificación por sectores siguiente:

- *Doméstico*, todas tarifas 1, y DAC (baja tensión);
- *Comercial*, tarifas 2, 3 y 7 (baja tensión);
- *Servicios públicos* (alumbrados, iluminaciones y bombes de agua), tarifas 5, 5A, 6 (baja tensión);
- *Agrícola*, todas tarifas 9 (baja tensión);
- *Mediana Industria*, tarifas OM, HM, HMC (media tensión);
- *Gran Industria*, tarifas HS, HSL, HT, HTL (alta tensión).

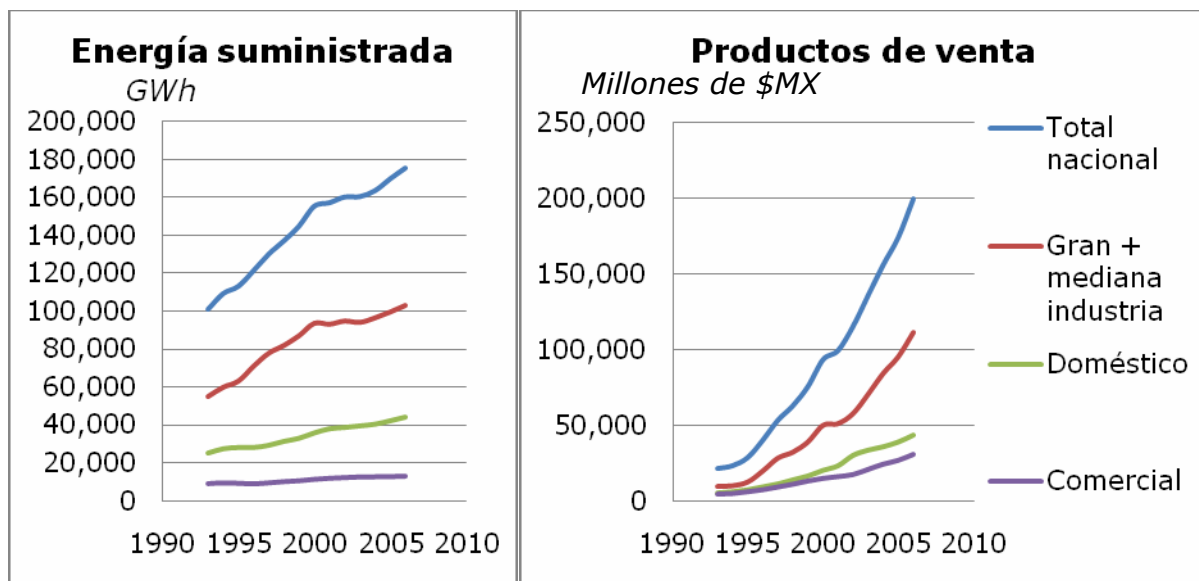
Resulta de esta repartición que el consumo registrado del subsector “comercial” se constituye nada más de lo que consumen usuarios de energía en las tarifas 2, 3 y 7, que corresponden a servicios que se entregan a nivel de distribución, es decir en baja tensión.

Sin embargo, al revisar la larga lista de hojas de caso de proyectos del Fideicomiso para el Ahorro de Energía Eléctrica y los datos recopilados por la Conae en su

programa de edificios públicos, la mayoría de las instalaciones típicas del sector de servicios (hoteles, restaurantes, centros comerciales, escuelas y hospitales) están conectadas en tarifas OM y HM, que CFE integra dentro de la categoría de “mediana industria”.

Entonces no solo las estadísticas de CFE, sino también los balances nacionales de energía subestiman el peso energético del sector de servicios y de las instalaciones donde llevan a cabo sus actividades (los inmuebles).

Graficando los datos proporcionados por CFE se hace más evidente lo anterior.



*Figura III.2-1 – Evolución de los volúmenes de energía eléctrica suministrada y de ventas correspondientes por CFE desde 1993 hasta 2006 [13]*

Se puede ver que el consumo de energía eléctrica del sector comercial como las ventas correspondientes aumenta mucho menos que lo equivalente del sector industrial en general (gran y mediana) según CFE.

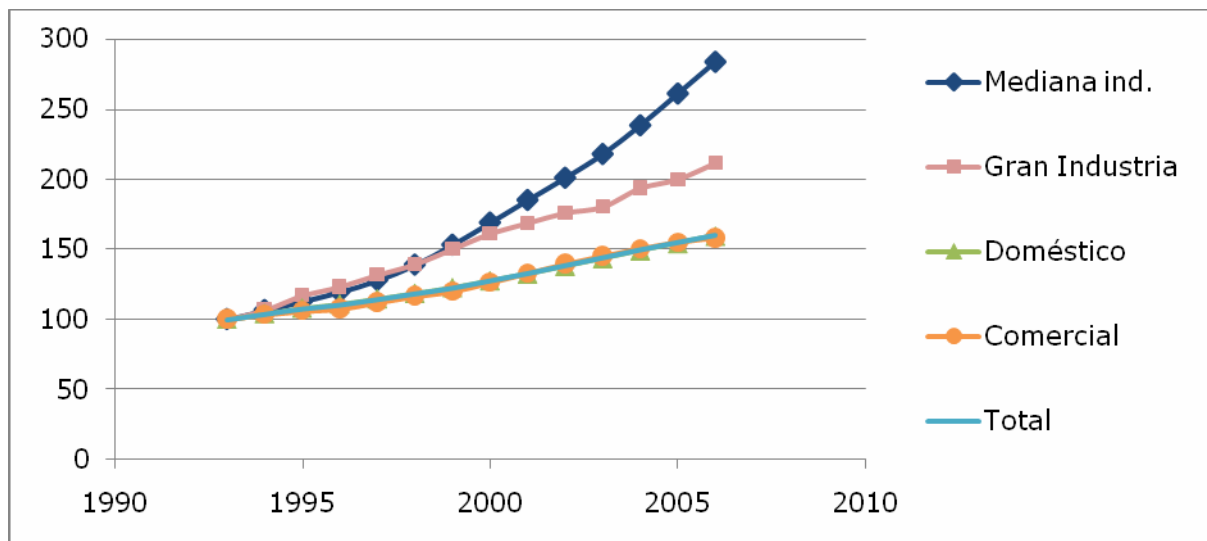
Además, sumando los consumos de los sectores doméstico y comercial no se alcanza el nivel industrial.

También es importante mencionar el hecho de que los Productores Externos de Energía (PEE's) tienen un peso creciente en la cantidad de energía eléctrica suministrada a los usuarios de la gran industria desde el año 2000 cuando el gobierno autorizó producción de energía privada. La tabla III.2-1 muestra la producción eléctrica de los PEE's en comparación de la producción pública (CFE y Luz y Fuerza centro):

*Tabla III.2-1 – Producción anual de electricidad de los PEE's vs producción pública*

	Producción anual de los PEE's (GWh)	Producción anual pública (GWh)	Peso de la prod. PEE's en el total nacional
2000	1,295	155,349	0.8%
2001	4,590	157,204	2.8%
2002	21,852	160,203	12.0%
2003	31,645	160,384	16.5%
2004	45,855	163,509	21.9%
2005	45,559	169,757	21.2%
2006	59,428	175,371	25.3%

Para mejor entender se estudia más en detalle la cantidad de usuarios, el volumen de los consumos y de las ventas por sectores en las estadísticas proporcionadas por CFE.



*Figura III.2-2 – Evolución de la cantidad de usuarios por diferentes sectores de clientes de CFE respecto al nivel de 1993 (índice 100) [13]*

La figura III.2-2 muestra que los nuevos usuarios registrados por CFE en el subsector gran industria son cada vez menos desde 2000 mientras son cada vez más en el mismo periodo en el subsector mediana industria. Eso se debe al papel creciente de los PEE's en el suministro de energía al subsector de gran industria. Pero hay que considerar también el consumo de energía eléctrica y no solamente la cantidad de usuarios.

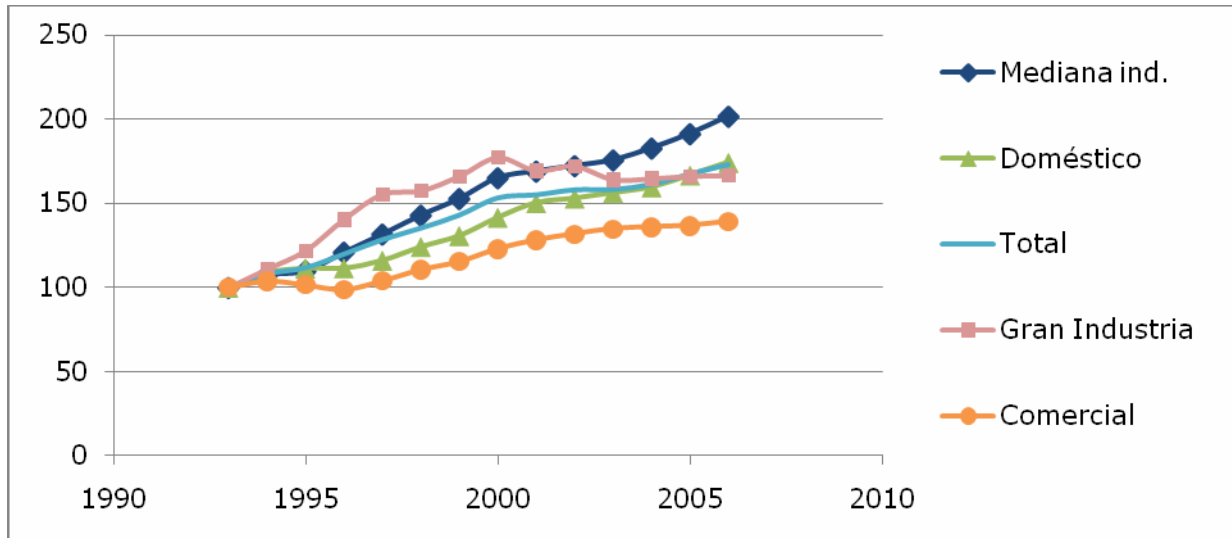


Figura III.2-3 – Evolución de la cantidad de energía suministrada por CFE a sus clientes por diferentes sectores respecto al nivel de 1993 (índice 100) [13]

La figura III.2-3 trae ángulos de lectura adicionales, dado que la gran industria en 2006 consume menos energía eléctrica en valor absoluta que en 2000 (por lo que corresponde a energía producida por CFE), al contrario de la mediana industria. Entonces ese mismo subsector es responsable del aumento del consumo relativo al sector industrial total puesto en evidencia en la figura III.2-1.

Además, se puede ver que el incremento del consumo del subsector comercial es cada vez menor desde 2000, lo que parece extraño respecto al peso de ese mismo en el PIB nacional.

La figura III.2-3 se debe ser interpretada no solo viendo la evolución del consumo de cada subsector, sino también considerando los pesos individuales en la cantidad absoluta total de energía eléctrica suministrada.

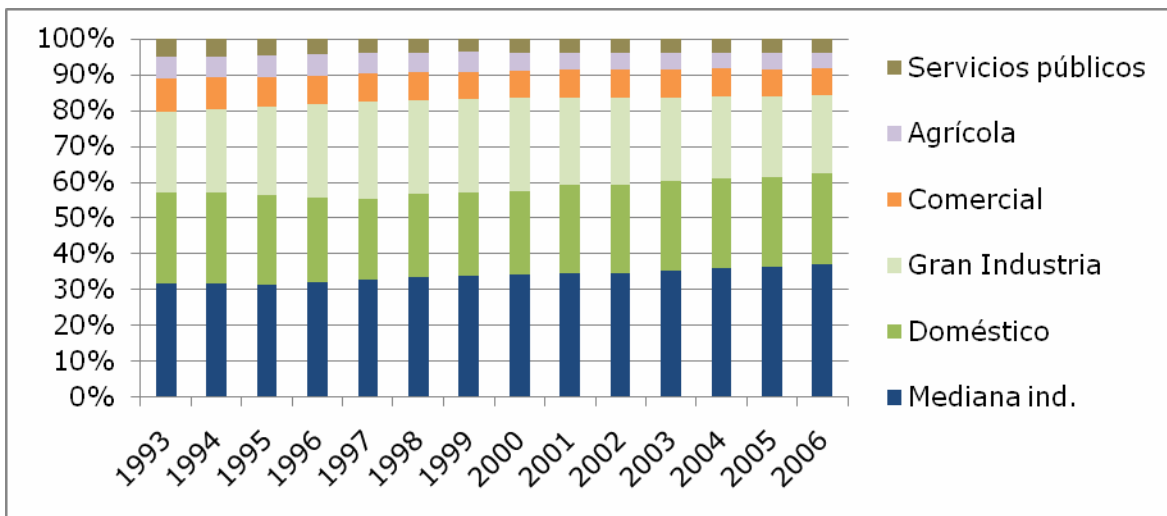


Figura III.2-4 – Peso relativo de los consumos de los diferentes subsectores en la cantidad de energía eléctrica total suministrada por CFE [13]

Resulta que, además de haber cada vez menos nuevos usuarios lo cual implica cada vez menor cantidad adicional de energía eléctrica consumida, el subsector comercial representa nada más el 7.5% del consumo total nacional de electricidad según CFE en 2006 contra 9.4% en 1993, lo que pone en evidencia una tendencia a la disminución.

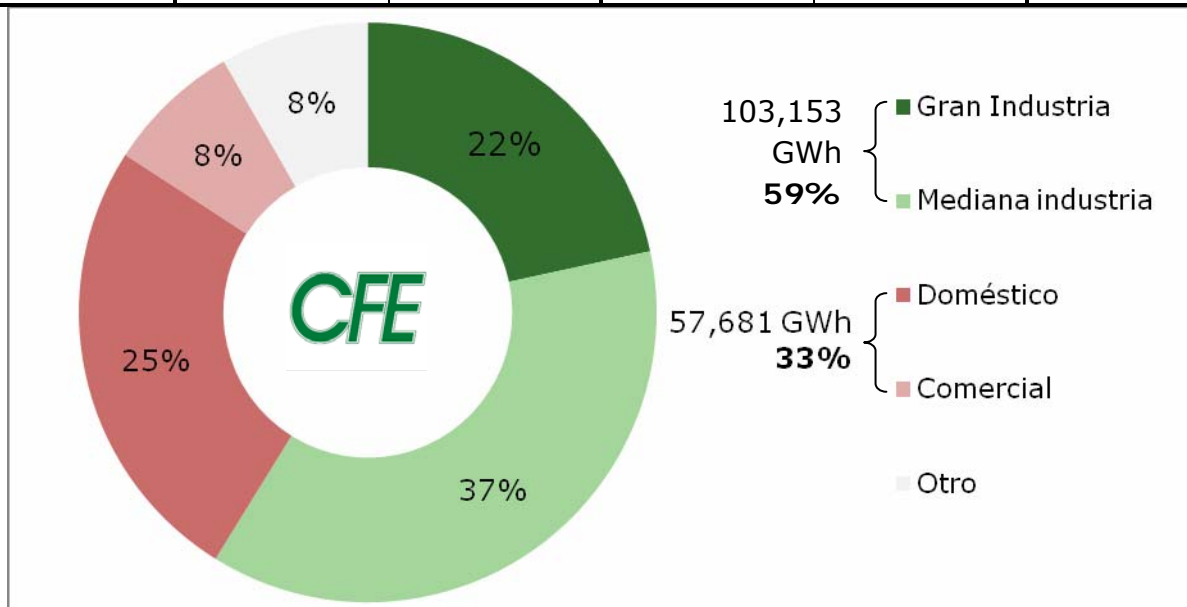
Al contrario, el subsector mediana industria sigue siendo el primero consumidor de energía y su peso aún aumenta (31.9% en 1993, contra 37.2% en 2006) mientras disminuye el de la gran industria (22.5% contra 21.6%).

Los usuarios domésticos siguen la evolución nacional, el peso relativo del subsector siguiendo representando más o menos los 25% del total.

En resumen, las estadísticas de CFE proponen lo siguiente (año 2006):

*Tabla III.2-2 – Datos energéticos de los sectores industriales, de edificaciones e inmuebles y del total nacional mexicano en el 2006. [13]*

	Industria		Edificaciones e Inmuebles		Total nacional
	Gran	Mediana	Doméstico	Comercial	
<i>Usuarios</i>	<b>186,818</b>		<b>29,468,990</b>		29,940,461
	699	196,119	26,348,022	3,120,968	
<i>Consumo (GWh)</i>	<b>103,153</b>		<b>57,681</b>		175,371
	37,887	65,266	44,452	13,229	
<i>Peso relativo</i>	<b>58.8%</b>		<b>32.8%</b>		100%
	21.6%	37.2%	25.3%	7.5%	
<i>Tendencia del peso</i>	++		-		+
	-	+++	=	-	



*Figura III.2-5 – Peso relativo de los sectores industriales, de edificaciones e inmuebles en el total nacional en el 2006 [13]*

Con una mejor identificación del consumo real se puede demostrar que hoy en México se subestima el peso relativo del subsector de servicios respecto al consumo nacional.

### *III.3 - Evaluación de la subestimación del consumo de energía eléctrica del sector de servicios*

El Ing. Odón de Buen Rodríguez, creador y director de Energía, Tecnología y Educación, S.C. (ENTE, <http://www.funtener.org>), probó en 2005 de evaluar el consumo de las instalaciones que corresponden al sector de servicios, es decir las tiendas de autoservicio, las tiendas departamentales, los hoteles, los restaurantes, las escuelas, los hospitales y los edificios de oficinas en México. Imaginó el método siguiente que propone una estimación basada sobre las hipótesis las más razonables en término de consumo de electricidad.

Para dimensionar la importancia de los inmuebles no residenciales en el consumo nacional de energía, se recoge información de diversas fuentes con información presentada de diversas maneras sobre el tamaño del sector y su consumo de energía. En particular, se toman datos de las hojas caso del FIDE, de una versión antigua de la base de datos del programa de edificios de la Administración Pública de la Conae y de datos de las empresas y de las asociaciones relacionadas al sector (como tiendas, hoteles, y restaurantes).

Eso permite de evaluar y de sumar el consumo de cada trámite del subsector de servicios.

#### **III.3.a - Consumo eléctrico estimado de las tiendas de autoservicio y departamentales**

De acuerdo a la información disponible en su sitio Internet (<http://www.antad.org.mx/indicadores.htm>), en el año 2008 la Asociación Nacional de Tiendas de Autoservicio y Departamentales (ANTAD) cuenta con 14,275 tiendas de las cuales **2,315** son de autoservicio (Soriana, Wal-Mart...), **957** son departamentales (Sears, Liverpool...) y 11,003 son tiendas especializadas (no tomadas en cuenta porque a nivel de distribución baja tensión). La superficie total de venta de todas estas tiendas suma 16,996,476 metros cuadrados.

### **i - Tiendas de autoservicio**

De acuerdo a las hojas caso del FIDE, una tienda de autoservicio de una cadena mayor (66% del total de las tiendas de autoservicio) ubicada en una ciudad con clima templado (Morelia) consume, en números muy redondos, 1.5 GWh/año en tarifa HM (ejemplo extremo: Chedraui en Veracruz, tarifa HM, 3.6 GWh/año). Tomando esa hipótesis muy razonable para el conjunto de las 2,315 tiendas de autoservicio, esto representa un consumo de **3,470 GWh/año**.

### **ii - Tiendas departamentales**

Para las tiendas departamentales se hace el mismo ejercicio que en el caso anterior. Se toma un valor intermedio razonable de las hojas caso del FIDE de 2 GWh/año y se multiplica el número de tiendas departamentales que existen de acuerdo a la ANTAD (957). Eso da un consumo anual de alrededor de **1,900 GWh/año**.

## **III.3.b - Consumo eléctrico estimado de los hoteles**

De acuerdo a la Asociación de Hoteles de México, en el país existen 13,057 hoteles con cerca de 516 mil cuartos. De acuerdo a los datos que maneja el FIDE en sus hojas caso, los hoteles consumen entre 10 y 42 MWh/cuarto-año. Utilizando el valor más bajo (10 MWh/cuarto-año) el consumo de energía de este conjunto de instalaciones es muy significativo ya que llega a **5,160 GWh/año**.

## **III.3.c - Consumo eléctrico estimado de los restaurantes**

La Cámara Nacional de la Industria de Restaurantes y Alimentos Condimentados (CANIRAC) tiene 243,000 establecimientos formales afiliados, de los cuales el 96% son PYMES (<http://www.caniracnacional.com.mx/que-cifras.php>) suministrados en baja tensión. Considerando que el 4% (9,720 establecimientos) son parte de grandes cadenas en tarifa OM y tomando de los datos de los casos FIDE un valor menor de consumo de 0.4 GWh/año-restaurantes (ejemplo extremo: McDonald's en Monterrey, 0.64 GWh/año), resulta en un consumo muy cercano a las **3,900 GWh/año**.

### III.3.d - Consumo eléctrico estimado de las escuelas

Para establecer valores para este universo de instalaciones se toma el número de escuelas y la población escolar para cada uno de los niveles educativos que reporta la Secretaría de Educación Pública en su sitio Internet (<http://www.sep.gob.mx/work/appsite/nacional/index.htm>) sin considerar los planteles de preescolar. A partir de esos datos y estableciendo un supuesto de consumo por plantel de 30.72 MWh/año/escuela, se establece un consumo total estimado de **4,800 GWh/año** para poco menos de 160,000 instalaciones.

### III.3.e - Consumo eléctrico estimado de los hospitales

Para establecer valores para este universo de instalaciones se toma el número de hospitales públicos y privados que reporta la Secretaría de Salud y Asistencia (<http://sinais.salud.gob.mx/infraestructura>). A partir de esos datos y estableciendo supuestos de consumo por tipo de instalación, se establece un consumo total de **4,000 GWh/año** para 21,208 instalaciones hospitalarias.

### III.3.f - Consumo eléctrico estimado de los edificios de oficinas

Para estimar el consumo total de energía eléctrica de los edificios de oficinas se hace una suposición muy general donde se considera que los edificios públicos de uso del gobierno federal son una décima parte del universo total de inmuebles de uso no residencial.

Se toma los datos del programa de edificios de la Administración Pública de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía (Conae). Este programa ha estado manejando información de los edificios de oficinas más grandes en el gobierno federal. De acuerdo a la base de datos que está disponible en la página de la Conae, en 2003 el programa manejaba 729 inmuebles que ocupaban 3.8 millones

de m<sup>2</sup> (5,271 m<sup>2</sup>/inmueble) y con un consumo anual cercano a los 370 GWh/año

([http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_2329\\_inmuebles\\_registrado](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2329_inmuebles_registrado)).

Así, se multiplica por diez el valor que se tiene para los edificios públicos, por lo que el total estimado para 8,000 edificios de oficinas es de **3,700 GWh/año**.



### III.3.g - Primera aproximación sobre el consumo total del sector de edificaciones

Sumando los números que se anotan arriba y tomando valores conservadores en cuanto a número de instalaciones consideradas y su intensidad energética, el estimado del consumo de energía eléctrica de los inmuebles del sector de servicios en México supera los 26,930 GWh al año como lo presenta la tabla III.3.g-1:

*Tabla III.3.g-1 – Consumo estimado de energía eléctrica en inmuebles del sector de servicios en México*

Tipo de inmueble	No. De inmuebles	Consumo anual estimado de electricidad (GWh)
Tiendas de autoservicio	2,315	3,470
Tiendas departamentales	951	1,900
Hoteles	13,057	5,160
Restaurantes	9,720	3,900
Escuelas	156,385	4,800
Hospitales	21,208	4,000
Edificios de oficinas	8,000	3,700
<b>Total</b>	<b>211,636</b>	<b>26,930</b>

Este valor estimado del consumo de energía eléctrica de los inmuebles del sector de servicios en México (26,930 GWh) es el doble del consumo del sector comercial registrado por CFE (13,229 GWh), lo cual corresponde a los 3,120,968 usuarios en tarifas 2, 3 y 7.

*Tabla III.3.g-2 – Consumo por sectores según estadísticas CFE del año 2006 [13]*

Sector	Usuarios	Consumo (GWh)
Doméstico	26,438,022	44,452
Comercial	3,120,968	13,229
Servicios públicos	164,418	6,577
Agrícola	110,235	7,959
Mediana ind.	196,119	65,266
Gran Industria	699	37,887
<b>Total</b>	<b>29,940,461</b>	<b>175,371</b>

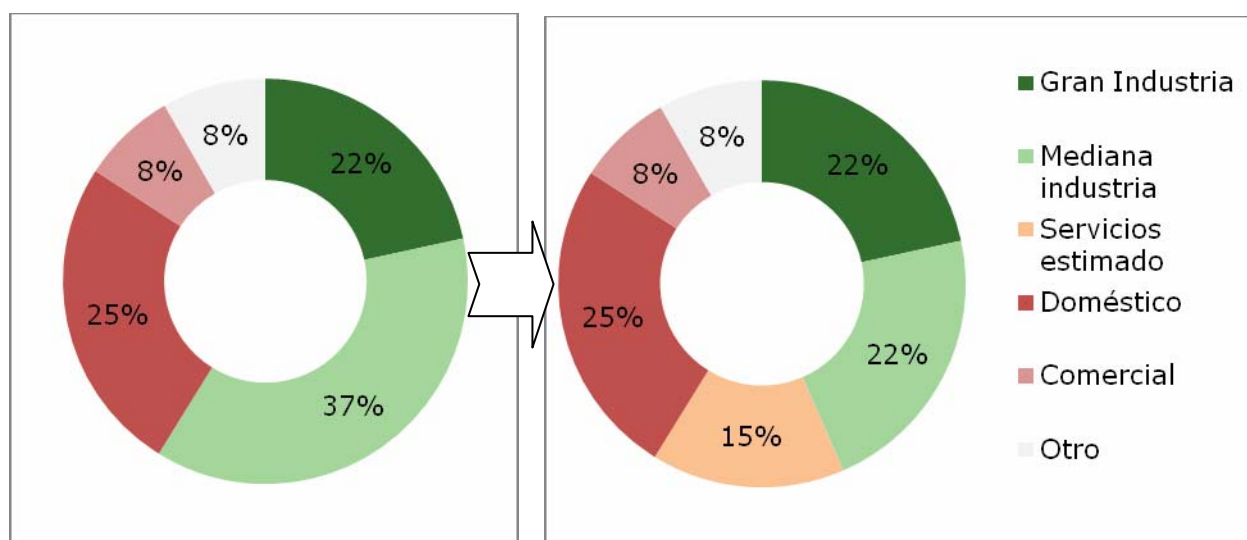
Es muy importante anotar que el número estimado de inmuebles (más de 211 mil) supera al número de usuarios registrados en las tarifas OM y HM que corresponden al sector CFE de mediana industria (más de 196 mil), lo que evidencia una sobrestimación en el número de inmuebles, aunque no necesariamente del consumo energético de los conjuntos de inmuebles referidos dado que las hipótesis de cálculos de consumo eran bajas.

Por lo mismo, cabe reiterar que este es un ejercicio que busca evidenciar una subestimación en las estadísticas oficiales respecto al consumo de energía en el sector de servicios, no una cuantificación precisa de ese consumo.

Ahora bien, por el año 2006, si se suma el consumo del sector doméstico (44,452 GWh) más el del sector comercial (13,229 GWh) más el estimado de la tabla III.3.g-1 (26,930 GWh) se obtiene 84,611 GWh. Si, por otro lado, se descuenta el estimado de la tabla III.3.g-1 a la categoría de mediana industria (que da 38,336 GWh) y ese valor se lo suma a la categoría de gran industria (37,887 GWh) le resulta en un total de 76,223 GWh, lo que es menor al del primer conjunto como lo muestra la tabla III.3.g-3.

*Tabla III.3.g-3 – Estimado de consumo de energía eléctrica en edificios de uso residencial y comercial contra industrial*

Sector	Consumo (GWh)	Peso relativo
Doméstico	44,452	25%
Comercial	13,229	8%
Edificios en tarifas OM y HM (estimado)	26,930	15%
<b>Subtotal edificaciones</b>	<b>84,611</b>	<b>48%</b>
Mediana ind. – edificios OM y HM (estimado)	38,336	22%
Gran industria	37,887	22%
<b>Subtotal industria</b>	<b>76,223</b>	<b>44%</b>



*Figura III.3.g-1 – Estimado de peso relativo de consumo de energía eléctrica en edificios de uso residencial y comercial contra el resto*

Es decir que el consumo de energía eléctrica de origen pública (es decir no de los PEE's) de las edificaciones e inmuebles de uso residencial y comercial es posiblemente mayor que el consumo de energía eléctrica en instalaciones industriales (de gran y mediana).

## *III.4 - Conclusiones*

El análisis de la información disponible del parque de inmuebles del sector servicios y de sus consumos de energía eléctrica evidencia claramente que la forma en la que actualmente se pondera a los inmuebles de uso no residencial que corresponden al sector de servicios (como son hoteles, escuelas, bancos, restaurantes y centros comerciales) lleva a una subestimación significativa de su consumo de energía.

Los números que aquí se han anotado (y que no incluyen el universo de todos los inmuebles del sector de servicios) muestran que los valores que se manejan en las estadísticas nacionales de energía subestiman, hasta por un factor de tres, al consumo de lo que se define en esas estadísticas como sector "comercial".

Igualmente – y sumando al uso en el universo de los inmuebles del sector residencial – esto puede significar que el uso de energía eléctrica en inmuebles supere al del sector industrial.

Es necesario, por supuesto, un estudio más extenso y minucioso que corrobore y ajuste las estimaciones aquí referidas. Sea cual fuere el resultado, no debe variar notablemente respecto de los valores aquí anotados, lo que inevitablemente debe llevar a que la política energética nacional tome mucho más en serio el fenómeno del crecimiento del sector servicios y a de los inmuebles donde lleva a cabo sus actividades.

Así, quienes son responsables del sector deben realizar las labores necesarias para una mejor caracterización del sector en cuanto a parque instalado, consumos de energía por tipos de inmuebles, por región y por usos finales (que determinan su efecto en el sistema eléctrico en cuanto a demanda máxima y, por lo tanto, necesidades de inversión).

Luego, hay que redefinir las estrategias de los programas de ahorro de energía para este tipo de instalaciones, en buena medida porque es allí (a lo mejor más que en otros sectores que ha sido priorizados en el pasado) donde hay un gran volumen de energía que se puede ahorrar o usar de manera más eficiente.

---

# Capítulo 4 – FUNDAMENTOS DEL CONSUMO DE ENERGÍA EDIFICACIONAL EN EL CONTEXTO DE MÉXICO

---

## *IV.1 - Introducción: arquitectura y energía*

Hablar de arquitectura y energía es entrar a dos temas que se relacionan estrechamente: la arquitectura moderna se ha desarrollado gracias a que se tienen formas de energía que permiten un manejo casi ilimitado de posibilidades de diseño. Sin iluminación artificial, o sin equipos de aire acondicionado o de calefacción, muchos diseños actuales no podrían ser habitados o utilizados para su propósito original. De hecho, es la disponibilidad de energía en forma de electricidad, combustible líquido o gas – y la tecnología que permite convertirla en energía luminosa, en calor o en frío – la que permite esas casi infinitas posibilidades de creatividad de la que son capaces los arquitectos modernos.

Sin embargo, la realidad de la economía y las tensiones del mercado energético obligan a buscar los menores costos de construcción y de operación posibles. Igualmente, la consideración del medio ambiente implica una obligación que lleva a ser más cuidadoso con el entorno natural.

Todo lo anterior ha dado lugar a que los límites de lo posible en el diseño arquitectónico se reduzcan y a que los arquitectos tengan que ser más cuidadosos con lo que diseñan.

## *IV.2 - Contexto y proceso en México*

En la historia reciente de la humanidad concurren tres procesos que han transformado la forma en la que se diseñan, construyen, ordenan y utilizan los espacios construidos: la industrialización, la urbanización y la electrificación.

Primero, la industrialización ha dado lugar a un proceso en el que la energía adquiere mayor importancia y, por lo tanto, a su mayor disponibilidad en sus

diferentes formas. Además, ese proceso ha traído consigo la aparición de nuevos materiales y nuevas formas de construir los espacios donde los seres humanos pasan sus vidas.

El camino de la urbanización, obviamente ligado a la industrialización, ha llevado a nuevas formas de organización y de ordenamiento de los espacios en la geografía de las ciudades.

Finalmente, la electrificación, que implica el uso de equipos específicos para que estos espacios tengan condiciones adecuadas para la ocupación por los seres humanos, ha llevado a una mayor dependencia en la tecnología.

En México, país con un proceso de acelerada urbanización a partir de la década de los cuarenta, la asociación entre energía y arquitectura se fue intensificando empujada por el propio proceso de industrialización y urbanización, pero en un sentido en el que los bajos precios de la electricidad permitieron que el recurso de la tecnología de iluminación artificial o de aire acondicionado fuera cubriendo los espacios que antes estaban cubiertos por el diseño arquitectónico. De esta manera, los arquitectos se concentraban en elementos de estética y de costo de construcción, dejando a los ingenieros el resolver los problemas de confort que sus diseños pudieran significar. Este divorcio, sin embargo, ha resultado, en la medida en la que han aumentado los precios de la energía, en fuertes impactos en los costos de operación de los inmuebles y, a su vez, en demandas de mayor capacidad de generación de electricidad.

Al proceso anterior se le han unido dos más recientes que apoyan la necesidad de una nueva actitud respecto al diseño de los inmuebles en México.

Por un lado, el desarrollo económico ha dejado de ser centralizado y la región norte y algunas ciudades costeras han tenido crecimientos mayores a los del centro del país. Este fenómeno, que data aproximadamente de la década de los ochentas, ha dado lugar a que cada vez se construya más en regiones con climas más extremos, particularmente de tipo cálido seco y húmedo.

Igualmente, la transformación de la economía nacional, reflejando tendencias internacionales, es responsable de una actividad creciente del sector comercios y servicios, lo cual implica una mayor cantidad de inmuebles para ocupación en condiciones de confort.

De esta manera, el país requiere de cada vez más inmuebles y estos están cada vez más localizados en regiones donde las condiciones obligan a mayores intensidades energéticas.

## IV.3 - Las condiciones que determinan el consumo de energía de un inmueble

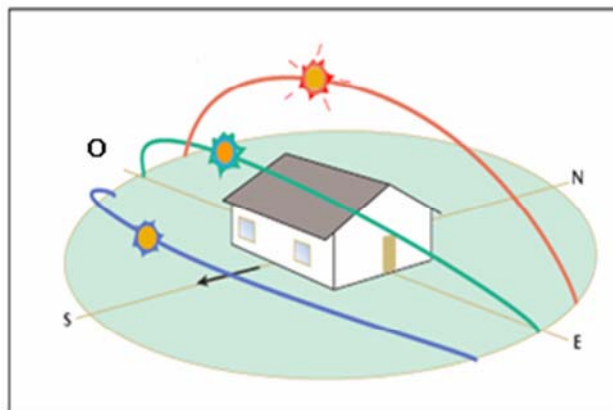
El consumo de energía de un inmueble está determinado por muchas condiciones, las cuales pueden ubicarse en dos categorías: predeterminadas y variables. De manera general, a las condiciones predeterminadas se puede definir como aquellas que se fijan durante el proceso de diseño y que no varían en la mayor parte de la vida útil del inmueble; por su parte, las dinámicas dependen de las condiciones externas y de operación del inmueble y varían durante el día, la semana o el año.

### IV.3.a - Condiciones predeterminadas

Son elementos con los que se puede jugar en la etapa del diseño pero que, una vez tomada la decisión, se mantienen a lo largo la mayor parte de la vida útil del espacio construido.

#### i - La localización y la orientación

La localización, que es la primera variable que se fija y la única que no puede variar, determina condiciones que varían a lo largo del día y de las estaciones del año. En particular, la localización determina, de manera general, el clima al que está sujeto el inmueble (cálido, templado, seco o árido). Asimismo, la posición sobre el globo terráqueo, en particular la referente al Ecuador (latitud), junto con la orientación que se determina para los diferentes elementos expuestos a la intemperie de una edificación, permiten establecer los ángulos con los que, para las distintas horas del día, para los diferentes días del año y para cada una de las orientaciones de las fachadas, llega la radiación solar directa, la cual puede ser determinante para las condiciones de confort de un espacio interior.



*Figura IV.3.a-1 – Trayectoria del sol en el cielo a lo largo del año*

## ii - La envolvente y los materiales de construcción

A su vez, las características de los materiales de la envolvente, ya sean translúcidos o no, determinan los flujos de la radiación solar incidente hacia los espacios internos. Una vez adentro, ya sea únicamente como iluminación (radiación visible) o como calor (radiación infrarroja) los niveles de esta radiación modifican el confort del espacio interior.

Existe en la actualidad un conjunto muy variado de materiales de construcción que tienen características que influyen de manera importante en la eficiencia energética de los inmuebles. Los materiales aislantes, por ejemplo, se presentan de diversas maneras, ya sea sólida o líquida, y pueden ser instalados de manera tradicional o a través de procesos mecanizados. A su vez, existe un rango bastante amplio de vidrios y de superficies reflejantes que permiten evitar la entrada de la radiación solar a los espacios internos o el calentamiento de las superficies externas opacas.



*Figura IV.3.a-2 – Técnicas de mejora de envolvente edificacional en climas cálidos*

## IV.3.b - Condiciones variables

El clima y las cargas térmicas internas son condiciones que varían a lo largo de cada día y se pueden mover en direcciones concurrentes u opuestas.

Al clima lo podemos definir, fundamentalmente, por cinco variables: temperatura, humedad, nubosidad, velocidad y dirección del viento.

A las cargas térmicas internas se les identifica en dos categorías: equipos y personas. A estas cargas, aunque pueden ser desagregadas en una variedad importante de fuentes de calor, generalmente se les asigna un valor fijo que se mantiene durante un horario establecido durante días hábiles y no hábiles.

## IV.4 - Interacción de las variables

Los dos conjuntos de variables definidos anteriormente interactúan para afectar el consumo de energía del inmueble. De esta manera, al diseñar un inmueble buscando limitar sus niveles de consumo energético, es necesario considerar la evolución de las variables dinámicas para fijar las estáticas. Por ejemplo, la variación de la radiación solar sobre una superficie dada o los cambios

esperados en la temperatura exterior durante el día deben, para que el diseño no implique altos consumos de energía, determinar las características de los materiales de la envolvente.

Igualmente, la forma en la que la envolvente rechaza o permite la entrada o salida de flujos de calor y el nivel en el que éstos se agregan a otras cargas con el mismo sentido (frío o calor) determina el tamaño de los sistemas que permiten mantener niveles de confort adecuados al interior de los espacios.

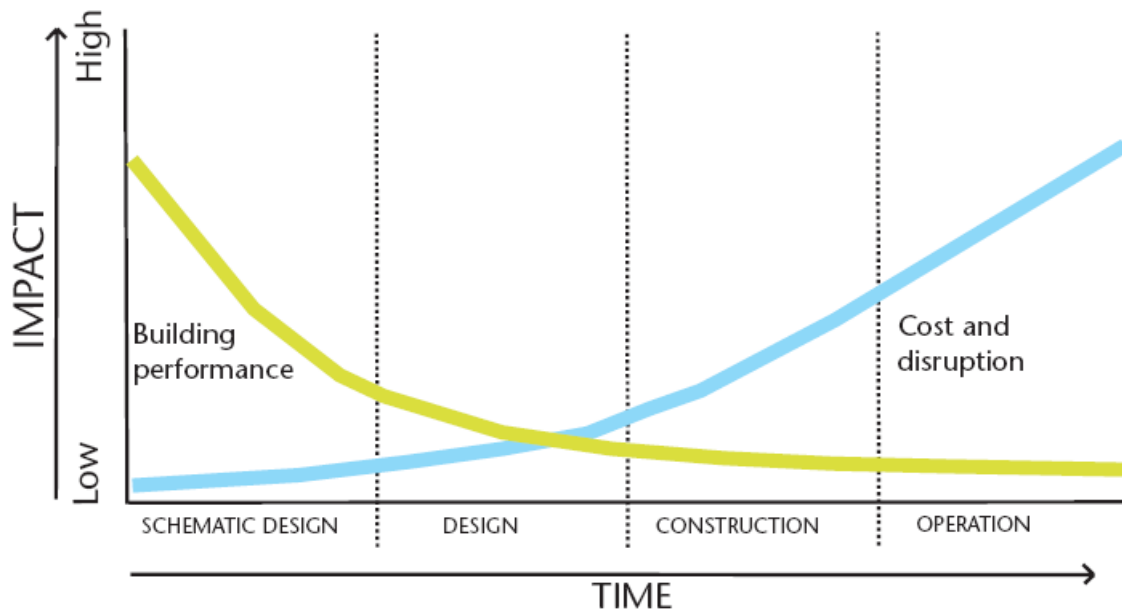
De manera tradicional, para propósitos de definir las capacidades de los equipos para acondicionamiento de aire (sea calefacción o refrigeración), a las variables que definen las condiciones del clima se les ha considerado en sus valores extremos, particularmente a la temperatura y humedad.

Sin embargo, gracias al desarrollo de la informática y, por lo tanto, al de herramientas de simulación y análisis de sistemas, hoy día se manejan series de tiempo horarias de todas las variables por cuando menos un año, es decir, que se utilizan datos reales de la variación horaria de temperatura, humedad, condiciones de viento y radiación solar para determinar no solo las capacidades necesarias de los equipos de aire acondicionado, sino también de las características de la envolvente, particularmente de sus materiales pero también de la orientación (si esto es posible) de los distintos elementos de la construcción expuestos a la intemperie.

## *IV.5 - El ciclo de vida de la edificación*

Uno de los resultados de las preocupaciones por economía e impacto ambiental ha sido la tensión que se presenta entre las economías del diseño y construcción y la de la operación: ahorrar en el costo de construcción de la edificación puede resultar en altos costos para quien la ocupa y opera. Muchas veces, desgraciadamente, este tipo de decisiones se toman por lo más económico en la construcción y esto se debe a que quien toma esas decisiones desconoce el impacto de un diseño dado sobre los costos de mantener el confort en el inmueble.





Source: Solidar, Berlin Germany

*Figura IV.5-1 – Impacto del diseño en el ciclo de vida de la edificación*

Existen, sin embargo, dos tendencias que están llevando a los arquitectos a buscar formas de encontrar un balance entre presente y futuro.

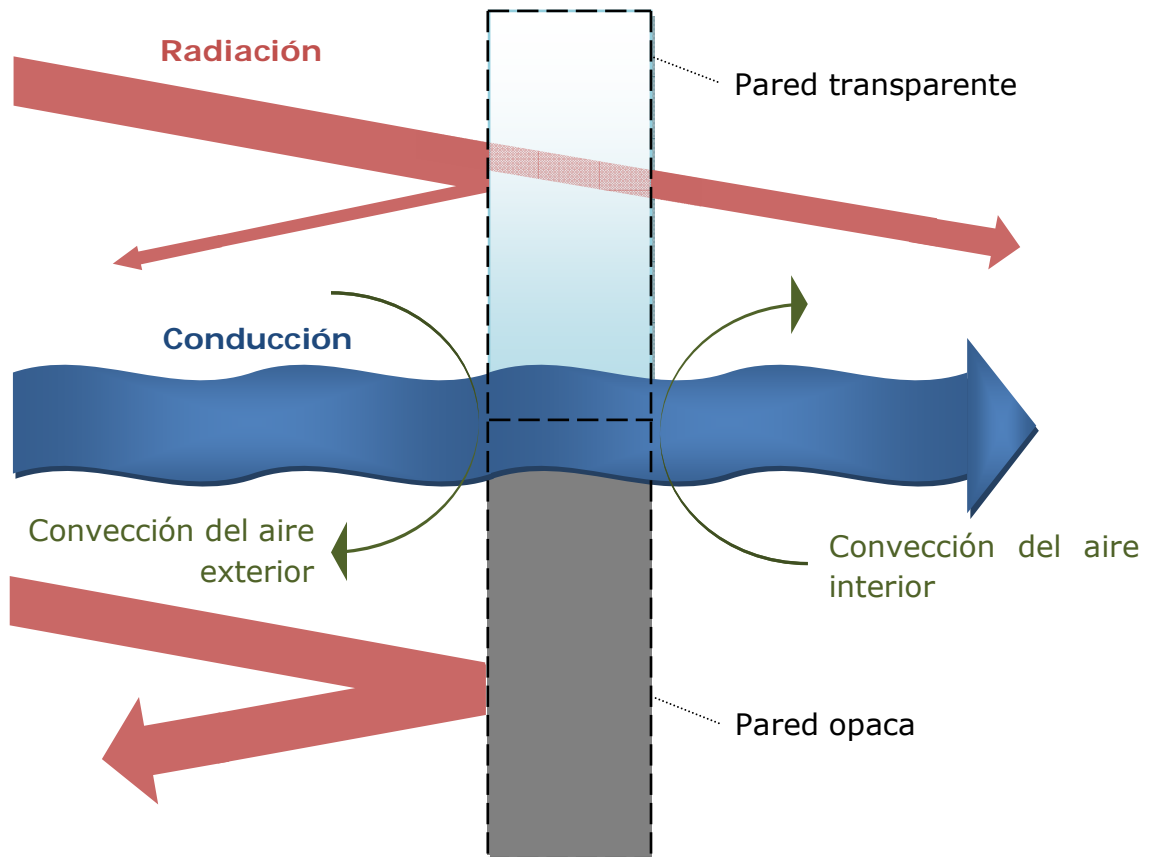
Por un lado, los rentadores de espacios para actividades de empresa buscan más encontrar en los inmuebles aspectos técnicos que van más allá de la pura localización o imagen, sino que buscan economía de operación a través de buenos diseños con equipos eficientes.

Por otro lado, la tendencia a la aplicación de normas (ya sean voluntarias u obligatorias), las cuales están diseñadas en función de los costos de vida útil del inmueble – y no nada más de la construcción – integrando los costos sociales que una mayor demanda eléctrica o una mayor contaminación representan, ponen un límite a quienes no toman en consideración elementos de eficiencia energética.

## *IV.6 - Ganancia de calor de envolvente de edificación*

Como se mencionó en la parte anterior, el consumo de energía de una edificación está determinado por muchas condiciones dentro las cuales las características de la envolvente son muy importantes.

Una envolvente de edificación se compone de dos familias de elementos: se habla de parte opaca y de parte transparente, las cuales están sujetas a transferencia de calor por medio de convección, conducción y radiación (figura IV.6-1).



*Figura IV.6-1 – Modos de transferencia de calor a través de pared opaca o transparente*

➤ **Conducción**

Ese modo de ganancia de calor corresponde a ambas paredes opaca y transparente. La cantidad de calor que se puede transferir por conducción a través de una pared es directamente proporcional a la característica intrínseca del material

(su valor  $U$ , en  $W/m^2\text{°C}$ ), a la diferencia de temperaturas entre los dos espacios

que separa la pared ( $T_{ext} - T_{int}$ , en  $\text{°C}$ ) y a su área ( $A$ , en  $m^2$ ).

➤ **Radiación**

La ganancia de calor por medio de radiación solar corresponde nada más a las paredes de tipo transparente. La cantidad de calor que se puede transferir por

radiación a través de una pared es directamente proporcional a la característica intrínseca al material (su coeficiente de sombreado  $\tau$ , adimensional), a su área ( $A$ , en  $m^2$ ), y a la cantidad de energía solar que recibe la pared, la cual es función de la hora del día, de la latitud, de la localización de la edificación y de la orientación de la pared (en  $W/m^2$ ) entre otras cosas.

### ➤ Convección

Ese tipo de transferencia de calor corresponde al proceso de transferencia de calor como resultado del movimiento de un fluido. En los cálculos de ganancia de calor de envoltente de edificación ese tipo de transferencia de calor interviene a la superficie exterior y interior de las paredes consideradas a través de un coeficiente

llamado conductancia superficial ( $h$ , en  $W/m^2\text{°C}$ ).

---

# Capítulo 5 – ESTUDIO COMPARATIVO DE MEJORA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE CASA INDIVIDUAL ENTRE FRANCIA Y MÉXICO

---

## *V.1 - Introducción: objetivo del trabajo*

El principio del trabajo que sigue consiste en comparar las márgenes de maniobra para mejorar la eficiencia energética de dos casas equivalentes dentro de dos contextos diferentes. El caso francés siendo diferente del caso mexicano sobre muchos puntos de vista, se debe comenzar delimitando precisamente el dominio del estudio.

El punto de inicio del razonamiento se define a partir de un proyecto del Centro de Construcción del ITESM campus Monterrey dirigido por el Ing. Gautier Lahitte que consiste a construir una casa en el municipio de Guadalupe, Nuevo León, según un objetivo de sostenibilidad: proponer un hogar cómodo a menor precio y mayor vida útil – la futura propietaria de la vivienda siendo empleada del ITESM y elegida de manera aleatoria dentro de un grupo de empleados constituido según criterios específicos.

El objetivo del estudio comparativo es doble:

1. hacer el diagnóstico de la eficiencia energética de una casa que se pretende construir según la metodología propuesta en el anteproyecto de NOM-020-ENER de eficiencia energética de envolvente de edificación residencial a partir de los datos arquitecturales y estructurales completos e identificar los ahorros posibles respecto al consumo de energía en diferentes casos de aislamiento y de vidrio empleado;

2. hacer el diagnóstico energético de una casa virtual equivalente en término de superficie, de tecnología y de nivel de confort en el contexto francés con las herramientas locales, y comparar los ahorros posibles que hacer en diferentes casos de aislamiento y de vidrio empleado tomando en cuenta la criterios como el poder adquisitivo disponible y los precios de la energía.

## *V.2 - Eficiencia energética de la casa Rosenda (México, Nuevo León)*

### *V.2.a - El anteproyecto de NOM-020-ENER*

La normalización para la eficiencia energética en edificación de uso residencial representa un esfuerzo encaminado a mejorar el diseño térmico de edificios, y lograr la comodidad de sus ocupantes con el mínimo consumo de energía. [14]

En México el acondicionamiento de estas edificaciones repercute en gran medida en la demanda pico del sistema eléctrico, siendo mayor su impacto en las zonas con climas extremosos como zonas del norte y costeras del país.

En este sentido, hay que optimizar el diseño desde el punto de vista del comportamiento térmico de la envolvente, obteniéndose como beneficios, entre otros, el ahorro de energía por la disminución de la capacidad de los equipos de enfriamiento.

El anteproyecto de NOM-020-ENER sigue la metodología propuesta en la NOM-008-ENER-2001 respecto a la eficiencia energética de la envolvente de edificios no residenciales, adaptándola al caso doméstico.

### *V.2.b - Presentación del estudio energético de la casa Rosenda*

Basando los cálculos sobre los datos geométricos y estructurales propuestos por los ingenieros civiles responsables del proyecto, el estudio energético propone cuatro casos a fin de poner en evidencia las mejores decisiones en término de aislamiento térmico:

➤ **Caso 1** – envolvente sin aislamiento en las paredes

- **1.a** – con vidrio sencillo no recubierto (1/4", transparente, coeficiente de sombreado  $CS=0.82$ , coef. de

transferencia de calor  $U=5.56 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,

marco fijo de madera)

- **1.b** – con doble vidrio no recubierto (1/4" transp. – 1/4" aire – 1/4" transp.,

$CS=0.60$ ,  $U=3.18 \text{ W/m}^2\text{K}$ , marco fijo de

madera)

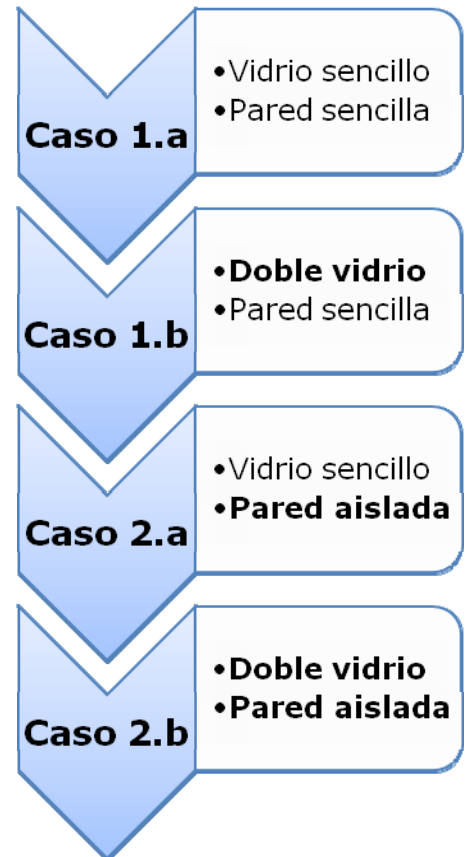
➤ **Caso 2** – con una capa de 10 cm de poliestireno extruido en las paredes de las fachadas y del techumbre ( $\lambda=0.037 \text{ W/mK}$ )

- **2.a** – con vidrio sencillo no recubierto (1/4", transparente,  $CS=0.82$ ,

$U=5.56 \text{ W/m}^2\text{K}$ , marco fijo de madera)

- **2.b** – con doble vidrio no recubierto (1/4" transp.–1/4" aire–1/4"

transp.,  $CS=0.60$ ,  $U=3.18 \text{ W/m}^2\text{K}$ , marco fijo de madera)



Las simulaciones gráficas hechas por los ingenieros civiles a partir de los planos muestran una vista de la vivienda:



*Figura V.2.b-1 - Simulación informática de la vista de la casa Rosenda una vez construida [15]*

*Nota: la anexa sur visible en la primera imagen no hace parte de la estructura estudiada, la única envolvente calculada siendo la de la segunda imagen*

Se trata de una casa de dos niveles, con cimentaciones de concreto, vigas y columnas de madera.

A continuación se presentan las características generales de la casa Rosenda estableciendo las superficies habitables, opacas y transparentes, y analizando las composiciones de las diferentes fachadas y del techumbre.

Luego se desarrolla en detalle el método del anteproyecto de NOM-020-ENER a fin de cuantificar los ahorros energéticos de los cuatros casos anteriores.

## V.2.c - Características generales de la casa Rosenda

### i - Superficie habitable total de la vivienda

Se calculan las superficies de ambos pisos y se los suman.

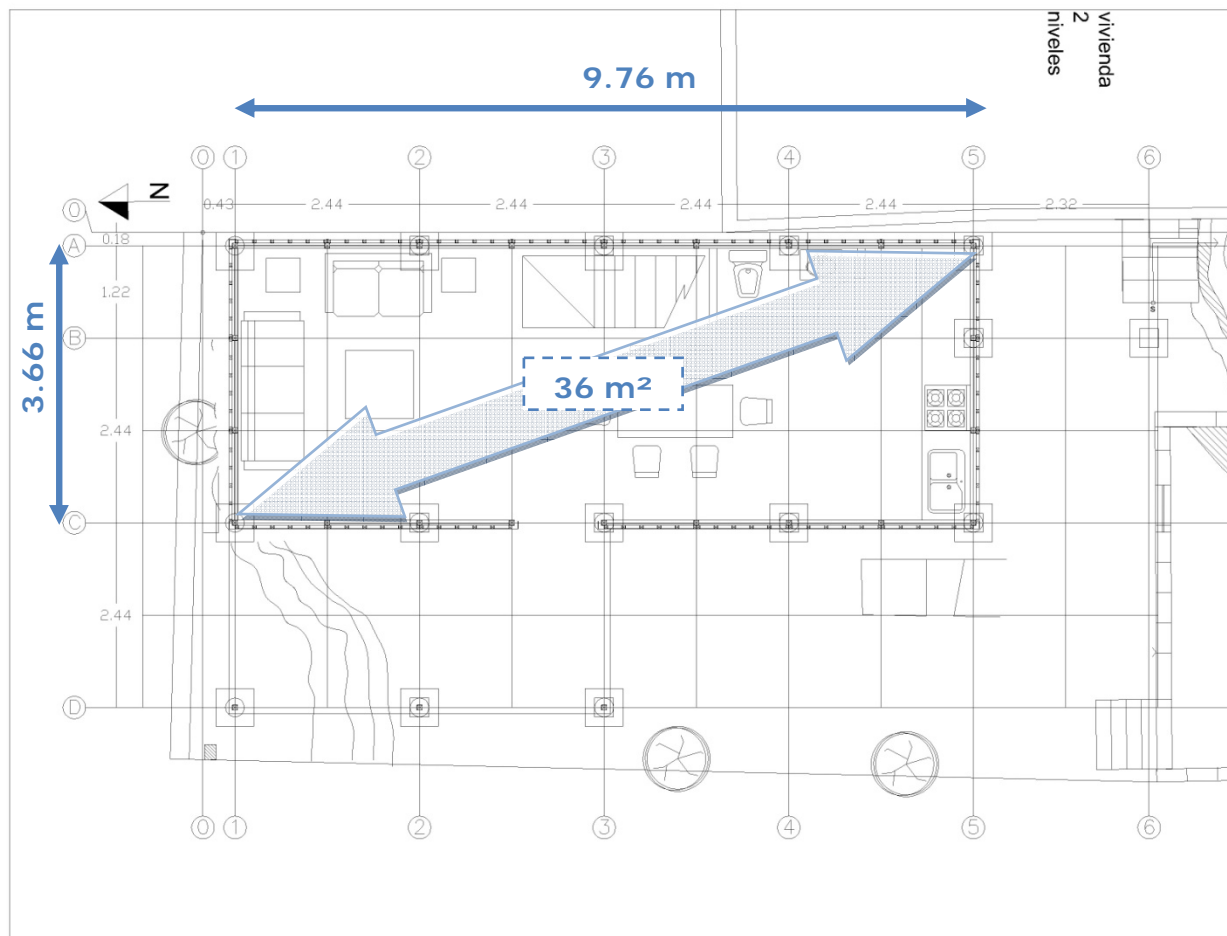




Figura V.2.c-1 - Plano de la planta baja de la casa Rosenda [15]

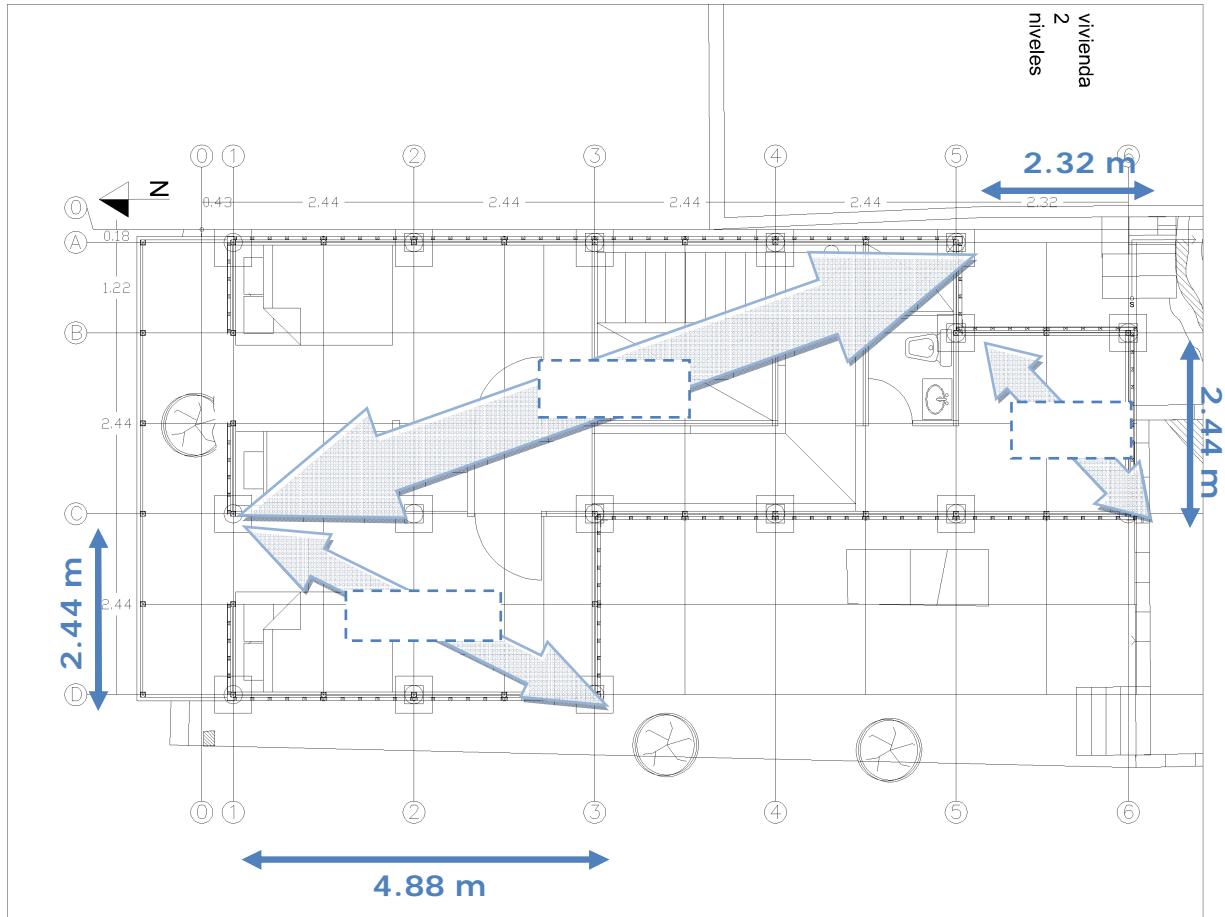


Figura V.2.c-2 - Plano de la planta baja de la casa Rosenda [15]

La superficie habitable total repartida en dos pisos es de 90 m<sup>2</sup> (969 ft<sup>2</sup>).

## ii - Características de las fachadas y del techo

*Nota: las zonas rayadas abajo de ciertas ventanas y arriba de ciertos muros se consideran como porciones de muro. Eso se debe a que las imágenes digitales presentan una versión con ventilación natural cruzada mientras en la realidad la casa contará con sistema de aire acondicionado.*

Se describe las características de cada porción de la envolvente de la casa Rosenda siguiendo esas etapas:

- Presentación de las partes opacas (amarillo) y transparentes (azul) de la fachada entera y del techumbre (morado) – vista integral y corte lateral para ambas plantas;
- Composición interna de una fracción de pared según casos 1 y 2 en término de materiales y de espesores – corte lateral;
- Cálculo de la resistencia térmica de la parte opaca (caso 1 y 2) y de la resistencia térmica de la parte transparente (caso a y b).

**1 - Fachada norte**



*Figura V.2.c-3 - Vista integral de la fachada norte*



Figura V.2.c-4 - Corte transversal de la pared norte de la planta baja

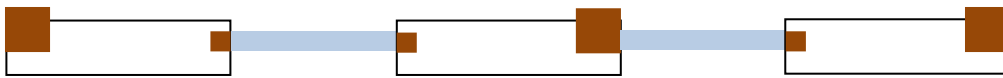


Figura V.2.c-5 - Corte transversal de la pared norte de la planta alta

La estructura interna de la pared es la siguiente:

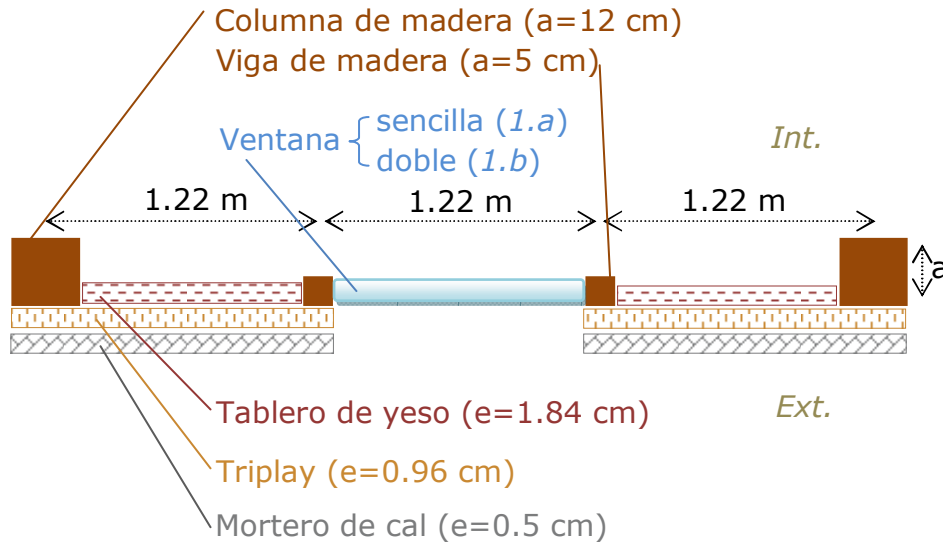
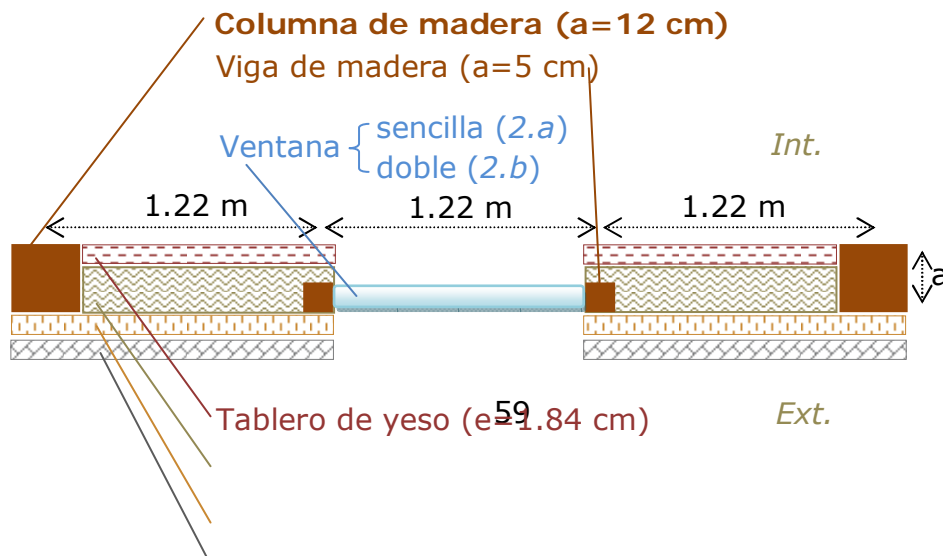


Figura V.2.c-6 - Corte transversal de la pared norte (caso 1.a y 1.b)



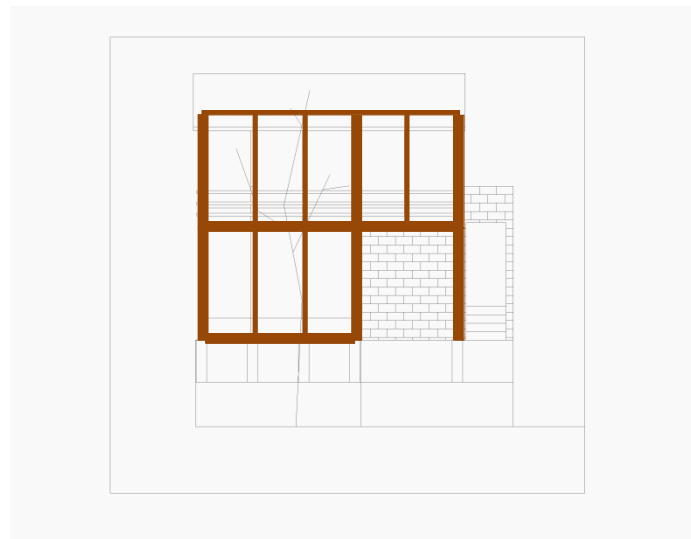
Poliestireno (e=10 cm)

Triplay (e=0.96 cm)

Mortero de cal (e=0.5 cm)

*Figura V.2.c-7 - Corte transversal de la pared norte (caso 1.a y 1.b)*

A fin de calcular las resistencias térmicas de las paredes, se debe tomar en cuenta el hecho de que la pared sea compuesta de capas de materiales homogéneas y no homogéneos al mismo tiempo. La figura V.2.c-8 muestra una vista de la fachada considerando las vigas verticales y longitudinales existencia de una viga de madera (similar a las columnas) al nivel del suelo y otra al nivel del techo.



*Figura V.2.c-8 – Vista de la estructura de vigas de la fachada norte*

## 2 - Fachada oeste

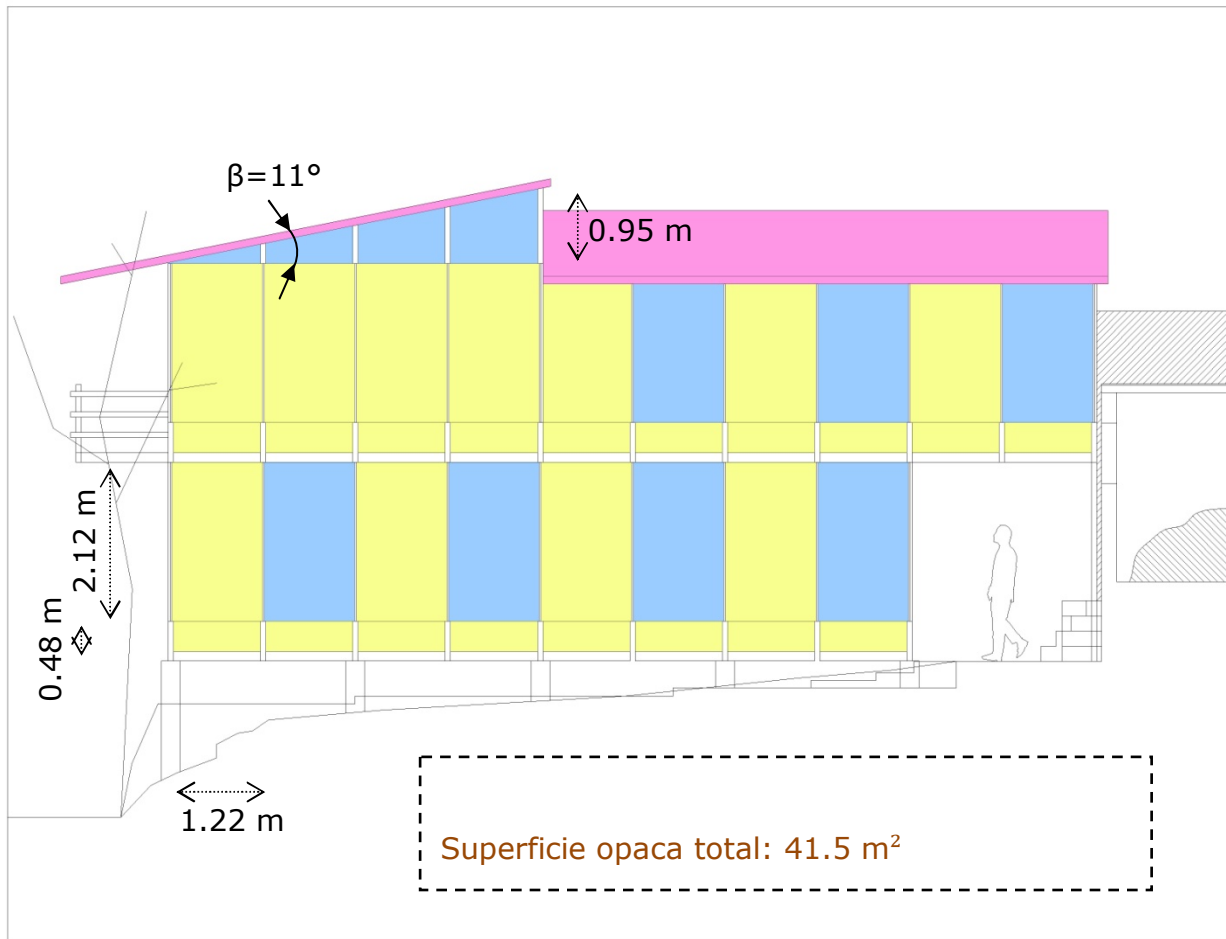


Figura V.2.c-9 - Vista integral de la fachada oeste



Figura V.2.c-10 - Corte transversal de la pared oeste de la planta baja

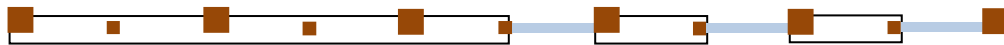


Figura V.2.c-11 - Corte transversal de la pared oeste de la planta alta

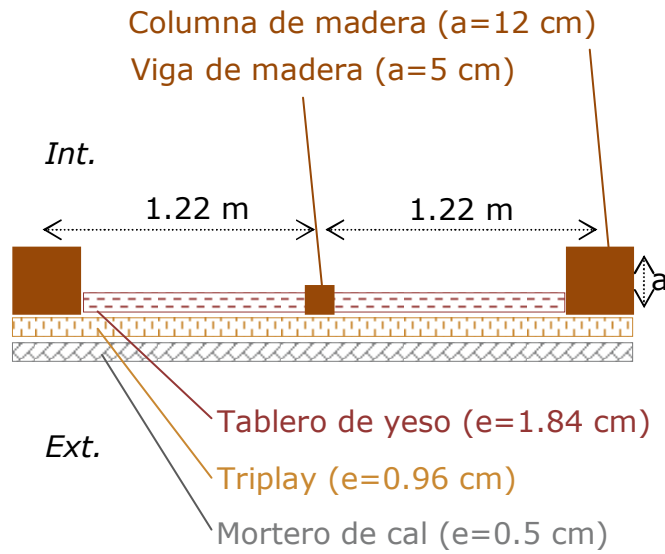


Figura V.2.c-12 - Corte transversal de la pared oeste (caso 1.a y 1.b)

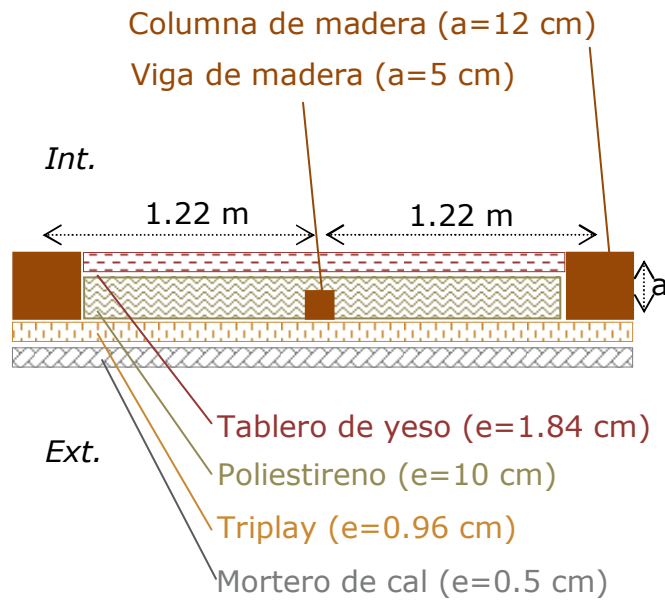


Figura V.2.c-13 - Corte transversal de la pared oeste (caso 2.a y 2.b)

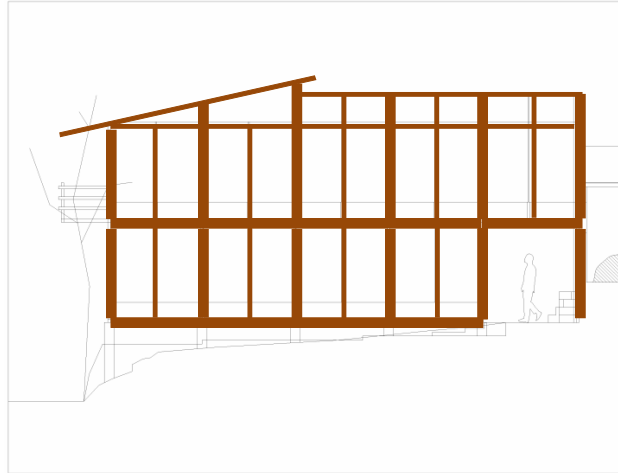


Figura V.2.c-14 - Vista de la estructura de vigas de la fachada norte

### 3 - Fachada sur

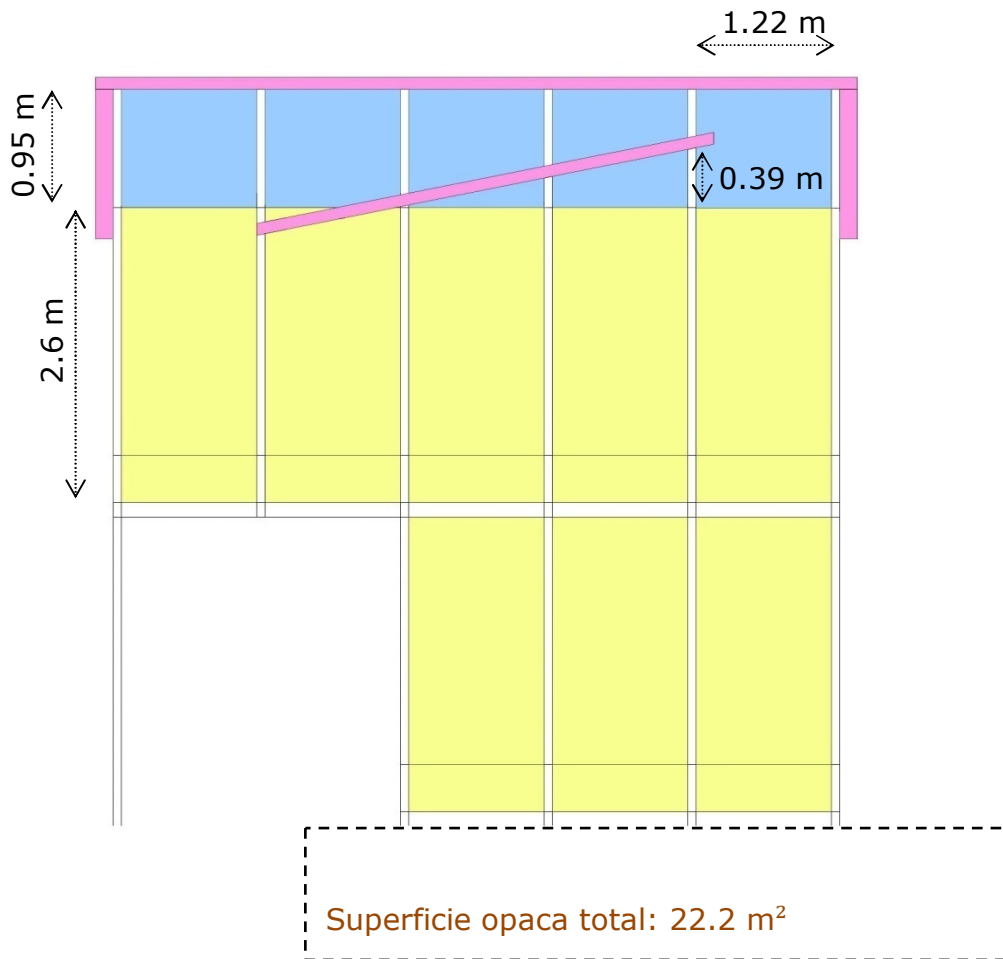
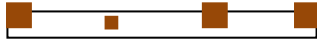
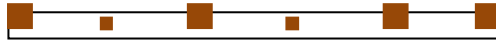


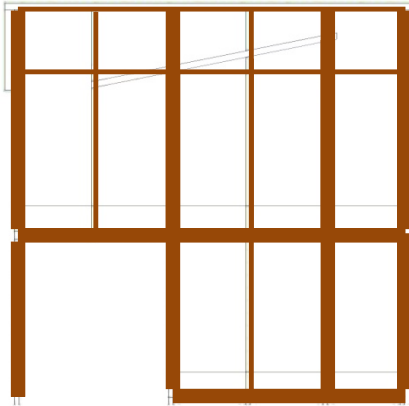
Figura V.2.c-15 - Vista integral de la fachada sur



*Figura V.2.c-16 - Corte transversal de la pared sud de la planta baja*



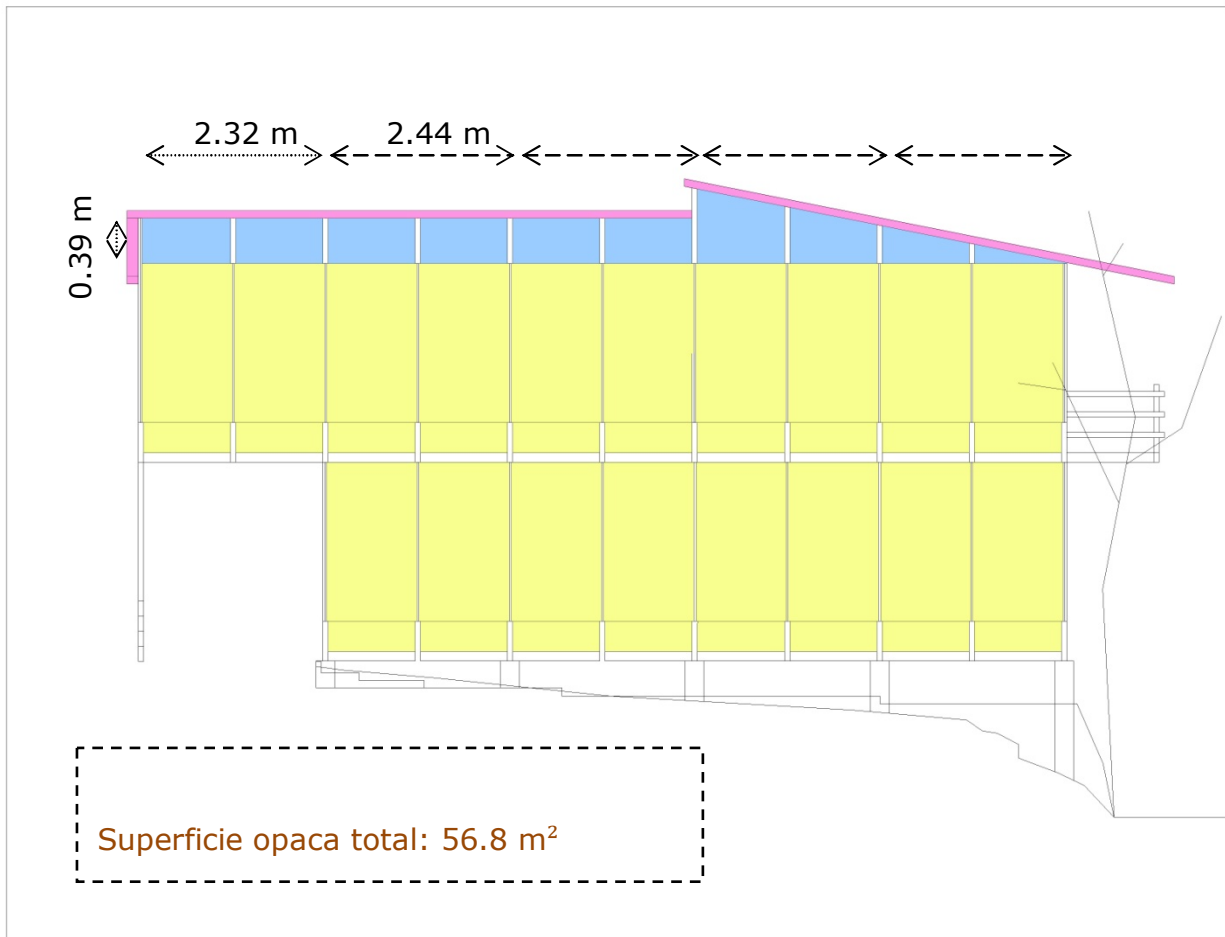
*Figura V.2.c-17 - Corte transversal de la pared sud de la planta alta*



*Figura V.2.c-18 - Vista de la estructura de vigas de la fachada norte*



#### 4 - Fachada este



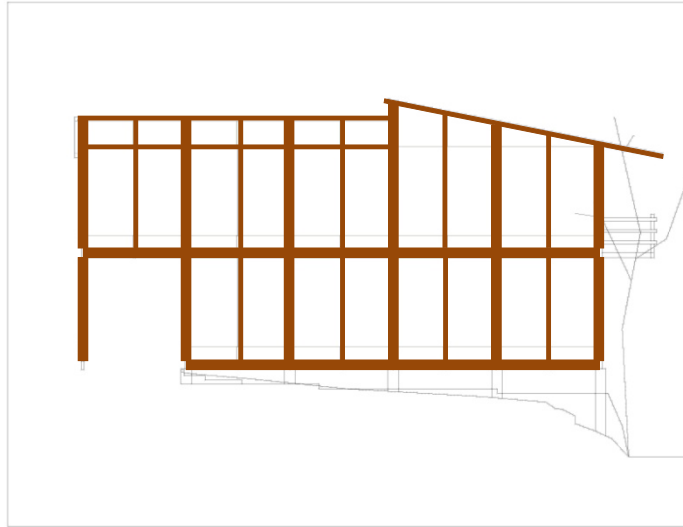
*Figura V.2.c-19 - Vista integral de la fachada sur*



*Figura V.2.c-20 - Corte transversal de la pared este de la planta baja*



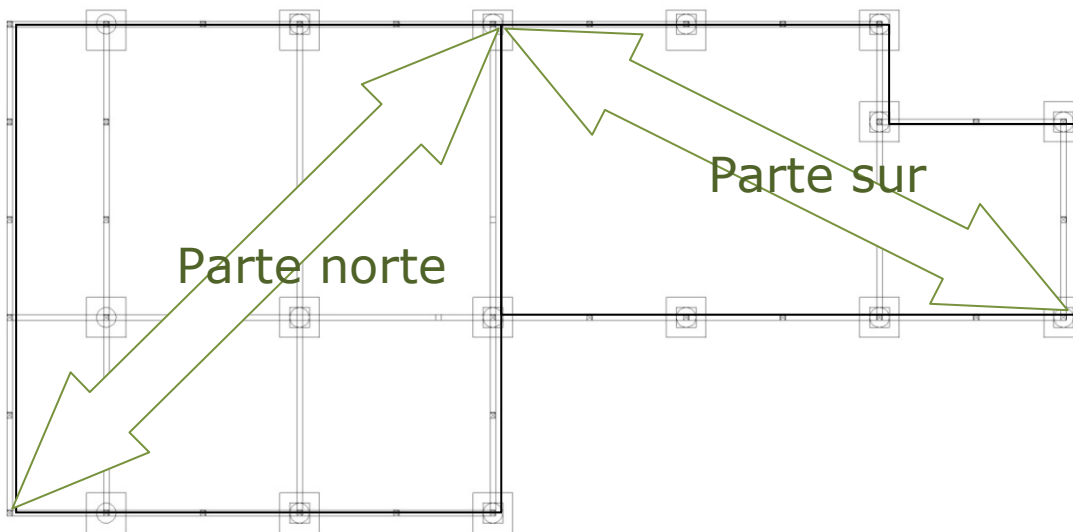
*Figura V.2.c-21 - Corte transversal de la pared este de la planta alta*



*Figura V.2.c-22 - Vista de la estructura de vigas de la fachada norte*

### **5 - Techumbre**

El techumbre se compone de dos elementos que difieren en término de ángulo de pendiente y de dirección de ranuras: la parte norte y la parte sur.



*Figura V.2.c-23 – Área de techumbre*

Sin embargo ambos se constituyen de los mismos materiales y las diferencias respecto a las secciones de vigas de madera que soporten cada parte son despreciables (entre 1 y 2% de diferencia en el cálculo de la resistencia térmica), por lo cual se considera un solo tipo de techumbre por la casa entera. Otra vez se consideran dos casos sin y con aislamiento de poliestireno:

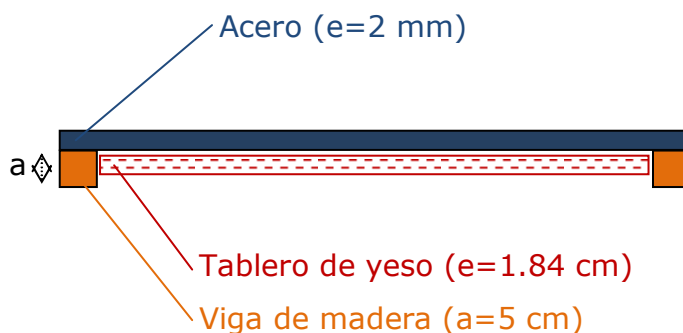


Figura V.2.c-24 - Caso 1, corte transversal del techumbre



Figura V.2.c-25 – Caso 2, corte transversal del techumbre

Las características de las cuatros paredes calculadas anteriormente y la superficie del techumbre están resumidas en la tabla V.2.c-1.

Tabla V.2.c-1 – Cálculos de áreas de las cuatras fachadas y del techo según el tipo de superficie

Tipo de superficie	Área total (m <sup>2</sup> )
Muro (opaco)	138.1
Ventanas (transparente)	39.1
Techumbre (opaco)	64.6

### iii - Cálculo de las resistencias térmicas

Ahora se pueden calcular las resistencias térmicas de cada fachada y del techumbre considerando esos puntos:

- Las resistencias térmicas de las paredes opacas son las mismas por cada fachada (N, O, S y E) dado que las composiciones internas son iguales,
- Las resistencias térmicas de las puertas ventanas y de las ventanas altas se consideran iguales (a vidrio sencillo de puerta ventana corresponde vidrio sencillo de ventana alta de espesor y coeficiente de sombreado igual, resp. para doble vidrio).

Los datos requeridos para el cálculo de la resistencia térmica ( $R, m^2 \cdot C/W$ ) de la porción de muro son las conductancias superficiales ( $h, W/m^2 \cdot K$ ), las conductividades térmicas ( $\lambda, W/m \cdot K$ ) y los espesores ( $e, m$ ) de cada capa de material:

Convección del aire exterior	$h_e = 13 W/m^2 \cdot C$
Mortero de cal exterior	$\lambda = 0.872 W/m \cdot C, e = 0.009m$
Triplay	$\lambda = 0.116 W/m \cdot C, e = 0.0096m$
Poliestireno	$\lambda = 0.037 W/m \cdot C, e = 0.1m$
Madera (cedro)	$\lambda = 0.130 W/m \cdot C, e = 0.05m \text{ o } 0.12m$
Tablero de yeso	$\lambda = 0.168 W/m \cdot C, e = 0.0096m$
Acero	$\lambda = 52.3 W/m \cdot C, e = 0.002m$
Convección del aire interior	$h_i = 8.1, 9.4 \text{ o } 6.6 W/m^2 \cdot C$ (cf. anexo 1)

Siguiendo la metodología propuesta en el apéndice B del anteproyecto de NOM-020-ENER (anexo 1), se obtiene los valores siguientes.

*Tabla V.2.c-2 – Valores de las resistencias térmicas de los elementos de la envolvente de la casa Rosenda según los cuatro casos de estudio*

		Caso 1 (sin aislamiento)		Caso 2 (con aislamiento)	
		1.a (vidrio sencillo)	1.b (doble vidrio)	2.a (vidrio sencillo)	2.b (doble vidrio)
$\frac{W}{m^2 \cdot C}$	Transparente	5.50	3.18	5.50	3.18
	Opaca	2.48	2.48	0.40	0.40

	Techumbre	2.95	2.95	0.34	0.34
--	-----------	------	------	------	------

## V.2.d - Aplicación del anteproyecto de NOM-020-ENER

Ese anteproyecto de norma nacional se aplica para edificación de uso residencial en México. [14]

Las unidades que se utilizan en esta norma corresponden al Sistema General de Unidades de Medida, único legal y de uso obligatorio en los Estados Unidos Mexicanos, con las excepciones y consideraciones permitidas en su norma NOM-008-SCFI vigente.

### i - Objetivo:

Esta norma limita la ganancia de calor de los edificios residenciales a través de su envolvente, con objeto de racionalizar el uso de la energía en los sistemas de enfriamiento.

El principio es de verificar que la ganancia de calor ( $\dot{Q}_p$ ) de la **edificación proyectada** (la edificación que se pretende construir) sea menor que la ganancia de calor ( $\dot{Q}_r$ ) de la **edificación de referencia** (la edificación con la misma orientación, las mismas condiciones de colindancia y las mismas dimensiones en planta y elevación de la proyectada).

$$\dot{Q}_p \leq \dot{Q}_r$$

Se aplica el método propuesto en el anteproyecto de norma para el caso de la casa estudiada a fin de verificar que cumpla con el requerimiento.

### ii - Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación residencial proyectada

La ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación proyectada, es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

$$\dot{Q}_p = \dot{Q}_{p,c} + \dot{Q}_{p,s}$$

en donde:

$\dot{Q}_p$  es la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación proyectada, en W;

$Q_{p,c}$  es la ganancia de calor por conducción a través de las partes opacas y no opacas de la envolvente de la edificación proyectada, en W;

$Q_{p,s}$  es la ganancia de calor por radiación solar a través de las partes no opacas de la envolvente de la edificación proyectada, en W.

### 1 - Ganancia de calor por conducción

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, techo y superficie inferior y utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{p,c} = \sum_{i=1}^6 Q_{p,c,i}$$

en donde:

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste, 6 es superficie inferior.

En el caso de estudio, la ganancia de calor por superficie inferior es de cero dado que esa porción de envolvente es directamente sobre la tierra.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación  $i$  se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{p,c,i} = \sum_{j=1}^n [U_j \times A_{i,j} \times (T_{ext} - T)]$$

en donde:

$Q_{p,c,i}$  es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación  $i$ , en W;

$j$  son las diferentes porciones que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tiene un coeficiente global de transferencia de calor;

$U_j$  es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción, en W/m<sup>2</sup>K;

$A_{t,i}$  es el área de la porción  $i$  con orientación  $t_i$ , en  $m^2$ ;

$t_{e,i}$  es el valor de la temperatura equivalente promedio especificada en la norma para la ciudad de Monterrey, N.L., para la orientación  $t_i$  en  $^{\circ}C$ ;

$t$  es el valor de la temperatura interior de la edificación residencial especificada en la norma para la ciudad de Monterrey, N.L., en  $^{\circ}C$ .

La tabla V.2.c-2 indica los valores de  $U$  que se deben utilizar en la parte siguiente:

*Tabla V.2.d-1 - Cálculo de ganancia por conducción para la casa Rosenda, caso 1.a*

$$Q_{p,ct} = \sum_{i=1}^n [U_i \times A_{t,i} \times (t_{e,i} - t)]$$

Porción	$U$				$Q_{p,ct}$ (W)
	(W/m <sup>2</sup> °C)	A (m <sup>2</sup> )	$t_e$ (°C)	$t$ (°C)	
Techumbre	2.95	64.6	44	25	3,624
Muro N	2.48	17.6	35	25	437
Ventana N	5.56	7.8	27	25	87
Muro O	2.48	41.5	38	25	1,340
Ventana O	5.56	20.4	28	25	341
Muro S	2.48	22.2	37	25	662

Ventana S	5.56	5.8	28	25	97
Muro E	2.48	56.8	39	25	1,975
Ventana E	5.56	5.1	28	25	85
$\Phi_{pct}$ (W)					<b>8,648</b>

Tabla V.2.d-2 - Cálculo de ganancia por conducción para la casa Rosenda, caso 1.b

$$\Phi_{pct} = \sum_{j=1}^n [U_j \times A_{ij} \times (t_e - t)]$$

Porción	$U$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$t_e$ (°C)	$t$ (°C)	$\Phi_{pct}$ (W)
Techumbre	2.95	64.6	44	25	3,624
Muro N	2.48	17.6	35	25	437
Ventana N	3.18	7.8	27	25	50
Muro O	2.48	41.5	38	25	1,340
Ventana O	3.18	20.4	28	25	195
Muro S	2.48	22.2	37	25	662
Ventana S	3.18	5.8	28	25	55
Muro E	2.48	56.8	39	25	1,975
Ventana E	3.18	5.1	28	25	49
$\Phi_{pct}$ (W)					<b>8,387</b>

Tabla V.2.d-3 - Cálculo de ganancia por conducción para la casa Rosenda, caso 2.a

$$\Phi_{pct} = \sum_{j=1}^n [U_j \times A_{ij} \times (t_e - t)]$$




Porción	$U$ (W/m <sup>2</sup> °C)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$t_e$ (°C)	$t$ (°C)	$\dot{Q}_{pci}$ (W)
Techumbre	0.34	64.6	44	25	420
Muro N	0.40	17.6	35	25	70
Ventana N	5.56	7.8	27	25	87
Muro O	0.40	41.5	38	25	214
Ventana O	5.56	20.4	28	25	341
Muro S	0.40	22.2	37	25	106
Ventana S	5.56	5.8	28	25	97
Muro E	0.40	56.8	39	25	315
Ventana E	5.56	5.1	28	25	85
$\dot{Q}_{pci}$ (W)					<b>1,734</b>

Tabla V.2.d-4 - Cálculo de ganancia por conducción para la casa Rosenda, caso 2.b

$$\dot{Q}_{pci} = \sum_{j=1}^n [U_j \times A_{fj} \times (t_{e_j} - t)]$$

Porción	$U$	$A$ (m <sup>2</sup> )	$t_e$ (°C)	$t$ (°C)	$\dot{Q}_{pci}$ (W)
---------	-----	-----------------------	------------	----------	---------------------

(W/m <sup>2</sup> °C)					
Techumbre	0.34	64.6	44	25	420
Muro N	0.40	17.6	35	25	70
Ventana N	3.18	7.8	27	25	50
Muro O	0.40	41.5	38	25	214
Ventana O	3.18	20.4	28	25	195
Muro S	0.40	22.2	37	25	106
Ventana S	3.18	5.8	28	25	55
Muro E	0.40	56.8	39	25	315
Ventana E	3.18	5.1	28	25	49
				 (W)	<b>1,473</b>

## 2 - Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia de calor por radiación a través de cada una de las partes no opacas, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{pse} = \sum_{i=1}^5 Q_{pse i}$$

en donde:

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste

La ganancia de calor por radiación solar a través de la componente con orientación  $i$ , se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{pse i} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_j \times SE_{ij}]$$

$\dot{Q}_{psi}$  es la ganancia de calor por radiación solar a través de las porciones no opacas de la envolvente de la edificación proyectada, en W;

$j$  son las diferentes porciones transparentes que forman la parte de la componente de la envolvente. Cada porción tendrá un coeficiente de sombreado, un factor de ganancia de calor solar y un factor de corrección por sombreado exterior;

$A_{ij}$  es el área de la porción transparente  $j$  con orientación  $i$ , en m<sup>2</sup>;

$CS_j$  es el coeficiente de sombreado del vidrio de cada porción transparente, según la especificación del fabricante, con valor adimensional entre cero y uno;

$FG_i$  es la ganancia de calor solar por orientación, determinada según las tablas de la norma (anexo 2), en W/m<sup>2</sup>;

$SE_{ij}$  es el factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente, determinado según el elemento utilizado para sombrear en las tablas de la norma (anexo 2), con valor adimensional entre cero y uno.

*Tabla V.2.d-5 - Cálculo de ganancia por radiación para la casa Rosenda, caso 1.a y 2.a*

$$\dot{Q}_{psi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_i \times SE_{ij}]$$

Orientación	Tipo	CS	A (m <sup>2</sup> )	FG (W/m <sup>2</sup> )	SE	$\dot{Q}_{psi}$ (W)
N	1	0.82	5.2	91	0.80	307
	2	0.82	2.6	91	0.80	155
S	3	0.82	5.3	118	0.96	493

	4	0.82	0.5	118	0.82	38
E y O	5	0.82	4.6	141.5	0.99	532
E	6	0.82	2.8	137	0.99	312
O	7	0.82	2.6	146	0.64	199
	8	0.82	2.6	146	0.94	291
	9	0.82	5.2	146	0.88	547
	10	0.82	5.2	146	0.78	483
	11	0.82	2.6	146	0.75	233
$\Phi_{psi}$ (W)						<b>3,282</b>

Tabla V.2.d-6 - Cálculo de ganancia por radiación para la casa Rosenda, caso 1.b y 2.b

$$\Phi_{psi} = \sum_{j=1}^m [A_{ij} \times CS_j \times FG_j \times SE_{ij}]$$

Orientación	Tipo	CS	A (m <sup>2</sup> )	FG (W/m <sup>2</sup> )	SE	$\Phi_{psi}$ (W)
N	1	0.6	5.2	91	0.80	225
	2	0.6	2.6	91	0.80	114
S	3	0.6	5.3	118	0.96	361
	4	0.6	0.5	118	0.82	27
E y O	5	0.6	4.6	141.5	0.99	389
E	6	0.6	2.8	137	0.99	228
O	7	0.6	2.6	146	0.64	146
	8	0.6	2.6	146	0.94	213
	9	0.6	5.2	146	0.88	400

	10	0.6	5.2	146	0.78	353
	11	0.6	2.6	146	0.75	170
					 (W)	<b>2,401</b>

Resumen de los resultados de ganancia de calor total de la edificación proyectada en los cuatros casos de estudio:

*Tabla V.2.d-7 – Resumen de los resultados obtenidos respecto a la ganancia de calor de la envolvente de la edificación proyectada*

(1.a)	(1.b)	Parte opaca				Parte transparente		TOTAL	
		Techo		Muro					
(2.a)	(2.b)								
$\dot{Q}_{p, \text{conducción}}$ (W)		3,624	3,624	4,414	4,414	609	348	8,648	8,387
		420	420	705	705	609	348	1,734	1,473
$\dot{Q}_{p, \text{radiación}}$ (W)						3,282	2,401	3,282	2,401
						3,282	2,401	3,282	2,401
								<b>11,929</b>	<b>10,788</b>
$\dot{Q}_p = \dot{Q}_{pc} + \dot{Q}_{ps}$ (W)								<b>5,016</b>	<b>3,874</b>

### iii - Cálculo de la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación residencial de referencia

#### 1 - Características de la edificación de referencia

Para que la edificación de referencia corresponda a la edificación proyectada, el área total de cada una de las componentes para cada orientación debe ser igual para ambos. Las paredes de la edificación de referencia se consideran con 90% de parte opaca (muro) y 10% de parte no opaca (transparente) y el techo con 100% de parte opaca y 0% de parte no opaca. Ese porcentaje corresponde al coeficiente  $F$  que viene en las tablas V.2.d-9 y V.2.d-10 que presentas los cálculos de ganancia de calor por conducción y radiación.

*Tabla V.2.d-8 – Definición de los elementos de la envolvente de referencia*

	Parte	Porcentaje del área total	Coef global de Transferencia de calor U (W/m <sup>2</sup> K)	Coeficiente de Sombreado (CS)
Techo	Opaca	100%	0.480	---
	Transparente	0%	---	---
Pared	Fachada opaca	90%	0.480	---
	Fachada transparente	10%	0.5319	1
	Colind. opaca	100%	0.480	---

La ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia, es la suma de la ganancia de calor por conducción, más la ganancia de calor por radiación solar, es decir:

$$Q_T = Q_{TC} + Q_{TS}$$

en donde:

$Q_T$  es la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia, en W;

$Q_{TC}$  es la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia por conducción, en W;

$Q_{TS}$  es la ganancia de calor a través de la envolvente de la edificación de referencia por radiación solar, en W.

## **2 - Ganancia de calor por conducción**

Es la suma de la ganancia por conducción a través de cada una de las componentes, de acuerdo con su orientación, y utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{TC} = \sum_{i=1}^n U_i Q_{TCi}$$

en donde:

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste.

La ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación  $i$  se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{ref}} = \sum_{j=1}^n [U_j \times A_{ij} \times (t_{\text{ext}} - t)]$$

en donde:

$Q_{\text{ref}}$  es la ganancia de calor por conducción a través de la componente con orientación  $i$ , en W;

$j$  son las diferentes partes de la componente de la envolvente de la edificación de referencia;

$U_j$  es el coeficiente global de transferencia de calor de cada porción de la envolvente de referencia y se determina según la tabla de la norma

(anexo 2). Para las partes transparentes de las paredes es 5.319, en W/m<sup>2</sup>K;

$A_{ij}$  es el área de la porción  $j$  con orientación  $i$ , en m<sup>2</sup>;

$t_{\text{ext}}$  es el valor de la temperatura equivalente promedio, para la orientación  $i$ , determinada según la tabla de la norma (anexo 2), en °C;

$t$  es el valor de la temperatura interior de la edificación residencial, que se obtiene de la tabla de la norma (anexo 2), en °C

Para las partes opacas de las paredes de la edificación residencial de referencia se deben utilizar las temperaturas correspondientes a muro masivo que se encuentran en la tabla de la norma (anexo 2).

*Tabla V.2.d-9 - Cálculo de ganancia por conducción, referencia para la casa Rosenda, todos casos*

$$Q_{\text{ref}} = \sum_{j=1}^n [U_j \times A_{ij} \times (t_{\text{ext}} - t)]$$

<b>U</b>						
<b>Porción</b>	<b>(W/m<sup>2</sup>°C)</b>	<b>A (m<sup>2</sup>)</b>	<b>F</b>	<b>t<sub>e</sub> (°C)</b>	<b>t (°C)</b>	<b>ϕ<sub>rci</sub> (W)</b>
Techumbre	0.48	64.6	1	44	25	589
Muro N	0.48	25.4	0.9	35	25	110
Ventana N	5.319		0.1	27	25	27
Muro O	0.48	61.9	0.9	38	25	348
Ventana O	5.319		0.1	28	25	99
Muro S	0.48	28	0.9	37	25	145
Ventana S	5.319		0.1	28	25	45
Muro E	0.48	61.9	0.9	39	25	374
Ventana E	5.319		0.1	28	25	99
<b>ϕ<sub>rc</sub> (W)</b>						<b>1,835</b>

### 3 - Ganancia de calor por radiación

Es la suma de la ganancia de calor por radiación a través de cada una de las partes no opacas, la cual se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$\phi_{rc} = \sum_{i=1}^5 [A_{r_i} \times C S \eta_i \times F G_i]$$

$i$  son las diferentes orientaciones: 1 es techo, 2 es norte, 3 es este, 4 es sur, 5 es oeste.

$A_{r_i}$  es el área de la parte transparente de la envolvente de la edificación de referencia con orientación  $i$ , en m<sup>2</sup>;



$CS_{r_i}$  es el coeficiente de sombreado del vidrio empleado en la edificación de referencia, con orientación  $i$ , con valor adimensional de 1.0 para las paredes;

$FG_i$  es la ganancia de calor solar por orientación, determinada según las tablas de la norma (anexo 2), en  $W/m^2$ ;

*Tabla V.2.d-10 - Cálculo de ganancia por radiación, referencia para la casa Rosenda, todos casos*

Porción	$CS_{r_i}$	$A_r$ (m <sup>2</sup> )	$F$	$FG$ (W/m <sup>2</sup> )	$\dot{Q}_{rsi}$ (W)
Ventana N	1	25.4	0.1	91	231
Ventana O	1	61.9	0.1	146	904
Ventana S	1	28	0.1	118	330
Ventana E	1	61.9	0.1	137	848
				$\dot{Q}_{rs}$ (W)	<b>2,313</b>

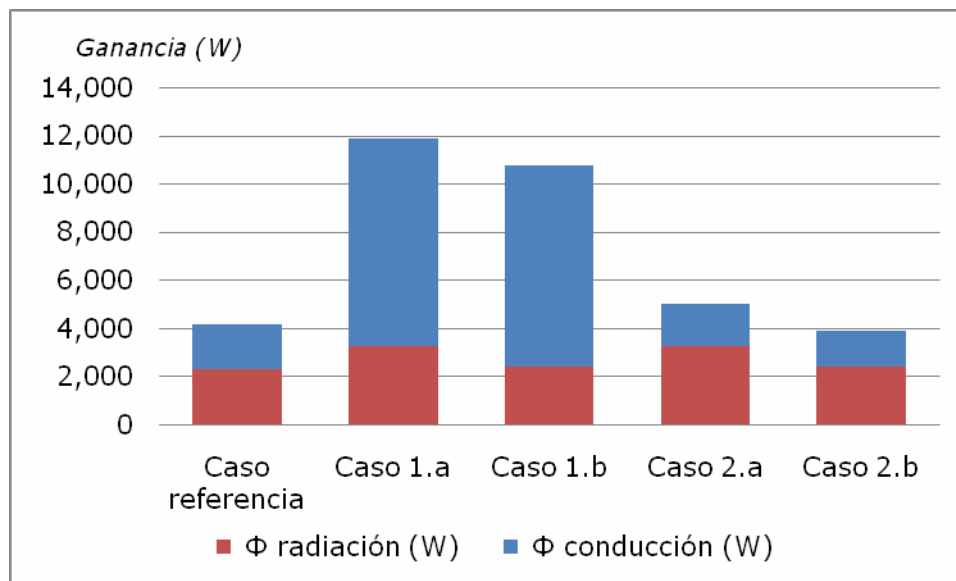
Se presenta el resumen de la ganancia de calor de la edificación de referencia.

*Tabla V.2.d-11 – Resumen de los resultados obtenidos respecto a la ganancia de calor de la edificación de referencia*

	Parte opaca		Parte transparente	TOTAL
	Techo	Muro		
$\dot{Q}_{rc}$ conducción (W)	589	977	269	1,835
$\dot{Q}_{rs}$ solar (W)			2,313	2,313
			$\dot{Q}_r = \dot{Q}_{rc} + \dot{Q}_{rs}$ (W)	<b>4,149</b>

## V.2.e - Análisis de los diferentes casos de estudio

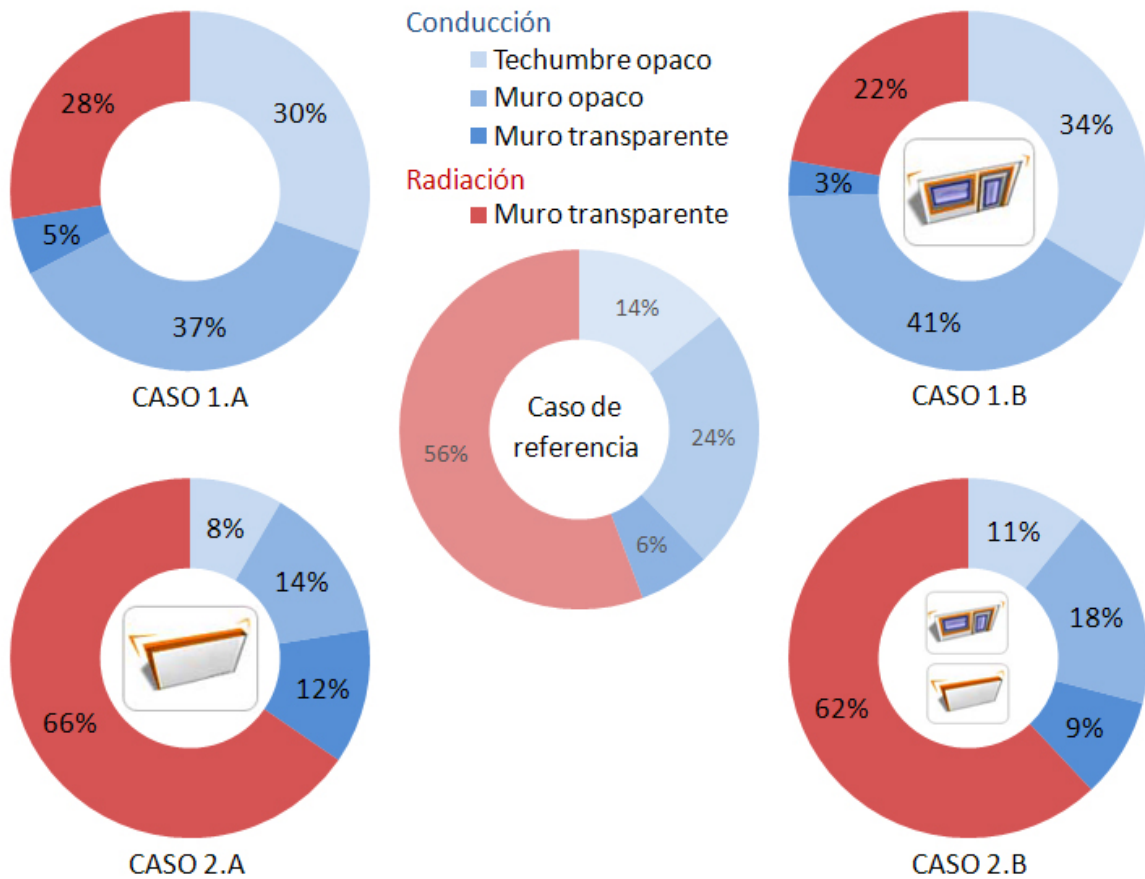
El gráfico que sigue muestra las ganancias de calor absolutas de la envolvente de la edificación de referencia y la edificación proyectada en sus cuatro casos de estudio.



*Figura V.2.e-1 – Ganancias de calor absolutas de la envolvente de la edificación en todos los casos estudiados*

El caso 2.b (con 10cm de poliestireno y vidrio doble) es el único que satisface el anteproyecto de NOM-020-ENER dado que la ganancia calculada es inferior a la ganancia de referencia. Además, se puede ver que al caso 1.a (sin aislamiento y con vidrio sencillo) corresponde una ganancia de calor casi tres veces mayor a la ganancia de referencia, lo que implica gastos de energía y de dinero para el usuario.

El esquema siguiente muestra el peso relativo de cada elemento de la envolvente de la casa Rosenda en la ganancia de calor total por cada caso de estudio.



**Figura V.2.e-2** – Repartición del peso de cada elemento de la envolvente en la ganancia de calor total según los casos de estudio

El análisis de los porcentajes anteriores da diferentes informaciones:

- La parte opaca de la envolvente no aislada (caso 1.a) recibe los dos tercios de la ganancia total de calor (conducción), el tercero representando la parte transparente (radiación y conducción). Esa relación cambia a tres cuartos si se instala vidrios dobles (1.b);
- Aislando las paredes y el techo con poliestireno extruido, los dos tercios de la ganancia total de calor ya provienen de la radiación a través de las ventanas con vidrio sencillo (2.a);
- El único caso que cumple la norma de eficiencia energética de envolvente de edificación residencial es el último (2.b) donde la casa cuenta con aislamiento de poliestireno más doble vidrios. En esa sola situación el peso relativo de cada elemento en la ganancia total de calor de la envolvente se parece más o menos al peso relativo del mismo elemento en el caso de referencia.

La tabla V.2.e-1 muestra de cuanto superan los casos proyectados (tabla V.2.d-7) del caso de referencia (table V.2.d-11) poniendo un índice 100 a las valores de referencia. Eso permite de poner en evidencia que tan lejos son cada uno de los

elementos (techo opaco, muro opaco, muro transparente) de cumplir la norma en los cuatros casos.

*Tabla V.2.e-1 – comparación de ganancia de calor de cada elemento de la envolvente entre la edificación de referencia y la proyectada*

(1.a)	(1.b)	Parte opaca				Parte transparente		TOTAL	
(2.a)	(2.b)	Techo		Muro					
$\dot{Q}_{p,cond} / \dot{Q}_{r,cond}$		+515%	+515%	+352%	+352%	+126%	+29%	+371%	+357%
		-29%	-28%	-28%	-28%	+126%	+29%	-6%	-20%
$\dot{Q}_{p,solar} / \dot{Q}_{r,solar}$						+42%	+4%	+42%	+4%
						+42%	+4%	+42%	+4%
								+188%	+160%
								+21%	-7%

## V.2.f - Estimación de los ahorros en el caso de mejor eficiencia energética

A fin de cumplir con el anteproyecto de NOM-020-ENER oficial, se supone que el caso de mejor eficiencia energética sea elegido. A continuación se estima los ahorros anuales otorgados por el hecho de aislar las paredes y el techumbre de la casa Rosenda con 10 cm de poliestireno extruido y de instalar unas ventanas con vidrio doble (caso 2.b), en comparación con el caso de paredes no aisladas y vidrio sencillo (caso 1.a).

Las ganancias totales de calor de ambos casos son:

- $\dot{Q}_{p,1.a} = 11,929 \text{ W}$
- $\dot{Q}_{p,2.b} = 3,874 \text{ W}$

Esas cantidades representan la potencia de las máquinas de acondicionamiento de aire que se deben instalar para ofrecer condiciones de confort a los habitantes de la casa.

Se define la Capacidad de Enfriamiento Evitada ( $C_{EE}$ ) en toneladas de refrigeración (una ton siendo la potencia de enfriamiento de 2,000 libras de hielo derritiéndose durante 24 horas, es decir que  $1 \text{ ton} = 12,000 \text{ Btu/h} = 3,517 \text{ W}$ ).

$$CBE = \frac{Q_{p.1a} - Q_{p.2b}}{3,517} = \frac{11,929 - 3,874}{3,517} = 2.29 \text{ tons}$$

Es decir que el caso 2.b permite de ahorrar 2.29 tons de potencia de enfriamiento al comprar el sistema de acondicionamiento de aire.

En México, una tonelada de refrigeración representa una inversión de \$10,000 (datos del mes de abril del 2008, según el Ing. Roberto A. González Treviño de la ASHRAE, capítulo Nuevo León, conferencia sobre los sistemas HVAC "Impacto de los Aislantes en el ahorro de energía"). Definiendo la Inversión Inicial Evitada (IIE) se obtiene:

$$IIE = CBE \times 10,000 = \$ 22,900 \text{ pesos}$$

Ahora se estima el ahorro anual realizado respecto al consumo de energía eléctrica de esas 2.29 tons.

El Seasonal Energy Efficiency Ratio (*SEER*) es un parámetro fijo por las normas que indica la cantidad de energía térmica removida por un sistema de acondicionamiento de aire por cada watts-hora de energía eléctrica consumida. El SEER vale generalmente 13 y se define a partir de los datos anuales:

$$SEER = \frac{(Q, \text{Btu/año})}{(C, \text{Wh/año})}$$

Entonces se puede calcular los kWh/año ahorrados de la manera siguiente:

$$(CBE, \text{tons}) \times \frac{12,000, (\text{Btu/h/ton}) \times (TEOS, \text{h/año})}{SEER, \text{Btu/Wh}}$$

El Tiempo Efectivo de Operación del Sistema (*TEOS*) siendo la cantidad de horas al año cuando funciona el sistema de acondicionamiento. En el caso de Monterrey, N.L., un valor del *TEOS* de 1,500 horas es aceptable.

Entonces:

$$C_{ahorr} = \frac{2.29 \times 12,000 \times 1,500}{13} = 3,170 \text{ kWh/año}$$

El precio del kWh (categoría excedente porque se supone que se trata de un excedente de energía que se puede ahorrar) suministrado por CFE en Nuevo León en el año 2007 es de \$2.13 [13]. Tomando por el año 2008 ese precio, se estima el ahorro anual:

$$A_{total} \$ = [C]_{ahorrado, \text{kWh}} \times (2.13, \$/\text{kWh}) = \$6,755/\text{año}$$

Del otro lado se calcula la Inversión Inicial *II* que se define a partir del precio por metro cuadrado de pared aislada (todo incluido), en el caso del poliestireno

extruido son \$215/m<sup>2</sup>, y del precio de las puertas ventanas, \$6,000 en el caso de

la casa Rosenda (contra \$3,000 para puertas ventanas sencillas, es decir un sobre costo de \$3,000):

$$II = 213 \times (188.1 + 64.6) + 10 \times 3,000 = 43,580.7 + 30,000 = 73,480.7$$

Entonces, ahorrando \$29,660 (capacidad instalada evitada y consumo de energía equivalente) el primer año y luego \$6,755 (energía) los otros se alcanza un retorno sobre inversión de **seis años**.

Es muy importante mencionar que el programa de FIDEICOMISO para el ahorro de energía eléctrica propone al usuario doméstico el financiamiento integral de sus obras de aislamiento de paredes opacas con un reembolso a altura de los ahorros visibles en las facturas y según una tasa de interés nula.

Entonces, los \$43,580 del precio anterior están pagados por este programa (segunda etapa del PFAEE 2007-2012), el FIDE recuperando cada mes la diferencia con las viejas facturas de electricidad hasta alcanzar la inversión sin ningún peso adicional. Resulta que la inversión de \$30,000 que quedan por las ventanas corresponde a la potencia instalada de refrigeración justamente evitada. De esa manera, la operación es rentable desde el primer día.

## V.3 - Eficiencia energética de una casa virtual en el contexto francés

Una vez hecha el diagnóstico energético de la casa Rosenda en el contexto de México, estado de Nuevo León, el estudio comparativo sigue proponiendo la simulación de un diagnóstico equivalente en una situación similar pero en un contexto diferente.

### V.3.a - La BAO Promodul

A continuación se lleva a cabo una simulación de diagnóstico energético de una casa particular en la región parisina a partir de la caja de herramientas BAO PROMODUL (presentada en el capítulo 2) en acceso libre a la dirección internet siguiente: <http://www.bao-gp.com>

La simulación se basa sobre el método convencional 3CL (versión 11) y propone resultados en cuestiones convencionales de:

- Eficiencia energética,
- Emisiones de CO<sub>2</sub>,
- Gastos de dinero,
- Consumos de recursos.

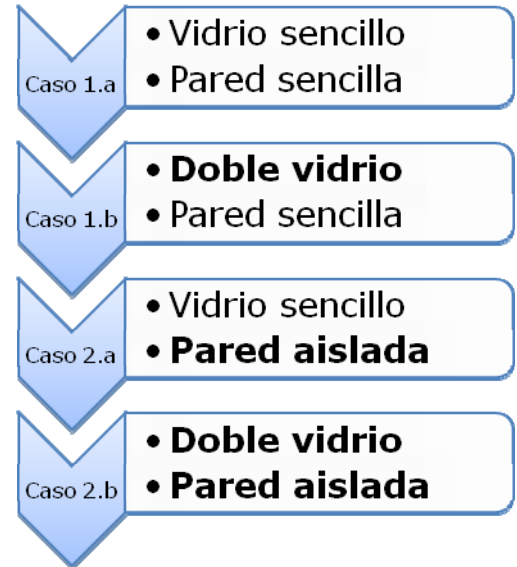


Esa caja de herramientas siendo hecha para los usuarios neófitos, el desarrollo de la simulación no presenta detalle técnico en término de calculos térmicos y económicos. El algoritmo es inteligente, es decir que los datos de entrada estan al alcance de cualquier ciudadano que aprovecha de una interfaz ergonómica para escoger el nivel de eficiencia por cada elemento de la casa que quiere mejorar. Por eso, no se mencionan precisamente las espesores de las capas de aislamiento y las características de los vidrios tampoco.

## V.3.b - Diagnóstico energético de la casa Bellechasse

Se considera una casa media ya construida que no cuenta con aislamiento térmico de su envolvente ni con doble vidrio tampoco. El objetivo de esa simulación es de estimar los ahorros en casos similares a los de la casa Rosenda. Entonces, se trata de una casa particular independiente de la misma superficie (90 metros cuadrados), de misma altura bajo techo (2,60 m), con dos pisos y un techo inclinado. Para mejor corresponder al estudio anterior, se propone las situaciones siguientes para el hogar virtual llamado casa Bellechasse:

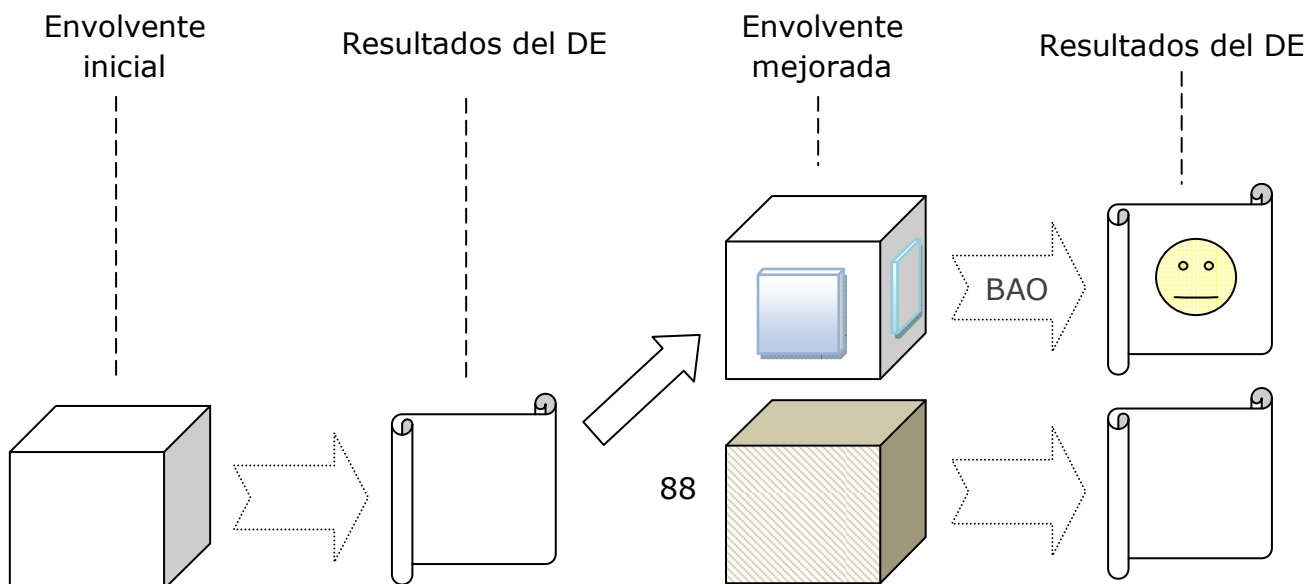
- **Caso 1** – *envolvente sin aislamiento en las paredes (fachadas y techumbre)*
  - **1.a** – con vidrio sencillo
  - **1.b** – con doble vidrio
  
- **Caso 2** – *envolvente con aislamiento interior de poliestireno extruido*
  - **1.a** – con vidrio sencillo
  - **1.b** – con doble vidrio



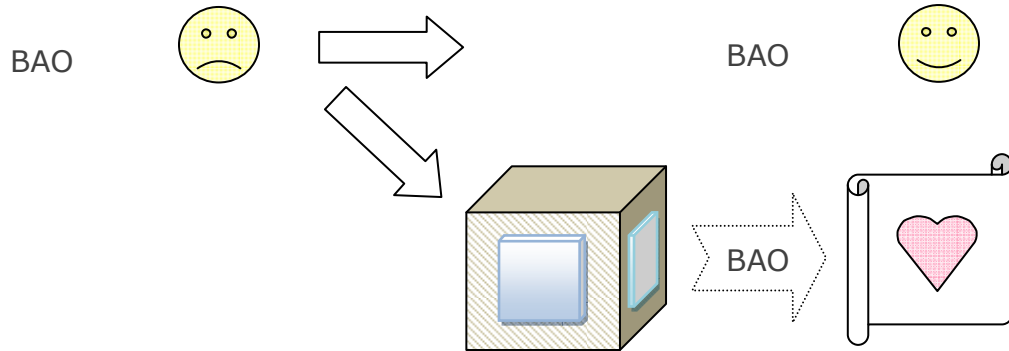
*Nota: además de las paredes y del techumbre se pone aislamiento al nivel del piso bajo dado que en los países con clima templado se pierde energía por el suelo (figura II.3-1 del capítulo II).*

*Nota: en los cálculos de costo se considera la relación de 1€=16\$MX*

El esquema siguiente enseña las etapas de la simulación:







A continuación se desarrolla la simulación por el caso 2.b (aislamiento y doble vidrio) y se presenta las etapas sucesivas poniendo en evidencia los *datos de entrada*.

## i - Casa Bellechasse

### 1 - Características generales

#### Aparencia

Nombre de la casa: *Bellechasse*  
Región: *Val-de-Marne (94)*

Superficie habitable: *90 m<sup>2</sup>*

Año de construcción: *de 1983 a 1988*

#### Pisos

*Una planta baja más una planta alta abajo del techo.*

Altura abajo del techo: *2.60 m*

#### Contigüidad

*Casa independiente no pegada a ninguna*

#### Configuración

*Forma geométrica cuadrada*

#### Envolvente

#### Techumbre

*Ningunas obras de aislamiento desde la construcción de la casa.*

#### Muros

*Ningunas obras de aislamiento desde la construcción de la casa.*



## Ventanas

*Vidrio sencillo*

## Piso

*Ningun aislamiento del piso de la planta baja que es directamente sobre el suelo*

## **2 - Equipos**

### Calefacción

Existencia de un inserto: *no*

Energía empleada para calentar el hogar: *gas natural*

Sistema de calefacción: *caldera de gas instalada después del 2001*

Programador de caldera: *si*

Calefacción solar complementaria: *no*

Sistema de aire acondicionado: *no*

Radiador con llave termostática: *no*

Emitidor baja temperatura: *no*

### agua caliente

Energía empleada para calentar el agua: *electricidad*

Sistema de calefacción de agua: *calentador eléctrico de 5 hacia 15 años de edad*

Configuración: *vertical*

Calefacción solar complementaria: *no*

### Ventilación

Sistema de ventilación: *Ventilación Mecánica*

*Controlada (VMC) flujo sencillo instalada antes del 1983*

### Energía

Cortador: *no*

Contador de gas individual: *si*

Otro uso de gas (cocinar): *si*

Captador solar fotovoltaico: *no*

Pequeño aerogenerador: *no*

Sistema de cogeneración: *no*

## **ii - Eficiencia energética antes de obras – primera simulación**

### **1 - Calificación de la envolvente**

Muros	6/20
Techumbre	13/20
Piso	2/20
Ventanas	4/20

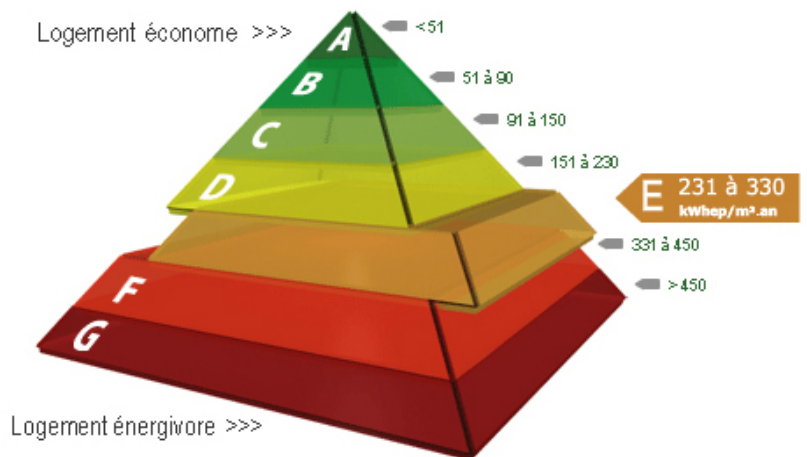


## 2 - Consumo energético

La casa Bellechasse puede estar considerada como un "hogar de medio consumo energético" con un consumo primario promedio

de **245 kWh/m<sup>2</sup>** (categoría E en

la escala energética europea).



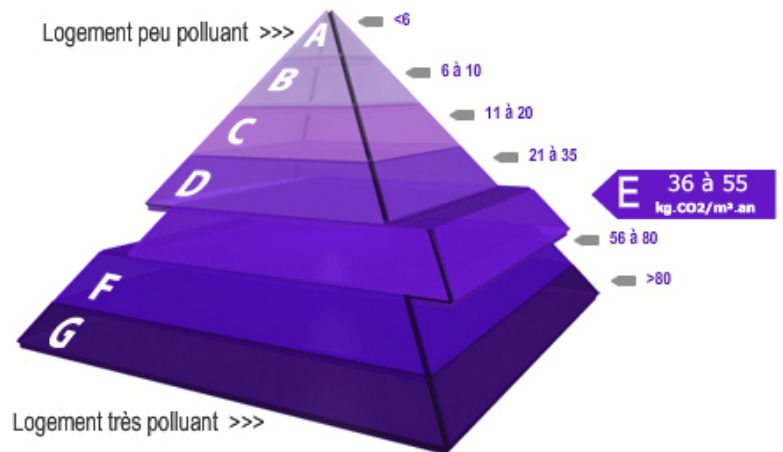
## 3 - Emisiones de CO<sub>2</sub>

La casa Bellechasse puede estar considerada como un "hogar de

media emisión de CO<sub>2</sub>" con unos **41**

**kilogramos** anuales de CO<sub>2</sub> emitidos por m<sup>2</sup> (categoría E en la escala europea de

emisiones de CO<sub>2</sub>).



#### 4 - Repartición de los gastos

El total de los gastos energéticos anuales de la casa Bellechasse se estima a €1,488 (\$23,810) con IVA y se reparte de esa manera:

○ Calefacción	€736 (\$11,780)	49%
○ Agua caliente	€173 (\$2,770)	12%
○ Abono	€232 (\$3,710)	16%
○ Auxiliarios	€25 (\$400)	2%
○ Otro	€322 (\$5,150)	21%
○ TOTAL	€1,488 (\$23,810)	100%

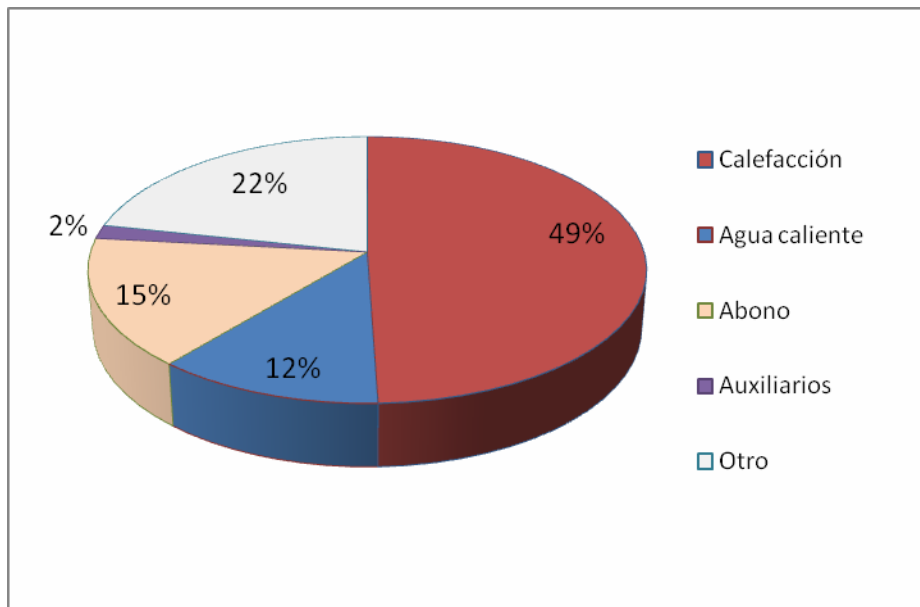


Figura V.3.b-1 – Repartición de los gastos energéticos en el caso 1.a

### iii - Mejora de la eficiencia energética

#### 1 - Mejorar la envolvente (caso 2.a y 2.b)

##### Techumbre

Aislamiento escogido: *aislamiento interior*

Nivel de eficiencia: *clásico (el más barato de los 3)*

Proceso de aislamiento térmico escogido: *aislamiento en capa desenrollada*

Solución elegida: **paneles semi-rígidos en lana de vidrio en 1 o 2 capas bajo armazón metálico y placas de cal estándares.**



##### Muros

Aislamiento escogido: *aislamiento interior*

Nivel de eficiencia: *clásico (el más barato de los 3)*



Estado del muro: *regular y plano*

Tipo de aislamiento: *plástico alveolar (poliestireno expandido, extruido o poliuretano)*

Solución elegida: **Aislamiento en plástico alveolar bajo armazón metálica y placas de cal.**

### Ventanas

Material de las carpinterías existentes: *madera*

Tipo de las ventanas existentes: *vidrio sencillo*

Existencia de postigos: *si*

Cantidad de ventanas que renovar: *3*

Cantidad de puertas-ventanas que renovar: *10*

Poner nuevos postigos: *no*

Tipo de obras deseadas: *cambiar las ventanas y puertas-ventanas conservando el viejo marco*

Material elegido para las nuevas ventanas: *PVC*



Solución elegida: **ventanas y puertas-ventanas en PVC con doble vidrio “acústico/aislamiento térmico reenforcado” y conservación del viejo marco**

### Piso bajo

Tipo de piso bajo: *terraplén*

Nivel de eficiencia: *clásico (el más barato de los 3)*

Tipo de aislamiento: *plástico alveolar (poliestireno, poliuretano)*

Solución elegida: **panel en plástico alveolar bajo capa flotante hidráulica, bajo mortero de empotramiento del revestimiento, o bajo capa seca flotante.**



## **2 - Mejorar los equipos**

(Etapa ignorada)

### **iv - Eficiencia energética después de obras – segunda simulación**

#### **1 - Calificación de la nueva envolvente**

Muros	15/20
Techumbre	19/20
Piso	10/20
Ventanas	13/20



## 2 - Consumo energético

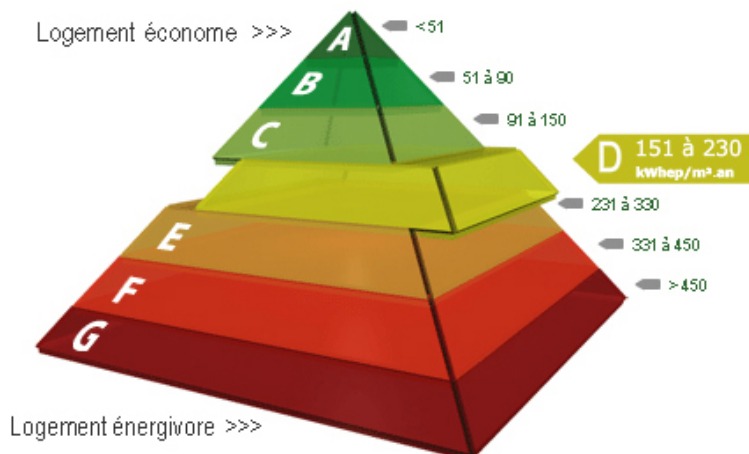
La casa Bellechasse puede estar considerada como un "hogar de medio consumo energético" con un consumo primario promedio

de **185 kWh/m<sup>2</sup>** (categoría D en

la escala energética europea).

Ahorros estimados: **60**

**kWh/m<sup>2</sup>.año**



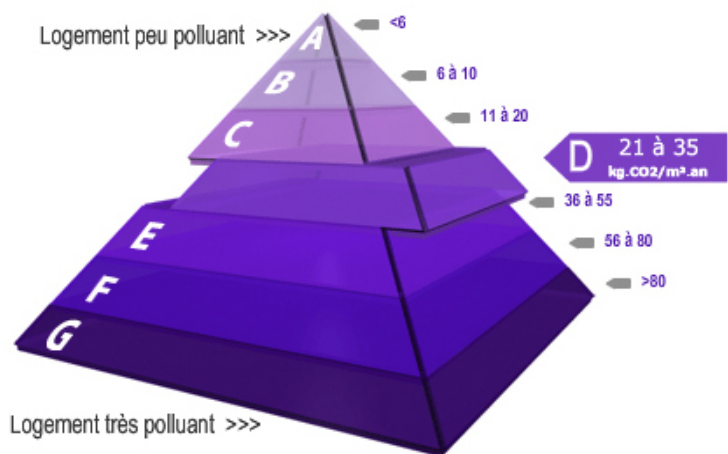
## 3 - Emisiones de CO<sub>2</sub>

La casa Bellechasse puede estar considerada como un "hogar de

media emisión de CO<sub>2</sub>" con unos

**27 kilogramos** anuales de CO<sub>2</sub> emitidos por m<sup>2</sup> (categoría D en la escala europea

de emisiones de CO<sub>2</sub>).



Ahorros estimados: 14 kg.CO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.año

#### 4 - Repartición de los gastos

El total de los gastos energéticos anuales de la casa Bellechasse se estima a €1,232 con IVA (\$19,710) y se reparte de esa manera:

○ Calefacción	€480 (\$7,680)	49%
○ Agua caliente	€173 (\$2,770)	12%
○ Abono	€232 (\$3,710)	16%
○ Auxiliarios	€25 (\$400)	2%
○ Otro	€322 (\$5,150)	21%
○ TOTAL	€1,232 (\$19,710)	100%

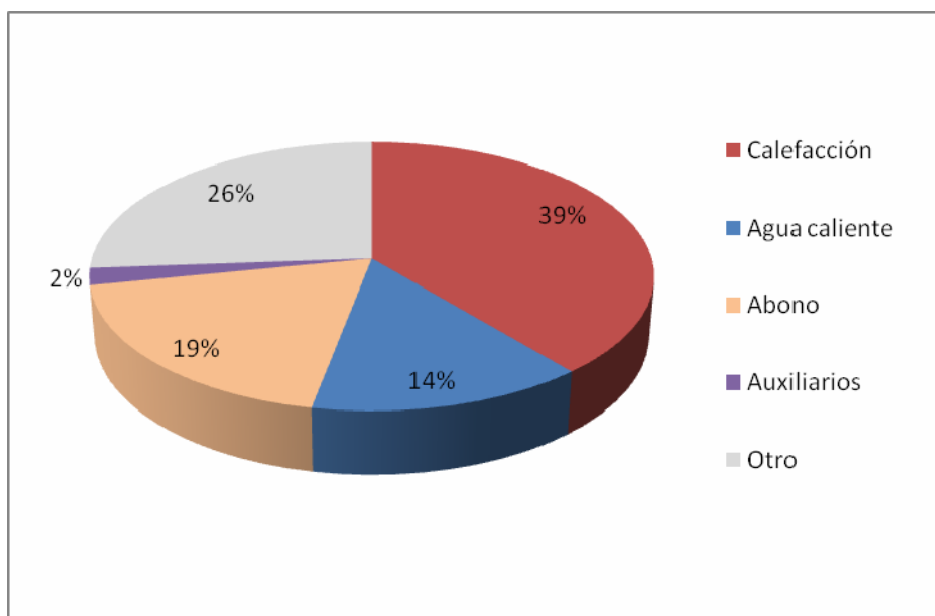


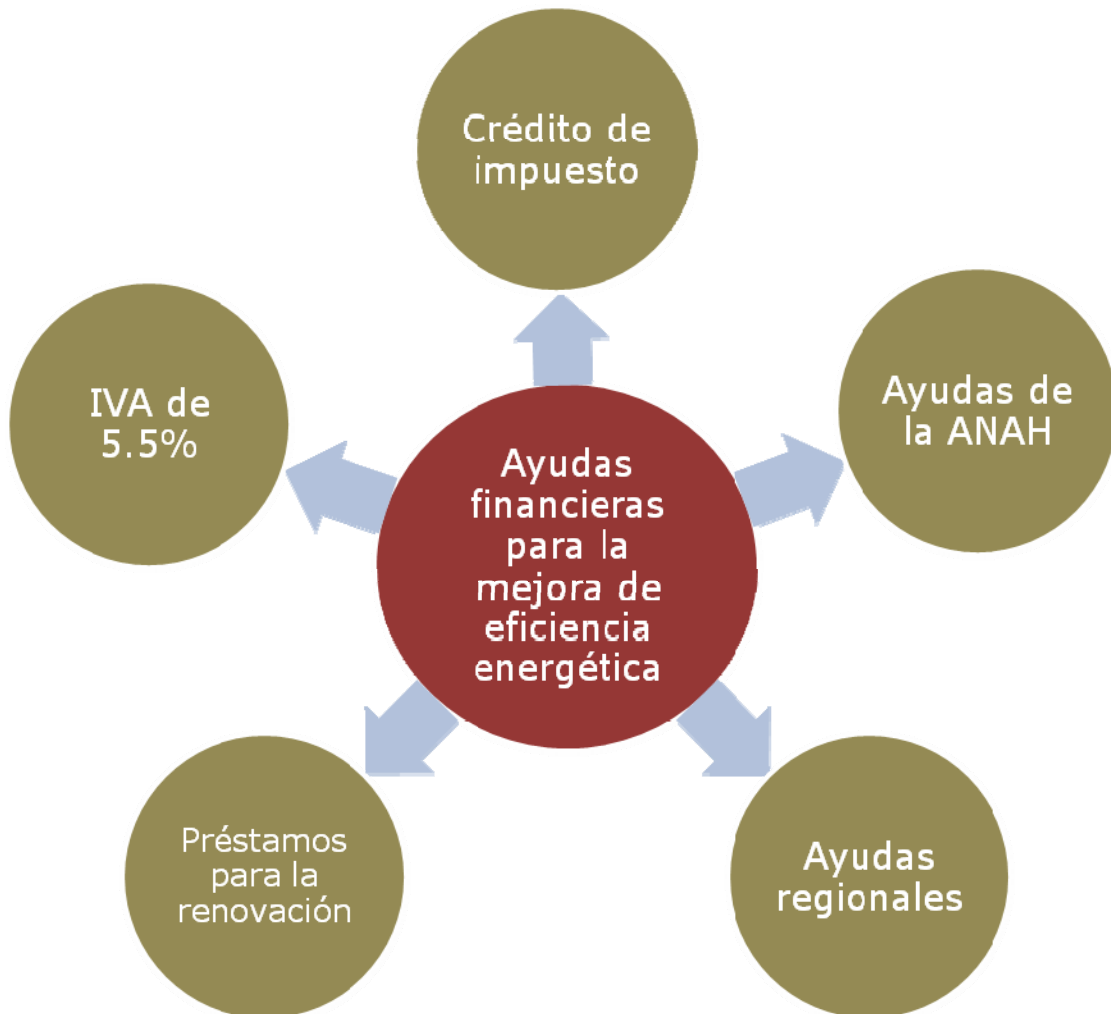
Figura V.3.b-2 – Repartición de los gastos energéticos en el caso 2.b

#### v - Costo y financiamiento

##### 1 - Detalle de las inversiones

Aislamiento de los muros	€8,900	\$142,400
Aislamiento del piso bajo	€2,360	\$37,760
Aislamiento del techumbre	€2,700	\$43,200
Ventanas	€6,540	\$104,640
Renovar las puertas-ventanas	€3,220	\$51,520
TOTAL	€23,720€	\$379,520

## 2 - Ayudas financieras



*Figura V.3.b-3 – Ayudas posibles que obtener*

Las ayudas que se aplican en el caso de la casa Bellechasse son las siguientes:

- Deducción de los 25% del precio de los materiales utilizados de los impuestos anuales sobre el ingreso,
- IVA de 5.5% (al lugar de los 19.6%) sobre el costo de instalación de los materiales,



- Préstamos especiales sobre criterios ambientales (las condiciones difieren según los bancos).

### ***3 - Encontrar un profesional***

En esa sección se presentan los miembros de la asociación PROMODUL que proponen los últimos productos industriales que corresponden a las soluciones elegidas por el usuario en la gama tarifaria presentada.

## **V.3.c - Análisis de los diferentes casos de estudio**

En el estudio de la casa Rosenda se pone en evidencia que la ganancia de calor de la envolvente dimensiona directamente la potencia de refrigeración dado que la zona geográfica cuenta con clima cálido. El caso del oeste de Europa es lo inverso: en zonas de clima templado se busca generar y conservar el calor dentro del espacio de vivienda.

En los cuatro casos de simulación, es el único consumo de energía por calefacción que está variando: la calidad de la envolvente de la edificación influye sobre la cantidad de energía que se pierde al ambiente.

Los resultados (fig. V.3.c-1.1, fig. V.3.c-1.2, tabla V.3.c-1) muestran que el aislamiento de las paredes opacas (techo, muros y piso bajo) es el elemento más importante que considerar en el tratamiento de la envolvente de la edificación: se ahorra el 22% de la energía primaria mientras los doble vidrios solos permiten un ahorro de nada más del 2% respecto al caso inicial.

Además, el impacto de los aislantes es más importante en el caso de las emisiones

de CO<sub>2</sub> (fig V.3.c-1.4, tabla V.3.c-1) dado que en el caso de la casa Bellechasse (y

en la mayoría de las casas particulares en Francia) se quema combustible nada más para calentar el espacio. Entonces, aislando la envolvente se reduce la energía de calefacción, lo cual implica menos combustible quemado (gas natural).

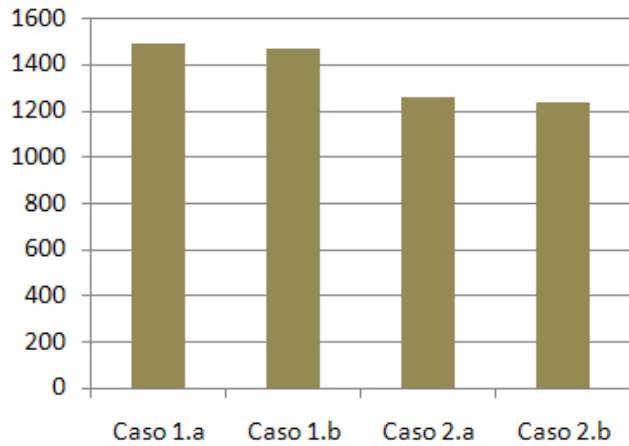


Fig. 1 - gastos energéticos (€/año)

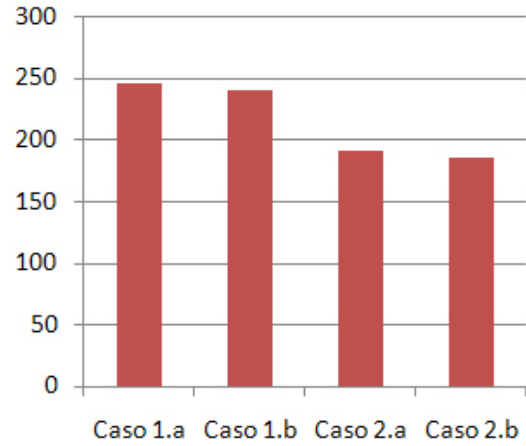


Fig. 2 - índice energético (kWh/m².año)

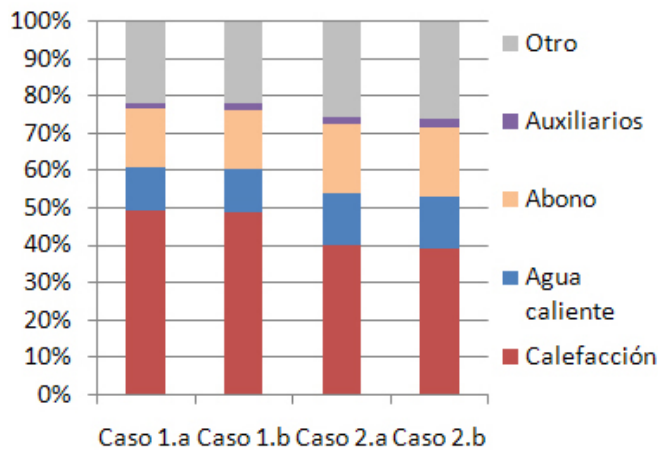


Fig. 3 - repartición de los gastos

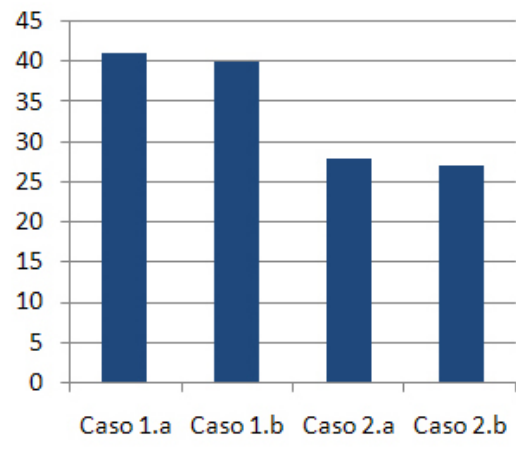


Fig. 4 - emisiones de CO2 (kg.CO2/año)

Figuras V.3.c-1 – Gráficos recapitulativos: gastos, IE, repartición de los gastos y emisiones de CO<sub>2</sub>

de cada caso de estudio

Caso	Índice Energético	Emisiones de CO <sub>2</sub>
1.a	100 (0%)	100 (0%)
1.b	98 (-2%)	98 (-2%)
2.a	78 (-22%)	68 (-32%)

2.b	76 (-24%)	66 (-34%)
-----	-----------	-----------

*Tabla V.3.c-1 – Mejora del IE y disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al nivel inicial (índice 100*

*en el caso 1.a)*

Ahora se debe considerar el nivel de inversión económica requerida por las obras respecto al poder adquisitivo del usuario.

## V.3.d - Estimación de los ahorros en el caso de mejor eficiencia energética

Aislar la envolvente (parte transparente y opaca) de una casa francesa de 90 metros cuadrados sobre dos pisos en la región parisina requiere alrededor de €23,720 (\$380,000).

En el 2005, un hogar constituido de una pareja y de sus dos niños gozaba de un ingreso disponible de algunos €42,879 (\$690,000) anuales (fuente: INSEE-DGI, encuesta pública sobre los ingresos fiscales desde 1996 hacia 2005).

Si se cuenta con un descuento de los 25% sobre el material de aislamiento y un 5.5% de IVA al lugar de los 19.6%, se alcanza un precio neto de alrededor de €14,232, lo que parece bastante caro cuando se considera los €256 ahorrados en energía al año.

A primera vista parece que no es interesante de aislar la envolvente de su casa en Francia considerando el alto precio de inversión y los pequeños ahorros, es ahí que vienen las herramientas y soluciones imaginadas por los expertos del grupo 1. Un hogar mejorado con esas soluciones ve su valor incrementar. Al venderla, el propietario puede recoger parte o más de la inversión inicial como lo imaginaron los participantes del grupo 1.

Además existen préstamos ambientales a tasas muy interesantes para invertir en ese tipo de obras, lo que puede conseguir maniobra más flexible para el dueño que quiere renovar.

El último punto importante se ubica en la necesidad de contar con obras a todos los niveles del consumo energético edificacional cuando se trata de una casa doméstica en clima templado como el de Francia. Entonces, para alcanzar niveles de ahorros significativos, además de aislar sus paredes y de instalar doble vidrio el propietario debe pensar a mejorar su ventilación, la impermeabilidad de las paredes, la eficiencia de sus calderas, instalar soluciones pequeñas de energías renovables, y otras cosas que juntas permiten esperar edificios a energía positiva.

---

# Capítulo 6 – CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

---

## *VI.1 - Conclusiones*

### VI.1.a - Sobriedad energética en el sector el más consumidor

Los pronósticos respecto al consumo energético mundial merecen que cualquiera se preocupe y tome medidas fuertes para alcanzar un doble objetivo: hacer que no se agoten los recursos para poder mejor compartirlos y luchar contra el cambio climático. La seguridad mundial y la perennidad del especie humana están directamente vinculados a los resultados que se puedan alcanzar con una modificación profunda de nuestro modo de vida y de consumo.

El sector de las edificaciones se encuentra con los primeros que deben de ser tratados por razones numerosas. Primero, es en las edificaciones que se fluye la mayoría de la energía primaria de los países capaz de arrancar reformas de envergadura. Luego, se trata del primer lugar donde convive la gente y asegurarle condiciones de confort representa una de las primeras etapas sobre la escala de las necesidades. Otros argumentos son que ya existe un nivel de tecnología tan accesible que se alcanza rentabilidad económica en la mayoría de los proyectos de renovación como de construcción nueva. Obviamente, las buenas herramientas no sirven en malas manos: el usuario debe entender su propio compromiso y asegurarse de que su comportamiento sea respetuoso de la lógica de desarrollo sustentable no solamente en su hogar.

## VI.1.b - La respuesta francesa al objetivo europeo

Europa tiene un papel motor para el desarrollo de normas en general, y es especialmente el caso en término de eficiencia energética de edificaciones. Imponiendo los "tres 20" a sus 27 miembros, la Comisión Europea se compromete a respetar el Factor 4 proponiendo una definición teórica y herramientas prácticas para mejor identificar y alcanzar eficiencia energética en edificaciones (directiva 91-CE-2002).

Francia respondió a la CE organizando el Grenelle Environnement, un evento de seis meses sin precedente en término de debate y de medidas tomadas alrededor de cuestiones ambientales y de desarrollo sustentable, de tal manera que hasta el premio nobel Al Gore comentó durante las sesiones de cierre que el planeta necesitaba un "Grenelle Mundial". A la fecha de redacción (mayo del 2008), el proyecto de ley finalizado por el secretario del ambiente está puesto sobre la mesa del presidente francés y se espera dentro de dos semanas que sea presentado al Consejo de los Secretarios para luego poder estar votado al parlamento y entrar en vigor.

Considerando su peso preponderante en el consumo total nacional de energía primaria (42.5%), el sector de edificaciones recibió las medidas las más fuertes e inmediatas, a través del parque existente como de los nuevos espacios que van a estar construidos. Esas medidas suponen una sinergia de todos los actores de la profesión como de los encargados de las formaciones. También el gobierno debe asegurarse de que los bancos otorguen dinero por medio de los préstamos ambientales. La problemática es múltiple, eficiencia y rapidez están vinculados a lo anterior. El mercado ya es grande y va a ser enorme una vez que las leyes estén fijas y impuestas (verano del 2008).

El primero filón de ahorro de energía siendo las edificaciones existentes, el Diagnóstico de Eficiencia Energética vuelve la herramienta la más importante que los nuevos renovadores de edificación deben de saber manejar. En ese contexto, la asociación PROMODUL adaptó un método validado por el gobierno dentro de una caja de herramientas completa y ergonómica que permite hacer el Diagnóstico de Eficiencia Energética de una casa existente y de proponer los últimos elementos disponibles para la renovación, exponiendo tanto los ahorros que se pueden obtener como las ayudas que se aplican para esas obras.

## VI.2.c - El peso del sector de los inmuebles en el consumo total nacional de energía eléctrica en México

El análisis de la información disponible del parque de inmuebles del sector servicios y de sus consumos de energía eléctrica evidencia claramente que la forma en la que actualmente se pondera a los inmuebles de uso no residencial que corresponden al sector de servicios (como son hoteles, escuelas, bancos, restaurantes y centros comerciales) lleva a una subestimación significativa de su consumo de energía hoy en México. El método que aquí se ha desarrollado muestra que los valores que se manejan en las estadísticas nacionales de energía subestiman, hasta por un factor de tres, al consumo de lo que se define en esas estadísticas como sector "comercial".

Entonces, sumando al uso en el universo de las edificaciones del sector residencial, esto puede significar que el uso de energía eléctrica en inmuebles supere al del sector industrial respecto a consumo de energía eléctrica pública (es decir CFE y LyF centro) al contrario de las cifras oficiales que pretenden que ese mismo sector industrial consume los 60% de toda la electricidad producida.

Es necesario, por supuesto, un estudio más extenso y minucioso que corrobore y ajuste las estimaciones aquí referidas. Sea cual fuere el resultado, debe llevar a que la política energética nacional considere el fenómeno del crecimiento del sector servicios y a de los inmuebles donde lleva a cabo sus actividades como un fenómeno energético de importancia estratégica.

Luego, hay que redefinir las estrategias de los programas de ahorro de energía para este tipo de instalaciones, en buena medida porque es allí (a lo mejor más que en otros sectores que ha sido priorizados en el pasado) donde hay un gran volumen de energía que se puede ahorrar o usar de manera más eficiente.

## VI.3.d - El consumo energético edificacional mexicano

En México, país con un proceso de acelerada urbanización a partir de la década de los cuarenta, la asociación entre energía y arquitectura se fue intensificando empujada por el propio proceso de industrialización y urbanización, pero en un sentido en el que los bajos precios de la electricidad permitieron que el recurso de la tecnología de iluminación artificial o de aire acondicionado fuera cubriendo los espacios que antes estaban cubiertos por el diseño arquitectónico. Eso ha resultado, en la medida en la que han aumentado los precios de la energía,

en fuertes impactos en los costos de operación de los inmuebles y, a su vez, en demandas de mayor capacidad de generación de electricidad.

Al proceso anterior se le han unido dos más recientes que apoyan la necesidad de una nueva actitud respecto al diseño de los inmuebles en México. Por un lado, el desarrollo económico ha dejado de ser centralizado y la región norte y algunas ciudades costeras han tenido crecimientos mayores a los del centro del país. Este fenómeno ha dado lugar a que cada vez se construya más en regiones con climas más extremos, particularmente de tipo cálido seco y húmedo. Igualmente, la transformación de la economía nacional, reflejando tendencias internacionales, es responsable de una actividad creciente del sector comercios y servicios, lo cual implica una mayor cantidad de inmuebles para ocupación en condiciones de confort.

De esta manera, el país requiere de cada vez más inmuebles y estos están cada vez más localizados en regiones donde las condiciones obligan a mayores intensidades energéticas. Es por eso que las características intrínsecas de las envolventes de edificación deben de cumplir con requisitos fijos por las normas respecto al ahorro de energía, el anteproyecto de NOM-020-ENER correspondiendo al sector edificacional residencial.

## VI.4.e - Estudio comparativo de mejora de eficiencia energética de casas individuales entre Francia y México

Se compara los márgenes de maniobra para mejorar la eficiencia energética de dos casas equivalentes dentro de dos contextos diferentes, el punto de inicio del razonamiento siendo el proyecto del Centro de Construcción del ITESM, Campus Monterrey, que consiste a construir una casa en el municipio de Guadalupe, Nuevo León, según un objetivo de sostenibilidad: proponer un hogar cómodo a menor precio y mayor vida útil.

A continuación se recapitula el doble objetivo y los resultados que corresponden:

1. hacer el diagnóstico de la eficiencia energética de una casa que se pretende construir según la metodología propuesta en el anteproyecto de NOM-020-ENER de eficiencia energética de envolvente de edificación residencial a partir de los datos arquitecturales y estructurales completos e identificar los ahorros posibles respecto al consumo de energía en diferentes casos de aislamiento y de vidrio empleado.

El único caso que cumple la norma de eficiencia energética de envolvente de edificación residencial es el caso (2.b) donde la casa cuenta con aislamiento de poliestireno de 10 cm en sus paredes opacas y doble vidrios. En esa sola situación

se alcanza una eficiencia energética mejor de los 7% que la de la edificación proyectada.

2. hacer el diagnóstico energético de una casa virtual equivalente en término de superficie, de tecnología y de nivel de confort en el contexto francés con las herramientas locales, y comparar los ahorros posibles que hacer en diferentes casos de aislamiento y de vidrio empleado tomando en cuenta la criterios como el poder adquisitivo disponible y los precios de la energía.

En el caso mexicano de la casa Rosenda el precio requerido para aislar toda la envolvente con poliestireno es de alrededor de \$45,000, los cuales pueden estar pedido al FIDE que propone de establecer el periodo de reembolso hasta que la suma de las diferencias de dinero sobre las facturas alcance la inversión sin intereses. Además, contar con doble vidrios corresponde a un sobre costo de \$30,000.

Al contrario, en Francia se requiere nueve veces más dinero a conversión constante (1€=16\$MX) dado que los materiales son más caros así como el precio de instalación y los impuestos. A primera vista no parece interesante hacer esas obras. Sin embargo vienen las herramientas y soluciones imaginadas por los expertos del grupo 1 del Grenelle Environnement con deducciones de impuestos, creación de valor, préstamos sobre criterios ambientales (casi tan interesantes como el del FIDE).

## *VI.2 - Trabajo futuro*

El trabajo que sigue esa investigación se basa sobre la ventaja del estudio comparativo de dos situaciones muy actuales. Las herramientas empleadas permiten de escoger uno de ambos mercados y de poder empezar a desarrollar una metodología de diagnóstico energético para hogares domésticos.

En México el anteproyecto de NOM-020-ENER debe de ser actualizado y corregido pero la prioridad real es otra: las autoridades deben encontrar una manera de controlar que las edificaciones sí cumplen esa ley para que no sea inútil.

También, es muy importante que el gobierno cambie el sentido de su política de ayuda al consumo de energía eléctrica. Hoy en México el gobierno paga un cierto porcentaje de las facturas domésticas. Entonces, lo más consume el usuario, lo más lo ayuda el gobierno. Eso va en el malo sentido. En vez de de subsidiar la energía se debe subsidiar el ahorro o uso eficiente de energía. Con una mejor estimación del consumo de energía eléctrica en inmuebles, ese punto hace parte de los cambios fuertes de política energética que se debe llevar a cabo en el año 2008 en México.



Del otro lado del atlántico en Francia, se espera el proyecto de ley al principio del verano 2008 para poder traer una conclusión fija y concreta. Sin embargo, lo seguro es que el mercado de la eficiencia energética a nivel de edificaciones nuevas y existentes está creciendo a una velocidad enorme y que los profesionales ya tienen que ser listos a utilizar las herramientas de diagnósticos energéticos.

---

# ANEXOS

---

## Anexo 1 – Calculo del coeficiente global de transferencia de calor (apéndice B de NOM-020-ENER)

El coeficiente global de transferencia de calor se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$U = \frac{1}{R}$$

donde:

$U$  es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente de la edificación, de superficie a superficie, en  $W/m^2K$  (representa la velocidad a la cual fluye un flujo de calor a través de la dicha superficie)

$R$  es la resistencia térmica de una porción de la envolvente de la edificación, de superficie a superficie, en  $m^2K/W$

### Resistencia térmica total de una porción de la envolvente de una edificación formada con capas homogéneas

La resistencia térmica total de una porción de la envolvente de una edificación formada con capas térmicamente homogéneas, y perpendiculares al flujo del calor, deben de calcularse con la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}$$

donde:

$R$  es la resistencia térmica de una porción de la envolvente de la edificación, de superficie a superficie, en  $m^2K/W$ ;

$h_e$  es la conductancia superficial exterior, y es igual a  $13 W/m^2K$ ;

$n$  es el número de capas que forman la porción de la envolvente de la edificación;

$e$  es el espesor de cada uno de los materiales que forman la porción de la envolvente de la edificación, en  $m$ ;

$\lambda$  es el coeficiente de conductividad térmica de cada uno de los materiales que componen la porción de la envolvente de la edificación, en  $W/mK$

$h_i$  es la conductancia superficial interior, en  $W/m^2K$ . Su valor es 8.1 para

superficies verticales, 9.4 para superficies horizontales con flujo de calor hacia arriba (del piso hacia el aire interior o del aire interior hacia el techo), y 6.6 para superficies horizontales con flujo de calor hacia abajo (del techo al aire interior o del aire interior al piso).

### Resistencia térmica total de porciones formadas con capas homogéneas y capas no homogéneas

La resistencia térmica total de las porciones de la envolvente de una edificación, formada con capas térmicamente homogéneas y térmicamente no homogéneas paralelas a la superficie, como se muestra esquemáticamente en la figura de la pagina 103, se calcula utilizando la siguiente ecuación:

$$R = \frac{1}{\frac{h_e}{R_{parotal} + e/\lambda_1} + \frac{h_e}{R_{parotal} + e/\lambda_2} + \dots + \frac{h_e}{R_{parotal} + e/\lambda_n}}$$

$$R_{parotal} = \frac{1}{h_e} + \frac{e_1}{\lambda_1} + \frac{e_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{e_n}{\lambda_n} + \frac{1}{h_i}$$

Donde:

$R_{parcial}$

es la resistencia térmica parcial de una porción de la envolvente de la edificación, de superficie a superficie ( $m^2K/W$ ). Es la suma de todas las

resistencias térmicas de todas las capas y aislamientos superficiales que componen la parte de la envolvente de la edificación, excepto lo de la capa no homogénea;

$m$

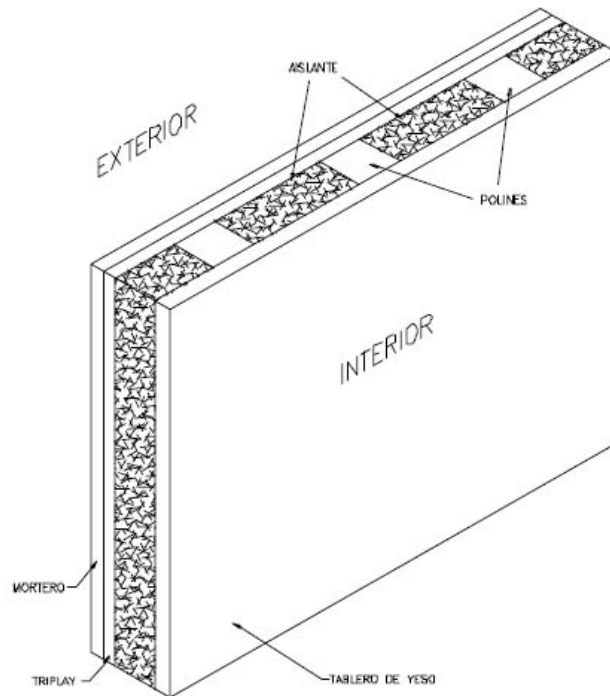
es el número de materiales que forman la capa no homogénea;

$F$

es la fracción del área total de la porción de la envolvente de la edificación, ocupada por cada material en la capa no homogénea;

$e$

es el espesor o grueso de la capa no homogénea.



## Anexo 2 – Datos propuestos en el anteproyecto de NOM-020-ENER para la ciudad de Monterrey, Nuevo León

Ciudad *Monterrey*  
Latitud *25° 40'*

### Temperaturas equivalente promedio $t_e$

Techo	<i>44 °C</i>	
Muros	<i>ligeros</i>	<b>partes transparentes</b>
N	<i>35 °C</i>	<i>27 °C</i>
E	<i>39 °C</i>	<i>28 °C</i>
S	<i>37 °C</i>	<i>28 °C</i>
O	<i>38 °C</i>	<i>28 °C</i>

### Coefficiente de transferencia de calor $U$ de la edificación de referencia

Techo *0.480 W/m<sup>2</sup>·°C*

Muro *0.480 W/m<sup>2</sup>·°C*

Ventana *5.319 W/m<sup>2</sup>·°C*

### Factor de ganancia solar $FG$

N *91 W/m<sup>2</sup>*

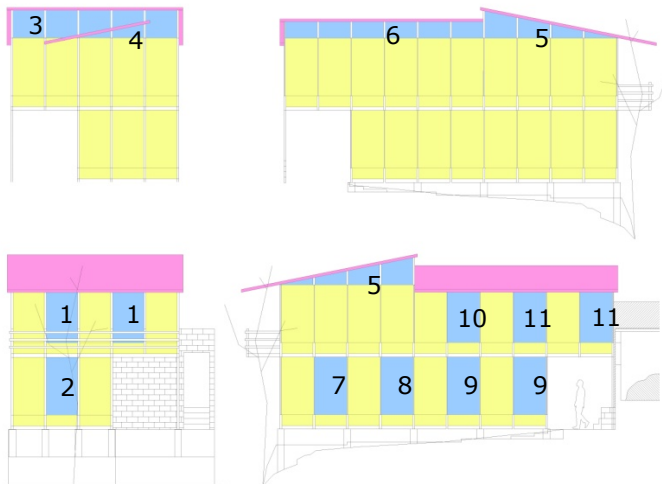
E *137 W/m<sup>2</sup>*

S *118 W/m<sup>2</sup>*

O 146 W/m<sup>2</sup>

**Factor de corrección de sombreado exterior *SE***

#ventana	Orientación	Tipo	L/H	W/H	SE
#1	N	VS	0.65		0.79
#2	N	VS	0.58		0.80
#3	S	VS	0.05		0.96
#4	S	VS	0.26		0.82
#5	E y O	VS	0.02		0.99
#6	E	VS	0.02		0.99
#7	O	VS	0.94		0.64
#8	O	VE	0.94	0.5	0.94
#9	O	VS	0.23		0.88
#10	O	VS	0.47		0.78
#11	O	VE	0.47	0.5	0.75



Vistas de las ventanas de la casa Rosenda enumeradas según el tipo

---

# Bibliografía

---

## Literatura

- [1] *US Energy Information Administration "Annual Energy Outlook 2006",*
- [2] *International Energy Agency 2006,*
- [3] *Yamashita, Yukari "Residential Statistics in Japan".*
- [4] *International Energy Agency and TIAx analysis. US Census 2006.*
- [5] *International Energy Agency. "Energy Statistics and Energy Balances", 2003*
- [6] *International Energy Agency. "Energy Technologies Perspectives 2006: Scenarios and Strategies to 2050.", 2006*
- [7] *Building & Environment. Vol. 32. No. 4, pp. 321-329. 1997*
- [8] *Observatorio de la energía (Francia), 2007*
- [9] *Le Grenelle Environnement, luchar contra los cambios climáticos y controlar la demanda de energía, reporte del grupo 1*
- [10] *Ademe; <http://www.ademe.fr>*
  
- [11] *CO<sub>2</sub>, la revista del confort térmico, número 1, 12/2006*
  
- [12] *Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 2008*
- [13] *Estadísticas de venta CFE, 2008*
- [15] *Anteproyecto de NOM-020-ENER*
- [16] *Casa Rosenda, datos del proyecto (abril del 2008)*

## Internet

*Sitio de Nicolas Hulot*

<http://www.pacte-ecologique.org>

*Sitio general del Grenelle Environnement*

<http://www.legrenelle-environnement.com>

*Sitio de Energía, Tecnología y Educación, ENTE*  
<http://www.funtener.org>

*Sitio de la Asociación Nacional de las Tiendas de Autoservicios y Departamentales*  
<http://www.antad.org.mx/indicadores.htm>

*Sitio de la Cámara Nacional de la Industria de Restaurantes y Alimentos Condimentados:*  
<http://www.caniracnacional.com.mx/que-cifras.php>

*Sitio del Secretaría de Educación Pública:*  
<http://www.sep.gob.mx/work/appsite/nacional/index.htm>

*Sitio del Secretaría de Salubridad y Asistencia:*  
<http://sinais.salud.gob.mx/infraestructura>

*Sitio de la Comisión Nacional para el Ahorro de Energía:*  
[http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA\\_2329\\_inmuebles\\_registrado](http://www.conae.gob.mx/wb/CONAE/CONA_2329_inmuebles_registrado)

*Sitio de Comisión Federal de Electricidad:*  
<http://www.cfe.gob.mx>

*Sitio de la Boîte-À-Outil PROMODUL:*  
<http://www.bao-gp.com>

*Sitio del Instituto Nacional de Estadísticas Francesas*  
<http://www.insee.fr>



---

# Índice de tablas

---

<i>Tabla II.2.a-1 – Repartición del consumo de energía entre sectores en Francia .</i>	18
<i>Tabla II.1.c-1 – Guiones de los impactos económicos y ambientales de los objetivos de los dos primeros planes de acción sobre el sector de la edificación en Francia, en millones de euros .....</i>	26
<i>Tabla III.2-1 – Producción anual de electricidad de PEE’s vs producción pública</i>	35
<i>Tabla III.2-2 – Datos energéticos de los sectores industriales, de edificaciones e inmuebles y del total nacional mexicano en el 2006. ....</i>	37
<i>Tabla III.3.g-1 – Consumo estimado de energía eléctrica en inmuebles del sector de servicios en México.....</i>	41
<i>Tabla III.3.g-2 – Consumo por sectores según estadísticas CFE del año 2006 ...</i>	41
<i>Tabla III.3.g-3 – Estimado de consumo de energía eléctrica en edificios de uso residencial y comercial contra industrial .....</i>	42
<i>Tabla V.2.c-1 – Cálculos de áreas de las cuatras fachadas y del techo según el tipo de superficie.....</i>	67
<i>Tabla V.2.c-2 – Valores de las resistencias térmicas de los elementos de la envolvente de la casa Rosenda según los cuatros casos de estudio.....</i>	68
<i>Table V.2.d-1 - Cálculo de ganancia por conducción, casa Rosenda, caso 1.a ....</i>	71
<i>Table V.2.d-2 - Cálculo de ganancia por conducción, casa Rosenda, caso 1.b ....</i>	72
<i>Table V.2.d-3 - Cálculo de ganancia por conducción, casa Rosenda, caso 2.a ....</i>	72
<i>Tabla V.2.d-4 - Cálculo de ganancia por conducción, casa Rosenda, caso 2.b ....</i>	73
<i>Tabla V.2.d-5 - Cálculo de ganancia por radiación, casa Rosenda, caso 1.a, 2.a .</i>	75
<i>Tabla V.2.d-6 - Cálculo de ganancia por radiación, casa Rosenda, caso 1.b, 2.b .</i>	76
<i>Tabla V.2.d-7 – Resumen de los resultados obtenidos respecto a la ganancia de calor de la envolvente de la edificación proyectada .....</i>	77
<i>Tabla V.2.d-8 – Definición de los elementos de la envolvente de referencia.....</i>	78
<i>Tabla V.2.d-9 - Cálculo de ganancia por conducción, referencia para la casa Rosenda, todos casos.....</i>	79
<i>Tabla V.2.d-10 - Cálculo de ganancia por radiación, referencia para la casa Rosenda, todos casos.....</i>	81
<i>Tabla V.2.d-11 – Resumen de los resultados obtenidos respecto a la ganancia de calor de la edificación de referencia .....</i>	81
<i>Tabla V.2.e-1 – comparación de ganancia de calor de cada elemento de la envolvente entre la edificación de referencia y la proyectada .....</i>	84

**Tabla V.3.c-1 – Mejora del IE y disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> respecto al nivel**

*inicial (índice 100 en el caso 1.a) ..... 99*

---

# Índice de figuras

---

<i>Figura I.1-1 – Existing building floor space (2003) .....</i>	10
<i>Figura I.1-2 – Building floor space per person (2003) (m<sup>2</sup>/person) .....</i>	10
<i>Figura I.1-3 – Best and worst case projections of site energy demand.....</i>	11
<i>Figura I.1-4 – Building energy projection by region, 2003/2030 .....</i>	12
<i>Figura I.2-1 – Site energy sources (2003) .....</i>	12
<i>Figura I.2-2 – Life cycle energy use.....</i>	13
<i>Figura II.1-1 – Los “tres veinte” europeos .....</i>	15
<i>Figura II.2-1 – Los seis grupos de trabajo constituidos.....</i>	17
<i>Figura II.2-2 – Constitución interna de cada grupo .....</i>	17
<i>Figura II.2.a-1 – Repartición consumo de energía entre sectores en Francia .....</i>	18
<i>Figura II.2.a-2 – Las tres acciones propuestas acerca de las edificaciones .....</i>	21
<i>Figura II.2.b-1 – El calendario de la acción 1 .....</i>	22
<i>Figura II.2.c-1 – La repartición de los hogares en Francia .....</i>	23
<i>Figura II.2.c-2 – Puntos claves para asegurar el éxito de las dos acciones].....</i>	23
<i>Figura II.2.c-3 – Objetivos consumo promedio parque edificaciones existentes .</i>	24
<i>Figura II.2.c-4 – Repartición tipos de edificación en el parque existente.....</i>	25
<i>Figura II.2.c-5 – Puntos clave para asegurar el éxito de la acción 2.....</i>	25
<i>Figura II.3-1 – Pérdidas de calor casa individual promedio no aislada en Francia</i>	28
<i>Figura II.3.a-1 – Transcripción de directiva europea en la ley francesa .....</i>	29
<i>Figura II.3.b-1 – Logotipo de la BAO PROMODUL gratis en línea .....</i>	30
<i>Figura III.1-1 – Tasa de crecimiento anual de PIB nacional mexicano .....</i>	32
<i>Figura III.1-2 – Evolución del PIB nacional mexicano respecto al nivel de 1992.</i>	33
<i>Figura III.2-1 – Evolución volúmenes de energía eléctrica suministrada por CFE</i>	34
<i>Figura III.2-2 – Evolución cantidad de usuarios por sectores de clientes CFE ....</i>	35
<i>Figura III.2-3 – Evolución cantidad de energía suministrada por CFE a usuarios</i>	36
<i>Figura III.2-4 – Peso relativo consumo subsectores en el total CFE .....</i>	36
<i>Figura III.2-5 – Peso relativo sectores industriales e inmuebles en el total .....</i>	37
<i>Figura III.3.g-1 – Estimado de peso relativo de consumo edificacional .....</i>	42
<i>Figura IV.3.a-1 – Trayectoria del sol en el cielo a lo largo del año .....</i>	46
<i>Figura IV.3.a-2 – Técnicas de mejora de envolvente edificacional, climas cálidos</i>	47
<i>Figura IV.5-1 – Impacto del diseño en el ciclo de vida de la edificación .....</i>	49
<i>Figura IV.6-1 – Modos transferencia calor a través pared opaca o transparente.</i>	50

<i>Figura V.2.b-1 - Simulación informática vista de la casa Rosenda construida</i> .....	55
<i>Figura V.2.c-1 - Plano de la planta baja de la casa Rosenda</i> .....	57
<i>Figura V.2.c-2 - Plano de la planta baja de la casa Rosenda</i> .....	57
<i>Figura V.2.c-3 - Vista integral de la fachada norte</i> .....	58
<i>Figura V.2.c-4 - Corte transversal de la pared norte de la planta baja</i> .....	59
<i>Figura V.2.c-5 - Corte transversal de la pared norte de la planta alta</i> .....	59
<i>Figura V.2.c-6 - Corte transversal de la pared norte (caso 1.a y 1.b)</i> .....	59
<i>Figura V.2.c-7 - Corte transversal de la pared norte (caso 1.a y 1.b)</i> .....	60
<i>Figura V.2.c-8 - Vista de la estructura de vigas de la fachada norte</i> .....	60
<i>Figura V.2.c-9 - Vista integral de la fachada oeste</i> .....	61
<i>Figura V.2.c-10 - Corte transversal de la pared oeste de la planta baja</i> .....	61
<i>Figura V.2.c-11 - Corte transversal de la pared oeste de la planta alta</i> .....	61
<i>Figura V.2.c-12 - Corte transversal de la pared oeste (caso 1.a y 1.b)</i> .....	62
<i>Figura V.2.c-13 - Corte transversal de la pared oeste (caso 2.a y 2.b)</i> .....	62
<i>Figura V.2.c-14 - Vista de la estructura de vigas de la fachada norte</i> .....	63
<i>Figura V.2.c-15 - Vista integral de la fachada sur</i> .....	63
<i>Figura V.2.c-16 - Corte transversal de la pared sud de la planta baja</i> .....	64
<i>Figura V.2.c-17 - Corte transversal de la pared sud de la planta alta</i> .....	64
<i>Figura V.2.c-18 - Vista de la estructura de vigas de la fachada norte</i> .....	64
<i>Figura V.2.c-19 - Vista integral de la fachada sur</i> .....	65
<i>Figura V.2.c-20 - Corte transversal de la pared este de la planta baja</i> .....	65
<i>Figura V.2.c-21 - Corte transversal de la pared este de la planta alta</i> .....	65
<i>Figura V.2.c-22 - Vista de la estructura de vigas de la fachada norte</i> .....	66
<i>Figura V.2.c-23 - Área de techumbre</i> .....	66
<i>Figura V.2.c-24 - Caso 1, corte transversal del techumbre</i> .....	67
<i>Figura V.2.c-25 - Caso 2, corte transversal del techumbre</i> .....	67
<i>Figura V.2.e-1 - Ganancias de calor absoluta de la envolvente (todos casos)</i> ....	82
<i>Figura V.2.e-2 - Peso de cada elemento en la ganancia de calor total</i> .....	83
<i>Figura V.3.b-1 - Repartición de los gastos energéticos en el caso 1.a</i> .....	92
<i>Figura V.3.b-2 - Repartición de los gastos energéticos en el caso 2.b</i> .....	95
<i>Figura V.3.b-3 - Ayudas posibles que obtener</i> .....	96
<i>Figuras V.3.c-1 - Gráficos recapitulativos de cada caso de estudio</i> .....	98