

COSTOS Y BENEFICIOS DE LA NORMA OFICIAL MEXICANA PARA ENVOLVENTE DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES (NOM-020- ENER)

Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía

Junio de 2017

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	3
I ANTECEDENTES	6
a La relevancia actual y futura del consumo de electricidad para confort térmico en regiones de clima cálido	6
b La importancia de la envolvente de las edificaciones	7
c Las acciones de la Conuee	8
d Las iniciativas en el sector de la vivienda	8
e La necesidad de una perspectiva más allá del costo inicial	9
II LOS COSTOS Y BENEFICIOS DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-ENER	10
a Consideraciones	10
b El nivel de cumplimiento con la NOM-020-ENER	11
c El costo de cumplimiento con la NOM-020-ENER	12
d Los beneficios del cumplimiento con la NOM-020-ENER	13
<i>i. Impacto por vivienda</i>	13
<i>ii. Impacto para el país</i>	15
III CONCLUSIONES	17
ANEXO I. K de referencia (W/m ² K) de acuerdo con la Tabla 1. Valores para el Cálculo del Flujo de Calor a través de la Envolvente	19
ANEXO I. Tablas de índice de cumplimiento de la NOM-020-ENER por localidad para viviendas de 39, 49 y 100 m ²	22

RESUMEN

En México se construyen cerca de 225 mil viviendas al año en regiones de clima cálido a través de desarrolladores de vivienda, en localidades con altas temperaturas en verano (principalmente, en el norte del país) o con calor todo el año (como el sur del territorio nacional y las regiones costeras).

Por sus necesidades de confort térmico, estas viviendas tienen consumos promedio de electricidad que superan dos y hasta cinco veces a las ubicadas en regiones de clima templado. Esto representa una carga mayor en la economía de las familias que viven en estas regiones, donde el confort térmico es una necesidad para tener calidad de vida y ser productivo.

De acuerdo con la Conuee, el uso de electricidad para confort térmico en zonas de clima cálido representa más del 30% de todo el consumo eléctrico del sector residencial y seguirá creciendo, dado que es una necesidad insatisfecha que crece a medida que zonas de clima cálido se urbanizan.¹ Tan solo en los últimos cuatro años la demanda eléctrica por confort térmico ha crecido más de 50% en zonas bajo tarifas 1B y 1C.²

Un elemento central que determina la cantidad de energía para confort térmico es la envolvente de la vivienda, es decir, el diseño y los materiales que componen muros, techos, ventanas y puertas. Una vivienda bien diseñada en orientación y con los elementos de envolvente adecuados puede tener mucho menores ganancias de calor y, por lo mismo, facturaciones eléctricas significativamente menores a lo largo de la vida útil de las construcciones.

La NOM-020-ENER es una norma, vigente desde 2011, que aplica a la envolvente de las edificaciones que incluye, de manera integral, techo, muros, ventanas y puertas. Sin embargo, su aplicación ha encontrado fuerte resistencia de desarrolladores de vivienda por el costo adicional en la construcción. Sin embargo, esta perspectiva es parcial, ya que esos costos se recuperan, desde una perspectiva social, en menos de una quinta parte de la vida útil de las viviendas y trae consigo beneficios en salud y productividad que no se han cuantificado.

Con este propósito, en este estudio se presentan estimaciones de costos y beneficios del cumplimiento de la NOM-020-ENER para los dueños de las viviendas y para el erario público, y de los impactos por emisiones evitadas de gases de efecto invernadero.

El análisis utiliza el método de cálculo definido en la NOM-020-ENER y se lleva a cabo para tres tamaños de edificio de vivienda de un solo piso (que es la de mayor costo de cumplimiento): 39,

¹ UNEP-SBCI, 2009. Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico . <http://staging.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-Mexicoreport.pdf>

² Conuee, 2017. Análisis de los consumos unitarios y estacionales por usuarios en tarifas residenciales entre 2012 y 2016 para identificar evolución de la demanda por aire acondicionado http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/193005/cuadernilloNo5_1.pdf

49 y 100 m², considerando que los edificios sin aplicación de la NOM-020-ENER tienen dos características:

- Los muros y el techo son de concreto
- Las ventanas ocupan el 20% del área de muros.

Para el análisis se consideran cinco tipologías de envolvente que parten de un edificio de concreto sin medidas hasta el que integra el equivalente a aislamiento de 2" de poliestireno expandido (EPS) en techo, el equivalente a aislamiento a 1" de poliestireno expandido en muros, ventanas con vidrios con Factor de Sombreado (FS) de 0.6, y Factor de Corrección de Sombreado Exterior (Se) para las cuatro orientaciones de 0.9.

Como principales resultados se anotan los siguientes:

- Las viviendas proyectadas (sin ninguna medida) tienen ganancias térmicas que triplican lo permitido por la NOM-020-ENER.
- Cumplir con la NOM-020-ENER implica la aplicación de cuando menos las tres primeras medidas consideradas.
- Cumplir con la NOM-020-ENER considerando a la losa de concreto como línea base implica costos adicionales que van de poco más de 13 mil a cerca de 27 mil pesos para viviendas de 39 a 100 m². Este costo se reduce en más de 33% si se considera al sistema de vigueta y bovedilla de aislamiento térmico en el techo como línea base (Tabla 1).

Tabla 1. Costos y beneficios del cumplimiento de la NOM-020

Tamaño de vivienda	Costo adicional (Pesos)		Ahorro anual (Miles de pesos)			
	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Usuario		Hacienda pública	
			Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto
39m ²	8,850	13,117	756 a 1,512	983 a 1,966	1,512 a 3,024	1,966 a 3,931
49m ²	9,912	15,447	756 a 1,512	983 a 1,966	1,512 a 3,024	1,966 a 3,931
100 m ²	14,160	25,660	1,512 a 3,024	1,966 a 3,931	3,024 a 6,048	3,931 a 7,862

- Desde una perspectiva social, que incluye los beneficios económicos al comprador de la vivienda y al erario público, el costo adicional se paga en cerca de tres años.
- Si solo se toma en cuenta la del usuario, este período es de cerca de 9 años.
- Dado que se cumplimiento tiene beneficios para la hacienda pública por el alto nivel actual de subsidios al sector residencial, se estima que, en el supuesto de que el costo adicional

fuera cubierto al 100% por la hacienda pública, la inversión se recuperaría en un período de 3 a 5 años.

- Se estima que se construyen al año 132 mil viviendas nuevas en regiones donde aplica la NOM-020-ENER (tarifas 1C a 1F).
- En caso de no cumplirse con la NOM-020-ENER, se tendrá una insuficiencia tarifaria adicional de 311 a 405 millones pesos por año a lo largo de la vida útil de las viviendas construidas en un año, e implica que cada año se sume una cantidad similar a las que se van acumulado.
- Asimismo, esas 132 mil viviendas emitirán entre 63 y 81 mil toneladas de emisiones CO_{2eq} adicionales por año, por no cumplir con la NOM-020-ENER.
- A su vez, no cumplir con la NOM-020-ENER en 132 mil viviendas por año por veinte años resultará en una emisión de gases de efecto invernadero de más de 25 y hasta 33 millones de toneladas de CO_{2eq} en esos veinte años.

I. ANTECEDENTES

a. La relevancia actual y futura del consumo de electricidad para confort térmico en regiones de clima cálido

En México se construyen cerca de 225 mil viviendas al año en regiones de clima cálido a través de desarrolladores de vivienda, en localidades con altas temperaturas en verano (principalmente, en el norte del país) o con calor todo el año (como el sur del territorio nacional y las regiones costeras).^{3 4}

Por sus necesidades de confort térmico, estas viviendas tienen consumos promedio de electricidad que superan dos y hasta cinco veces a las ubicadas en regiones de clima templado. Esto representa una carga mayor en la economía de las familias que viven en estas regiones en relación con las que tienen su hogar en regiones de clima templado, y el confort térmico es una necesidad para tener calidad de vida y ser productivo.

De acuerdo con la Conuee, el uso de electricidad para confort térmico en zonas de clima cálido representa más del 30% de todo el consumo eléctrico del sector residencial. Según estiman algunos estudios, el uso de electricidad para el confort térmico seguirá creciendo, dado que es una necesidad insatisfecha que crece a medida de que zonas de clima cálido se urbanizan.⁵ Tan solo en los últimos cuatro años la demanda eléctrica por confort térmico ha crecido más de 50% en zonas bajo tarifas 1B y 1C.⁶

Igualmente, datos de la Asociación Nacional de Fabricantes de Aparatos Domésticos (ANFAD) señalan que las ventas anuales de equipos de aire acondicionado se han triplicado desde 1998 para llegar a cerca de 600 mil al año, lo que muestra una rápida penetración de esta tecnología en los hogares mexicanos.⁷

Aunado a lo anterior, todo parece indicar que las condiciones climáticas se vuelven cada vez más extremas en lo general por el fenómeno del cambio climático y, en lo particular, por el llamado efecto de “isla de calor”, que ocurre en zonas urbanas con creciente pavimentación. Los efectos de

³ INFONAVIT, Política Nacional de Vivienda

<http://boletin.dseinfonavit.org.mx/078/doctos/PoliticaNacionaldeVivienda.pdf>

⁴ De acuerdo con la distribución de usuarios eléctricos que reporta la Comisión Federal de Electricidad, el 45% de las viviendas de México se ubica en regiones de clima cálido.

⁵ UNEP-SBCI, 2009. Greenhouse Gas Emission Baselines and Reduction Potentials from Buildings in Mexico . <http://staging.unep.org/sbci/pdfs/SBCI-Mexicoreport.pdf>

⁶ Conuee, 2017. Análisis de los consumos unitarios y estacionales por usuarios en tarifas residenciales entre 2012 y 2016 para identificar evolución de la demanda por aire acondicionado http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/193005/cuadernilloNo5_1.pdf

⁷ LBNL, NORMAS DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO MÍNIMO PARA ACONDICIONADORES DE AIRE TIPO VENTANA EN MÉXICO, https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/182036/Normas_de_desempe_o_energ_tico_m_nimo_para_acondicionadores_de_aire_tipo_ventana_en_m_xico.pdf

estos fenómenos son cada vez más notorios y se estima que tengan impactos negativos en la salud de un porcentaje importante de la población.⁸

Este creciente problema, que se acumula año con año por viviendas que se ocupan sin tener elementos que atenúen sus necesidades de confort térmico, se ha venido resolviendo con subsidios al consumo de electricidad, que hoy representan una fuerte carga al erario público por más de 40 mil millones de pesos al año. A costos actuales, se estima que cada año se agregan, solo por el consumo para confort térmico, 400 millones de pesos a lo que tiene que pagar el erario público.⁹

A los impactos anteriores se suma el hecho de que se emite un creciente volumen de gases de efecto invernadero por la quema de combustibles fósiles para la generación de electricidad que hace funcionar a los equipos que proveen confort térmico. En promedio, el uso de electricidad por acondicionamiento térmico en una vivienda en región de clima cálido es de media tonelada de CO_{2eq} por año, que se multiplica por cuatro para el promedio de las viviendas en los climas más extremos.

b. La importancia de la envolvente de las edificaciones

Un elemento central que determina la cantidad de energía para confort térmico es la envolvente de la vivienda, es decir, el diseño y los materiales que componen muros, techos, ventanas y puertas. Una vivienda bien diseñada en orientación y con los elementos de envolvente adecuados puede tener mucho menores ganancias de calor y, por lo mismo, facturaciones eléctricas significativamente menores a lo largo de la vida útil de las construcciones.

La envolvente de la vivienda es un elemento que, a diferencia de otros que se relacionan con el consumo de energía, permanece a lo largo de la vida útil de la vivienda, que fácilmente supera los 30 años. Igualmente, integrar elementos que atenúen las ganancias térmicas en la vivienda tiene un costo significativamente menor cuando se integran como parte de su diseño original, que el tener que hacerlo una vez terminada la edificación y que ha sido ocupada.

En zonas de climas extremos como Mexicali y Hermosillo, que son localidades con temperaturas muy altas en el verano, la integración de aislamiento térmico en la envolvente y el uso de vidrios con características que limitan la entrada al interior de la vivienda de la irradiación solar ya es práctica generalizada en viviendas de familias de ingresos medios y altos.¹⁰

⁸ Global risk of deadly heat. *Nature Climate Change*.

<https://www.nature.com/nclimate/journal/vaop/ncurrent/full/nclimate3322.html>

⁹ Conuee, 2016. Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2014 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas

<http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98316/CuadernosConueeNo1.pdf>

¹⁰ Esto está relacionado con el éxito del programa apoyado por el FIPATERM, que ha financiado cerca de 100 mil proyectos de aislamiento térmico en vivienda, principalmente en Mexicali.

Sin embargo, de acuerdo con información del INEGI, en México menos del 5% de las viviendas incorporan aislamiento térmico a su envolvente,¹¹ mientras que un porcentaje tres veces mayor (cerca del 15%) de las viviendas cuenta con equipos de aire acondicionado.¹²

c. Las acciones de la Conuee

Para atender esta problemática, desde hace más de 20 años la Conuee ha puesto en vigor un conjunto de Normas Oficiales Mexicanas aplicables a materiales, equipos y sistemas relacionados con el confort térmico y que incluyen materiales aislantes, ventanas, equipos de aire acondicionado (de ventana, tipo Split y tipo Inverter).

Entre estas normas se encuentra la NOM-020-ENER, que aplica a la envolvente de las edificaciones (y que incluye, de manera integral, techo, muros, ventanas y puertas) y que fue publicada y puesta en vigor en 2011.¹³ Esta NOM es el elemento fundamental de política pública para atenuar significativamente y de raíz la problemática definida arriba.

En equipos, los impactos de las NOM de la Conuee se reflejan en la evolución de la demanda de electricidad por usuario y del consumo total de gas en el sector residencial. Se estima que los usuarios y la hacienda pública se han ahorrado más de 600 mil millones de pesos en poco más de 20 años.^{14,15}

d. Las iniciativas en el sector de la vivienda

En México se han diseñado y promovido reglas y programas en el sector de la vivienda con elementos orientados a la sustentabilidad, que incluyen elementos de envolvente como parte de las tecnologías consideradas y permiten obtener subsidios para viviendas de interés social y obtener más financiamiento a tasas más favorables para viviendas más allá de ese sector.

Estos programas incluyen el subsidio de Conavi, la Hipoteca Verde de Infonavit, los programas Ecocasa de Sociedad Hipotecaria Federal y el NAMA de vivienda.

Sin embargo, estos programas no atienden el problema de las viviendas en climas cálidos de manera suficiente ya que, además de que no integran la NOM-020-ENER como requisito a la

¹¹ Conuee, 2016. Notas sobre resultados relativos a eficiencia energética del Módulo Hogares y Medio Ambiente de la Encuesta Nacional de los Hogares de INEGI, 2015

http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/191497/cuadernilloNo4_5_1_2.pdf

¹² INEGI, Encuesta Nacional de Ingresos y Gastos de los Hogares 2015

¹³ NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional.

http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011

¹⁴ Conuee, 2016. Análisis de la evolución del consumo eléctrico del sector residencial entre 1982 y 2014 e impactos de ahorro de energía por políticas públicas

<http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98316/CuadernosConueeNo1.pdf>

¹⁵ Conuee, 2016. La NOM de eficiencia energética para calentadores de agua a gas y sus impactos energéticos, económicos y ambientales.

<http://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98317/CuadernosConueeNo2.pdf>

entrega de beneficios, sus reglas tienen los elementos de atenuación de ganancias térmicas como opcionales, no les dan la ponderación adecuada y su alcance es limitado a una fracción de las viviendas en regiones de clima cálido:

- En las reglas de operación de los subsidios a la vivienda de interés social de Conavi, la aplicación de elementos de envolvente que reducen las cargas térmicas es opcional y no está adecuadamente ponderada.¹⁶
- En la Hipoteca Verde se considera a los elementos de envolvente de manera individual, no se pondera adecuadamente su efecto y los montos que se manejan para familias con ingresos por debajo de 1.6 salarios mínimos no son suficientes para considerar una aplicación cabal de elementos de envolvente que atenúen ganancias térmicas.¹⁷
- Los programas Ecosasa tienen un alcance limitado (no mayor a 30 mil viviendas en todo el país en climas cálidos y templados) y atiende fundamentalmente a familias de ingresos medios,

e. La necesidad de una perspectiva más allá del costo inicial

La aplicación de la NOM-020-ENER ha encontrado fuerte resistencia de desarrolladores de vivienda por el costo adicional en la construcción. Sin embargo, esta perspectiva es parcial, ya que esos costos se recuperan, desde una perspectiva social, en menos de una quinta parte de la vida útil de las viviendas y trae consigo beneficios en salud y productividad que no se han cuantificado.

Por lo mismo, en el presente documento se integra un estimado de costos y beneficios de una aplicación cabal de la NOM-020-ENER para el comprador de la vivienda, para la hacienda pública y de emisiones de gases de efecto invernadero. Esto se realiza, mediante cálculos, para 18 localidades en igual número de estados con clima cálido, de la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio en términos de lo definido en la NOM-020-ENER.

¹⁶ Reglas de Operación del Programa de Acceso al Financiamiento para Soluciones Habitacionales para el ejercicio fiscal 2017 <http://www.gob.mx/conavi/documentos/reglas-de-operacion-para-el-ejercicio-fiscal-2017>

¹⁷ INFONAVIT. Simulador Hipoteca Verde. <http://201.134.132.145:82/simuladorHVWeb/home/simulador.jsp?entrada=T>

II. LOS COSTOS Y BENEFICIOS DEL CUMPLIMIENTO DE LA NOM-020-ENER

a. Consideraciones

En el presente análisis se calcula, para 18 localidades en igual número de estados con clima cálido y en tarifas 1C a 1F,¹⁸ la ganancia de calor a través de la envolvente del edificio en términos de lo definido en la NOM-020-ENER (7. Método de cálculo (Presupuesto energético))¹⁹ y utilizando los valores de coeficiente global de transferencia de calor (K) establecidos en la modificación hecha en 2016.²⁰

El análisis se lleva a cabo considerando tres tamaños de edificio de vivienda: 39, 49 y 100 m².

Asimismo, el análisis se realiza solo para vivienda aislada (que es un edificio con una sola vivienda sin colindancia con otro edificio) de un solo piso; esto, en función de que es la de mayor ganancia térmica para un tamaño de edificio en relación con los adosados y/o verticales.

Igualmente, se considera que los edificios sin aplicación de la NOM-020-ENER tienen dos características:

- Los muros y el techo son de concreto
- Las ventanas ocupan el 20% del área de muros.

Finalmente, se consideran cinco tipologías de envolvente (Tabla 2):

- Techo de losa de concreto sin aislamiento térmico en techo ni muros.
- Techo de losa de concreto en techo con el equivalente a 2" de poliestireno expandido (EPS).
- Techo de losa de concreto con el equivalente a 2" de poliestireno expandido (EPS), más el equivalente a 1" de poliestireno expandido (EPS) en muros.
- Techo de losa de concreto con el equivalente a 2" de poliestireno expandido (EPS), más el equivalente a 1" de poliestireno expandido (EPS) en muros más vidrios sombreados (FS=0.6).
- Techo de losa de concreto con el equivalente a 2" de poliestireno expandido (EPS), más el equivalente a 1" de poliestireno expandido (EPS) en muros, más vidrios sombreados con

¹⁸ CFE. Tarifas para el suministro y venta de energía eléctrica (2016 - 2017)
http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/Tarifas/tarifas_casa.asp

¹⁹ NORMA Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.- Envolvente de edificios para uso habitacional.http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5203931&fecha=09/08/2011

²⁰ RESOLUCIÓN por la que se modifican los valores de coeficiente global de transferencia de calor (K) de la Tabla 1, se agregan definiciones y se acota la verificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.-Envolvente de edificios para uso habitacional, publicada el 9 de agosto de 2011, http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455514&fecha=04/10/2016

Factor de Sombreado (FS) de 0.6, más Factor de Corrección de Sombreado Exterior (Se) para las cuatro orientaciones de 0.9.

Tabla 2. Valores de Conductividad Térmica (k), % de área en muros, Factor de Sombreado (FS) y Factor de Corrección de Sombreado Exterior (Se) para cinco tipologías de edificaciones

Elementos	Tipología					
	NOM-020-ENER	Sin medidas	C/aislamiento en techo	C/aislamiento en techo y muros	C/aislamiento en techo y muros + vidrio con bajo FS	C/aislamiento en techo y muros + vidrio con bajo FS + Se=0.9
k Techo	Ver Anexo I	3.39	0.57	0.57	0.57	0.57
k Muros		3.21	3.21	0.96	0.96	0.96
FS	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.6
Se	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.9
% ventana	10	20	20	20	20	20

b. El nivel de cumplimiento con la NOM-020-ENER

En el ANEXO II se muestran tablas con los resultados de ganancias térmicas e índices de cumplimiento con la NOM-020-ENER para edificaciones en las 18 localidades consideradas.

De acuerdo con esos resultados, las viviendas sin ninguna medida no cumplen con la NOM-020-ENER y para lograr el cumplimiento hay que integrar de tres a cuatro de las medidas consideradas: (1) el equivalente a aislamiento de 2" de poliestireno expandido (EPS) en techo, (2) el equivalente a aislamiento a 1" de poliestireno expandido en muros, (3) ventanas con vidrios con Factor de Sombreado (FS) de 0.6, y (4) Factor de Corrección de Sombreado Exterior (Se) para las cuatro orientaciones de 0.9 (Tabla 3).²¹

Tabla 3. Índice de cumplimiento de la NOM-020 según elementos de envolvente

Medidas	Tamaño de la vivienda		
	39 m ²	49 m ²	100 m ²
Sin medidas	3.08	3.13	3.30
Aislamiento techo	2.00	1.96	1.55
Aislamiento techo + muros	1.50	1.47	1.12
Aislamiento techo + muros + CS=.65	1.17	1.16	0.84
Aislamiento techo + muros + CS=.65 + EP=.90	1.11	1.10	0.79

Asimismo, los valores de la Tabla 3 nos señalan lo siguiente:

²¹ Salvo las ubicadas en Tarifa F.

- Que la reducción de ganancias térmicas a través de la envolvente, que se logra con la NOM-020-ENER, es mayor a un 65% cuando se considera un techo con losa de concreto sin aislamiento alguno. En caso de que la práctica sea de vigueta con bovedilla de aislamiento, la reducción de la ganancia térmica es de 50%.
- Que el impacto del aislamiento en el techo es mayor para todo el edificio mientras sea más grande la vivienda (para vivienda de un solo piso).
- Que el uso de vidrios con bajo factor de sombreado tiene un impacto notable en la reducción de las ganancias térmicas.
- Que para viviendas de 49 m² o menos hace falta fortalecer alguna de las medidas arriba señaladas para poder cumplir con la NOM-020-ENER.

c. El costo de cumplimiento con la NOM-020-ENER

Para establecer los costos de cumplimiento con las NOM-020-ENER, se consideran los siguientes costos unitarios de los elementos de envolvente:²²

- 115 \$/m² p/2" de poliestireno expandido (EPS) en techo
- 140 \$/m² p/1" de poliestireno expandido (EPS) en muros
- 30 \$/m² para sombreado vidrio (FS=0.6).

A partir de los supuestos anotados arriba, que incluyen el considerar que las viviendas que no cumplen la NOM-020-ENER son de muros y losa de concreto, se estiman costos adicionales de poco más de 13 mil a cerca de 27 mil pesos (Tabla 4).

Tabla 4. Costo adicional estimado para cumplimiento de la NOM-020-ENER para viviendas con techo de losa de concreto

Elementos	Tamaño de la vivienda					
	39 m ²		49 m ²		100 m ²	
	Área (m ²)	Costo adicional (pesos)	Área (m ²)	Costo adicional (pesos)	Área (m ²)	Costo adicional (pesos)
Techo	39	4,492	49	5,635	100	11,500
Muros	60	8,400	67	9,408	96	13,440
Ventanas	15	450	17	504	24	720
TOTAL	114	13,342	133	15,547	220	25,660

Sin embargo, los costos anotados en la Tabla 5 consideran que las edificaciones son construidas con losa de concreto. El costo se reduce de 34 a 45% cuando el techo se construye bajo el sistema de vigueta y bovedilla de poliestireno expandido (EPS), que incluye elementos de aislamiento

²² Costos a mayo de 2017 obtenidos de proveedores.

térmico para reducir las ganancias térmicas en techo sin aumentar el costo de la construcción, por lo que los costos de cumplimiento pueden ser hasta 45% menores (Tabla 5).

Tabla 5. Costo adicional estimado (en pesos) para cumplimiento de la NOM-020-ENER en viviendas con techo basado en sistema de vigueta y bovedilla con equivalente de poliestireno expandido (EPS)

Elementos	Tamaño de la vivienda		
	39 m ²	49 m ²	100 m ²
Muros	8,400	9,408	13,440
Ventana	450	504	720
Total	8,850	9,912	14,160

d. Los beneficios del cumplimiento con la NOM-020-ENER

Para definir los beneficios económicos y ambientales de cumplir con la NOM-020-ENER por vivienda, se plantean los siguientes supuestos:

- Que la vivienda, en el corto o mediano plazo, requerirá del uso de equipos de aire acondicionado.
- Que el ahorro de energía eléctrica es de 65% para viviendas con techo de losa de concreto y de 50% para viviendas con techo de vigueta y bovedilla de aislamiento térmico.
- Se consideran unidades de aire acondicionado de ventana de $\frac{3}{4}$ de tonelada de refrigeración, con eficiencia de equipo nuevo de acuerdo a la NOM correspondiente (REE=2.5), lo que resulta en una potencia de 1,050 watts.
- Para estimar consumo de energía según tarifa, se consideran horas de uso por día y días al año en que se usa el equipo de AC de acuerdo a zona tarifaria.
- Para las viviendas de 39 y 49 m² se considera un solo equipo de AC.
- Para las viviendas de 100 m² se consideran dos equipos de AC.
- Costo de la energía eléctrica para el usuario: 1 \$/kWh.
- Insuficiencia tarifaria: 2 \$/kWh.
- Vida útil de las viviendas: 30 años.
- Se considera que la mayoría de las viviendas en tarifas 1c y 1d se ubica en zonas con clima cálido todo el año, mientras que las correspondientes a 1e y 1f están en zonas con clima cálido en verano.

i. Impacto por vivienda

El cumplimiento de la NOM-020-ENER, bajo los supuestos establecidos arriba y para viviendas de 39 y 49 m², resulta en ahorros anuales de 756 a 1,916 pesos/año para el usuario (Tabla 6).

Tabla 6. Ahorro estimado para usuario por viviendas de 39 y 49 m² por cumplimiento de la NOM-020-ENER, según tarifa aplicable

Tarifa	Días	Hrs/día	Consumo (kWh/año)	Ahorro			
				kWh/año		\$/año	
				Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico
1c	240	6	1,512	983	756	983	756
1d	240	8	2,016	1,310	1,008	1,310	1,008
1e	180	12	2,268	1,474	1,134	1,474	1,134
1f	180	16	3,024	1,966	1,512	1,966	1,512

El cumplimiento de la NOM-020-ENER, bajo los supuestos establecidos arriba y para viviendas de 39 y 49 m², resulta en ahorros anuales de 1,512 a 3,931 pesos/año para la hacienda pública. Por su parte, las emisiones evitadas van de 0.31 a 0.79 TonCO_{2eq}/año por vivienda según tarifa aplicable (Tabla 7).

Tabla 7. Impactos en ahorro a la hacienda pública y emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes por vivienda de igual o menos de 49 m² por cumplimiento de la NOM-020-ENER, según tarifa aplicable

Tarifa	Ahorro a la hacienda pública (pesos/año)		Emisiones evitadas (kgCO _{2eq}) ²³	
	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico
1c	1,966	1,512	393	302
1d	2,621	2,016	524	403
1e	2,948	2,268	590	454
1f	3,931	3,024	786	605

El cumplimiento de la NOM-020-ENER para viviendas de 100 m², bajo los supuestos establecidos arriba, resulta en ahorros anuales de 1,512 a 3,931 pesos/año para el usuario (Tabla 8).

²³ Para 0.4 kgCO_{2eq}/kWh

Tabla 8. Ahorro estimado para usuario por vivienda de 100 m² por cumplimiento de la NOM-020-ENER, según tarifa aplicable

Tarifa	Días	Hrs/día	Consumo (kWh/año)	Ahorro			
				kWh/año		\$/año	
				Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico
1c	240	6	3,024	1,966	1,512	1,966	1,512
1d	240	8	4,032	2,621	2,016	2,621	2,016
1e	180	12	4,536	2,948	2,268	2,948	2,268
1f	180	16	6,048	3,931	3,024	3,931	3,024

El cumplimiento de la NOM-020-ENER, bajo los supuestos establecidos arriba y para viviendas de 100 m², resulta en ahorros anuales de 3,024 a 7,862 pesos/año para la hacienda pública. Por su parte, las emisiones evitadas van de 0.61 a 1.57 TonCO_{2eq}/año por vivienda según tarifa aplicable (Tabla 9).

Tabla 9. Impactos en ahorro a la hacienda pública y emisiones de gases de efecto invernadero equivalentes por vivienda de 100 m² por cumplimiento de la NOM-020-ENER, según tarifa aplicable

Tarifa	Ahorro a la hacienda pública (pesos)		Emisiones evitadas (kgCO _{2eq}) ²⁴	
	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico
1c	3,931	3,024	786	605
1d	5,242	4,032	1,048	806
1e	5,897	4,536	1,179	907
1f	7,862	6,048	1,572	1,210

ii. Impacto para el país

Se estima que al año se construyen 500,000 viviendas formales en México.²⁵ De acuerdo con una desagregación basada en el número de usuarios de la CFE, el 26% se ubica en zonas en las que aplica la NOM-020-ENER (tarifas 1C a 1F), por lo que se estima que 131.9 mil viviendas se encuentran bajo su alcance (Tabla 10). Para propósitos del presente análisis, se considera que el

²⁴ Para 0.4 kgCO_{2eq}/kWh

²⁵ INFONAVIT, Política Nacional de Vivienda

<http://boletin.dseinfonavit.org.mx/078/doctos/PoliticaNacionaldeVivienda.pdf>

75% de las viviendas nuevas tiene un tamaño igual o menor a 49 m² mientras que el resto es de 100 m².

Tabla 10. Estimado de número de viviendas sujetas a la NOM-020-ENER basado en las tarifas aplicables y el universo de usuarios de CFE

Tarifa	% usuarios	No. viviendas (miles)		
		Total	39 y 49 m ²	100 m ²
1c	16%	79.0	59.2	19.7
1d	4%	17.7	13.3	4.4
1e	3%	16.3	12.2	4.1
1f	4%	18.8	14.1	4.7
TOTAL	26%	131.9	98.9	33.0

De acuerdo con todas las suposiciones anteriores, el incumplimiento de la NOM-020 resultará en una insuficiencia tarifaria de entre 311 y 404 millones pesos por año para esas 132 mil viviendas. Asimismo, se emitirán entre 62 y 81 mil toneladas de emisiones CO_{2eq} por año (Tabla 11).

Tabla 11. Insuficiencia tarifaria y emisiones CO_{2eq} por año, por incumplimiento de la NOM-020-ENER por viviendas en un año

Tarifa	Insuficiencia tarifaria/año (Millones de pesos)		Emisiones de CO ₂ /año (Ton CO _{2eq})	
	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico
1c	194,027	149,252	38,805	29,850
1d	58,146	44,728	11,629	8,946
1e	60,172	46,286	12,034	9,257
1f	92,472	71,133	18,494	14,227
Total	404,818	311,398	80,964	62,280

A su vez, el no cumplir con la NOM-020-ENER en 133 mil viviendas anuales durante veinte años resultará en una emisión de gases de efecto invernadero de más de 25 y hasta 33 millones de toneladas de CO_{2eq} en esos veinte años.

III. CONCLUSIONES

- En este estudio se presentan estimaciones de costos y beneficios derivados del cumplimiento de la NOM-020-ENER para los dueños de las viviendas y para el erario público, y de los impactos por emisiones evitadas de gases de efecto invernadero.
- El análisis utiliza el método de cálculo definido en la NOM-020-ENER para tres tamaños de edificio de vivienda de un solo piso: 39, 49 y 100 m².
- Para el análisis se consideraron cinco tipologías de envolvente, que parten de un edificio de concreto sin medidas hasta el que integra el equivalente a aislamiento de 2" de poliestireno expandido (EPS) en techo, el equivalente a aislamiento de 1" de poliestireno expandido en muros, ventanas con vidrios con Factor de Sombreado (FS) de 0.6, y Factor de Corrección de Sombreado Exterior (Se) para las cuatro orientaciones de 0.9.
- Las viviendas proyectadas (sin ninguna medida) tienen ganancias térmicas que triplican lo permitido por la NOM-020-ENER.
- Cumplir con la NOM-020-ENER implica la aplicación de cuando menos las tres primeras medidas consideradas.
- Cumplir con la NOM-020-ENER considerando a la losa de concreto como línea base, implica la aplicación de cuando menos las tres primeras medidas consideradas, lo que representa costos adicionales que van de poco más de 13 mil a cerca de 27 mil pesos para viviendas de 39 a 100 m². Este costo se reduce en más de 33% si se considera al sistema de vigueta y bovedilla en el techo como línea base (Tabla 12).

Tabla 12. Costos y beneficios del cumplimiento de la NOM-020

Tamaño de vivienda	Costo adicional (Pesos)		Ahorro anual (Miles de pesos)			
	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Usuario		Hacienda pública	
			Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto	Vigueta y bovedilla de aislamiento térmico	Losa de concreto
39m ²	8,850	13,117	756 a 1,512	983 a 1,966	1,512 a 3,024	1,966 a 3,931
49m ²	9,912	15,447	756 a 1,512	983 a 1,966	1,512 a 3,024	1,966 a 3,931
100 m ²	14,160	25,660	1,512 a 3,024	1,966 a 3,931	3,024 a 6,048	3,931 a 7,862

- Desde una perspectiva social, que incluye los beneficios económicos para el comprador de la vivienda y el erario público, el costo adicional se paga en cerca de tres años.
- Si solo se toma en cuenta la del usuario, este período es de cerca de 9 años.
- En el supuesto de que el costo adicional fuera cubierto al 100% por la hacienda pública, la inversión se recuperaría en un período de 3 a 5 años.

- Se estima que se construyen 132 mil viviendas nuevas en regiones donde aplica la NOM-020-ENER (tarifas 1-C a 1-F) al año.
- En caso de no cumplirse con la NOM-020-ENER, se tendrá una insuficiencia tarifaria adicional de 311 a 405 millones pesos por año a lo largo de la vida útil de las viviendas construidas en un año, y esto implica que cada año se sume una cantidad similar a las que se van acumulado.
- Asimismo, esas 132 mil viviendas emitirán entre 63 y 81 mil toneladas de emisiones CO_{2eq} adicionales por año, por no cumplir con la NOM-020-ENER.
- A su vez, no cumplir con la NOM-020-ENER en 133 mil viviendas anuales durante veinte años resultará en una emisión de gases de efecto invernadero de más de 25 y hasta 33 millones de toneladas de CO_{2eq} en esos veinte años.

ANEXO I. K de referencia (W/m²K) de acuerdo con la Tabla 1. Valores para el Cálculo del Flujo de Calor a través de la Envolvente²⁶

Tabla 13. K de referencia (W/m²K)

ESTADO	Ciudad	Hasta tres niveles y Conjunto horizontal con muros compartidos Techo y muro
AGUASCALIENTES	Aguascalientes	0.833
BAJA CALIF. SUR	La Paz	0.714
BAJA CALIF. SUR	Cabo S. Lucas	0.714
BAJA CALIFORNIA	Ensenada	0.909
BAJA CALIFORNIA	Mexicali	0.625
BAJA CALIFORNIA	Tijuana	0.909
CAMPECHE	Campeche	0.714
CAMPECHE	Cd. Carmen.	0.714
COAHUILA	Monclova	0.714
COAHUILA	Piedras Negras	0.714
COAHUILA	Saltillo	0.909
COAHUILA	Torreón	0.714
COLIMA	Colima	0.833
COLIMA	Manzanillo	0.833
CHIAPAS	Arriaga	0.714
CHIAPAS	Comitán	0.909
CHIAPAS	San Cristóbal	0.909
CHIAPAS	Tapachula	0.833
CHIAPAS	Tuxtla Gutiérrez	0.833
CHIHUAHUA	Casas Grandes	0.833
CHIHUAHUA	Chihuahua	0.833
CHIHUAHUA	Cd. Juárez	0.833
CHIHUAHUA	H. del Parral	0.833
D. F.	México (a)	0.909
DURANGO	Durango	0.833
DURANGO	Lerdo	0.714
GUANAJUATO	Guanajuato	0.909
GUANAJUATO	León (b)	0.909

²⁶ RESOLUCIÓN por la que se modifican los valores de coeficiente global de transferencia de calor (K) de la Tabla 1, se agregan definiciones y se acota la verificación de la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011, Eficiencia energética en edificaciones.-Envolvente de edificios para uso habitacional, publicada el 9 de agosto de 2011, http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5455514&fecha=04/10/2016

GUERRERO	Acapulco	0.833
GUERRERO	Chilpancingo	0.909
GUERRERO	Zihuatanejo	0.833
HIDALGO	Pachuca	0.909
HIDALGO	Tulancingo	0.909
JALISCO	Guadalajara (c)	0.909
JALISCO	Huejúcar	0.909
JALISCO	Lagos de Mor.	0.909
JALISCO	Ocotlán	0.909
JALISCO	Puerto Vallarta	0.833
MÉXICO	Chapingo, Texc.	0.909
MÉXICO	Toluca	0.909
MICHOACÁN	Morelia	0.909
MICHOACÁN	Lázaro Carden.	0.833
MICHOACÁN	Uruapan	0.909
MORELOS	Cuernavaca	0.909
MORELOS	Cuatla	0.833
NAYARIT	Tepic	0.833
NUEVO LEÓN	Monterrey (d)	0.714
OAXACA	Oaxaca	0.909
OAXACA	Salina Cruz	0.714
PUEBLA	Puebla	0.909
PUEBLA	Atlixco	0.909
PUEBLA	Tehuacán	0.909
QUERÉTARO	Querétaro	0.909
QUERÉTARO	San Juan del Río.	0.909
QUINTANA ROO	Cozumel	0.833
QUINTANA ROO	Chetumal	0.833
QUINTANA ROO	Cancún	0.714
QUINTANA ROO	Playa Carmen	0.833
SAN LUIS POTOSÍ	Río Verde	0.833
SAN LUIS POTOSÍ	San Luis Potosí	0.909
SAN LUIS POTOSÍ	Cd. Valles	0.714
SAN LUIS POTOSÍ	Matehuala	0.833
SINALOA	Culiacán	0.625
SINALOA	Mazatlán	0.714
SINALOA	Guasave	0.625
SINALOA	Los Mochis	0.625
SONORA	Guaymas	0.714
SONORA	Hermosillo	0.625
SONORA	Obregón	0.625

SONORA	Navojoa	0.714
SONORA	Nogales	0.833
TABASCO	Villahermosa	0.714
TABASCO	Comalcalco	0.714
TAMAULIPAS	Cd. Victoria	0.714
TAMAULIPAS	Tampico	0.714
TAMAULIPAS	Matamoros	0.714
TAMAULIPAS	Reynosa	0.714
TAMAULIPAS	Nuevo Laredo	0.714
TLAXCALA	Tlaxcala	0.909
VERACRUZ	Coatzacoalcos	0.714
VERACRUZ	Córdoba	0.909
VERACRUZ	Jalapa	0.909
VERACRUZ	Orizaba	0.909
VERACRUZ	Tuxpan	0.833
VERACRUZ	Poza Rica	0.714
VERACRUZ	Veracruz	0.714
YUCATÁN	Mérida	0.833
YUCATÁN	Progreso	0.833
YUCATÁN	Valladolid	0.833
ZACATECAS	Fresnillo	0.909
ZACATECAS	Zacatecas	0.909

ANEXO II. Tablas de índice de cumplimiento de la NOM-020-ENER por localidad para viviendas de 39, 49 y 100 m².

Tabla 14. Índice de cumplimiento con la NOM-020-ENER, según elementos de envolvente, por localidad, para viviendas de 39 m²

Localidad	Sin medidas	Aislante techo	Aislante techo + muros	Aislante todo+ CS=.65	Aislamiento techo + muros + CS=.65 + EP=.90
La Paz	3.10	2.03	1.53	1.19	1.13
Mexicali	3.45	2.29	1.58	1.29	1.24
Campeche	3.14	2.04	1.51	1.19	1.13
Torreón	3.06	1.99	1.55	1.18	1.12
Colima	2.85	1.82	1.45	1.10	1.03
Tuxtla Gutiérrez	2.86	1.83	1.44	1.10	1.03
Cd. Juárez	2.80	1.81	1.48	1.10	1.03
Acapulco	2.92	1.89	1.40	1.10	1.05
Puerto Vallarta	2.92	1.90	1.40	1.10	1.05
Lázaro Cárdenas	2.93	1.90	1.40	1.10	1.05
Cuatla	2.83	1.80	1.46	1.09	1.02
Monterrey	3.10	2.00	1.53	1.18	1.12
Salina Cruz	3.17	2.06	1.50	1.19	1.13
Cancún	3.17	2.05	1.50	1.18	1.12
Culiacán	3.33	2.19	1.61	1.27	1.20
Hermosillo	3.39	2.24	1.59	1.28	1.22
Villahermosa	3.18	2.07	1.50	1.19	1.14
Matamoros	3.13	2.03	1.52	1.19	1.12
Coatzacoalcos	3.13	2.03	1.52	1.19	1.12
Promedio	3.08	2.00	1.50	1.17	1.11

Tabla 15. Índice de cumplimiento con la NOM-020-ENER, según elementos de envolvente, por localidad, para viviendas de 49 m²

Localidad	Sin medidas	Aislante techo	Aislante techo + muros	Aislante todo+ CS=.65	Aislamiento techo + muros + CS=.65 + EP=.90
La Paz	3.15	1.99	1.51	1.18	1.12
Mexicali	3.51	2.25	1.56	1.28	1.23
Campeche	3.19	2.00	1.49	1.18	1.12
Torreón	3.12	1.96	1.52	1.17	1.11
Colima	2.89	1.78	1.42	1.08	1.02
Tuxtla Gutiérrez	2.90	1.79	1.42	1.08	1.02
Cd. Juárez	2.85	1.77	1.45	1.09	1.02
Acapulco	2.96	1.85	1.37	1.09	1.03
Puerto Vallarta	2.96	1.86	1.37	1.09	1.03
Lázaro Cárdenas	2.97	1.86	1.37	1.09	1.04
Cuatla	2.87	1.76	1.44	1.08	1.01
Monterrey	3.16	1.96	1.50	1.17	1.11
Salina Cruz	3.22	2.02	1.48	1.18	1.12
Cancún	3.22	2.01	1.48	1.17	1.11
Culiacán	3.39	2.15	1.59	1.26	1.20
Hermosillo	3.45	2.20	1.57	1.27	1.21
Villahermosa	3.24	2.03	1.47	1.18	1.13
Matamoros	3.19	1.99	1.49	1.17	1.11
Coatzacoalcos	3.19	1.99	1.49	1.17	1.11
Promedio	3.13	1.96	1.47	1.16	1.10

Tabla 16. Índice de cumplimiento con la NOM-020-ENER, según elementos de envolvente, por localidad, para viviendas de 100 m²

Localidad	Sin medidas	Aislante techo	Aislante techo + muros	Aislante todo+ CS=.65	Aislamiento techo + muros + CS=.65 + EP=.90
La Paz	3.33	1.59	1.16	0.87	0.81
Mexicali	3.71	1.81	1.20	0.95	0.90
Campeche	3.37	1.59	1.14	0.86	0.81
Torreón	3.30	1.56	1.17	0.86	0.80
Colima	3.04	1.39	1.08	0.78	0.72
Tuxtla Gutiérrez	3.04	1.40	1.07	0.78	0.72
Cd. Juárez	2.99	1.39	1.11	0.79	0.73
Acapulco	3.10	1.46	1.04	0.79	0.74
Puerto Vallarta	3.10	1.46	1.04	0.79	0.74
Lázaro Cárdenas	3.10	1.46	1.03	0.79	0.74
Cuautla	3.02	1.37	1.09	0.78	0.72
Monterrey	3.34	1.55	1.15	0.85	0.80
Salina Cruz	3.40	1.60	1.12	0.86	0.81
Cancún	3.40	1.59	1.12	0.85	0.80
Culiacán	3.61	1.73	1.23	0.93	0.88
Hermosillo	3.66	1.77	1.21	0.94	0.89
Villahermosa	3.41	1.61	1.12	0.86	0.81
Matamoros	3.37	1.57	1.14	0.85	0.80
Coatzacoalcos	3.37	1.57	1.14	0.85	0.80
Promedio	3.30	1.55	1.12	0.84	0.79