



## Implicaciones en las consideraciones metodológicas de la NOM-020-ENER

**Ignacio R. Martín-Domínguez, Claudia Karelly Romero-Pérez, Mario Nájera-Trejo**

Departamento de Ingeniería Sustentable, Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Calle CIMAV 110, Ejido Arroyo Seco, Durango, Durango, 34147, México, 52 (614) 4394898

**Norma A. Rodríguez-Muñoz**

Cátedras CONACYT en Centro de Investigación en Materiales Avanzados, Insurgentes Sur 1582, Ciudad de México, 03940, México, +52 (614) 4394898, [norma.rodriguez@cimav.edu.mx](mailto:norma.rodriguez@cimav.edu.mx)

### RESUMEN

La vivienda en México ha sido tema de interés debido a factores como el impacto social, consumo de energía, interés económico del sector construcción, así como impactos medioambientales. A pesar de esfuerzos gubernamentales y privados, históricamente se ha disminuido la calidad de materiales empeorando las condiciones de habitabilidad. Por su parte, la vivienda de interés social en México tiene una gran carencia de confort térmico, por lo que es necesario recurrir a sistemas de climatización, lo que trae como consecuencia alta demanda energética por metro cuadrado. Con esta preocupación en mente, en el año de 2011 se publicó una Norma Oficial Mexicana, la NOM-020-ENER-2011, la cual tiene como objetivo limitar las ganancias de calor de los edificios habitacionales para disminuir el consumo de energía debido al uso de sistemas de enfriamiento. Esta norma se pretendió aplicar en la totalidad del territorio mexicano, considerándose prioritario el ahorro por uso de sistemas de refrigeración, dejando de lado a aquellas regiones donde se tienen inviernos moderados. En este documento se presentan los argumentos técnicos que demuestran deficiencias en las suposiciones de cálculo y por consiguiente posibles errores en su aplicación. Se analizan las ecuaciones y parámetros utilizados para los cálculos, proponiéndose alternativas y modificaciones en la metodología existente.

### ABSTRACT

Housing in México has been a topic of interest due to factors such as social impact, energy consumption, economic interest of the construction sector, as well as the well-known environmental impacts. In spite of governmental and private efforts, the quality of materials has historically been reduced, thus worsening house's habitability conditions. For its part, the low-income housing (named "of social interest" in Mexico) has a great lack of thermal comfort, reason why it is necessary very often to include air conditioning systems, which produces a high energy demand by square meter. For this reason, in 2011 a Mexican Official Standard, NOM-020-ENER-2011 was published. This normativity aims to limit the heat gains of residential buildings to reduce energy consumption due to the use of cooling systems. This standard was intended to be applied throughout the Mexican territory, with savings on the use of refrigeration systems as a priority, leaving aside those regions where there are moderate winters. This paper presents the technical arguments that demonstrate deficiencies in the calculation assumptions and therefore possible errors in their application. The equations and parameters used for the calculations are being analyzed, proposing alternatives and modifications to the existing methodology.

Palabras claves: NOM-020; normatividad; eficiencia energética; metodología

### INTRODUCCIÓN

El crecimiento económico, junto con los cambios estructurales que lo acompañan, influyen en el consumo mundial de energía. A medida que los países se desarrollan y los niveles de vida mejoran, la demanda de energía crece rápidamente. En las naciones que experimentan un rápido crecimiento económico, existe una mayor proporción de población que demanda una vivienda mejorada, que a su vez requiere más energía tanto para su construcción como para su mantenimiento y operación. Además, el aumento en el uso de electrodomésticos y la creciente capacidad de producción de bienes y servicios tanto para el mercado interno como externo, conducen a un mayor consumo de energía. Según la Administración de Información Energética de Estados Unidos (EIA) en su perspectiva internacional de energía 2016, gran parte del incremento en la demanda mundial de energía ocurre en los países en desarrollo, donde el crecimiento económico y la expansión de las poblaciones son los factores que lideran el aumento del consumo de energía. La perspectiva en el incremento del consumo energético de estos países es del 71% del 2012 al 2040. En cambio, en los países con madurez energética y un crecimiento económico estable, el incremento en el uso de la energía se prevé que sea de únicamente un 18% del 2012 al 2040 (U.S. Energy Information Administration, 2016).

Según el balance nacional de energía (SENER, 2015), en el año 2014 los países con mayor consumo energético fueron China (21.2%) y Estados Unidos (16.3%). Por su parte, India, Rusia y Japón representaron el 5.9%, 4.8% y 3.1%, respectivamente. Estos cinco países en conjunto consumieron el 51.4% de la energía a nivel global y produjeron el 47.3% del PIB mundial durante 2014. Por su parte, México ocupó el décimo quinto lugar en el consumo de energía, lo cual representó 1.3% del total en 2014. El principal sector de consumo a nivel mundial fue el industrial con 2,751.17 MMtep, con un 29.2% del total, seguido por los sectores transporte con 2,627.02 MMtep, representando el 27.9% y residencial con 2,142.13 MMtep constituyendo el 22.7%.

Se prevé que el promedio mundial de consumo de energía en edificaciones aumentará en 1.5% anual del 2012 al 2040. Por otra parte en los países en desarrollo, el consumo total de energía en edificaciones aumentará en un promedio de 2.1% anual del 2012 al 2040, que representa casi tres veces la tasa de aumento de los países más desarrollados.



### Vivienda

De acuerdo al censo del 2011 de INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía), en México hay 112 millones de habitantes en 28 millones de hogares, con un promedio de 3.9 personas por vivienda. Se espera que en el 2050 habrá 122 millones de habitantes (INEGI, 2010). Debido al crecimiento pronosticado se esperan retos en tres sectores clave: agua, energía y vivienda. De acuerdo al balance nacional de energía del 2011, la vivienda en México es responsable del 16.2% del consumo de energía total, lo cual representa un 4.9% de las emisiones de efecto invernadero a nivel nacional (SENER, 2011). El uso de energía en una vivienda, comprende principalmente la operación de sistemas de acondicionamiento de aire, siendo hasta un 44% del total; mientras que el consumo por iluminación y electrodomésticos puede alcanzar un 33% (CONUEE, 2009). Por lo que el uso de sistemas de acondicionamiento de aire, ya sea de calefacción o refrigeración en vivienda son los responsables de grandes cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En Europa, más del 80% de la población vive en ciudades, mientras que en Latinoamérica la cifra es del 70%. En México durante las décadas de los 40's y 50's con la aparición de las instituciones gubernamentales de vivienda, se implementaron estrategias para mejorar la situación de desabasto de vivienda y satisfacer la creciente demanda mediante mecanismos de financiamiento y producción de vivienda nueva. Estas primeras acciones incorporaron un esquema donde se incluían áreas educativas, recreativas y comercio a los complejos de vivienda. En los últimos años, varios problemas relativos a la vivienda se han incrementado, expandiéndose la mancha urbana debido a una ineficiente planeación. Actualmente los programas de construcción se modifican constantemente, tanto para satisfacer la creciente demanda de vivienda, como para incorporar elementos sustentables a la misma. Sin embargo, hay muchos lugares en México, donde la vivienda se diseña y se construye con poca atención al clima de la localidad. Por lo que se generan viviendas que utilizarán de forma extensiva los sistemas de refrigeración y calefacción para mantener los niveles de confort durante numerosas horas del año.

### Instituciones y normatividad

El INFONAVIT (Instituto del Fondo Nacional de la Vivienda para los Trabajadores) otorga más del 70% de los créditos hipotecarios a nivel nacional. Este instituto fue creado para otorgar créditos y cuenta con un número aproximado de 17 millones de trabajadores activos (INFONAVIT, 2016), lo cual nos hace pensar además en la cantidad de energía que será requerida para conservar las condiciones de confort en millones de viviendas. Además, el instituto tiene el reto de proveer suficiente vivienda para sus derechohabientes, manteniendo costos asequibles y que a su vez mantenga la calidad de la vivienda. Existe también un programa mediante el cual, familias con ingresos menores a cuatro salarios mínimos (aproximadamente 440 dólares al mes), puede aplicar a un subsidio federal para obtener una vivienda. Si la familia requiere de este subsidio federal y está aplicando a un crédito de Infonavit, el instituto ha implementado programas para promover la construcción de viviendas sustentables. Dos programas relevantes incluyen a la Hipoteca Verde y un sistema de evaluación de la vivienda conocido como el Sisevive-Ecocasa.

Dentro del proyecto SENER-118665 (SENER, 2009), un consorcio de investigadores fueron llamados a estudiar sistemas pasivos aplicables a vivienda edificada en diferentes zonas climáticas de México. Estos estudios muestran que este tipo de sistemas son poco o rara vez utilizados en la práctica. En estos estudios se describe también reglamentaciones aplicables que tienden a subestimar el confort térmico: (Marincic et al., 2011), (Castillo et al., 2011), (Huelsz et al., 2011), (Elias-López et al., 2011), (Barrios et al., 2012) y (Barrios et al., 2011). Estudios realizados por Lucero-Álvarez y colaboradores, muestran que el consumo de electricidad en 20 ciudades de México, calculando los requerimientos de refrigeración y calentamiento en cada una de ellas (Lucero-Álvarez and Martín-Domínguez, 2016). En el análisis, la relevancia de tomar en cuenta la zona climática donde se encuentra la ciudad afecta directamente el consumo anual de energía.

Sisevive-Ecocasa permite a diseñadores y desarrolladores de vivienda valorar su vivienda desde el punto de vista ambiental y energético. Esta evaluación toma en consideración el diseño arquitectónico, materiales de construcción y tecnologías de ahorro de agua y energía. La base de este programa de evaluación es obtener confort térmico para sus ocupantes y el uso racional del agua. En el 2011, se publicó una reglamentación para eficiencia energética en edificaciones habitacionales, la NOM-020 ENER-2011 (Diario Oficial de la Federación, 2011). Esta norma mexicana tiene el propósito de restringir las ganancias de calor a través de la envolvente de una vivienda, con el objetivo de reducir el consumo de energía debido al uso de aire acondicionado.

La NOM-020-ENER-2011 ha sido discutida en numerosos estudios por académicos, profesionistas involucrados en el medio y por representantes de CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) y se ha encontrado que está limitada a medidas generalizadas para la reducción de cargas por refrigeración en climas cálidos. Una parte de su metodología de cálculo, implica una temperatura equivalente o temperatura sol-aire, la cual es únicamente válida para una reflectividad solar de 0.71 o mayor (Martín-Domínguez, 2012). Al no incorporar cálculos precisos de transferencia de calor en la envolvente, resulta en errores de aplicación para distintas climatologías, afectando así su implementación en gran parte del país.

Aunque la NOM-020 se encuentra activa, por lo general es ignorada ya que los reglamentos municipales son los que regulan la construcción, situación por la cual promueve el desconocimiento de su aplicación. Por lo anterior, en el 2013 fue sacada de las reglas de operación de los subsidios federales de vivienda siendo así removida de los requerimientos del programa de Hipoteca Verde (de Buen R., 2015). Así el éxito o fracaso de este tipo de proyectos, ya solo depende del acompañamiento y monitoreo en el uso de eco-tecnologías. Sin embargo, la mayoría de las iniciativas gubernamentales concluyen cuando se entregan los dispositivos al usuario final, por lo que generalmente no existen reportes en donde se demuestren los impactos de ahorro de agua y energía (REMBIO, 2011).

### **ANÁLISIS DE LA NOM-020-ENER-2011**

El objetivo principal de la vivienda, es proteger a sus ocupantes de los peligros exteriores y de las inclemencias del clima. Para mantener condiciones de confort en su interior, en muchas ocasiones es necesario emplear aparatos de climatización (calefacción y refrigeración). Para reducir el uso de energía de estos aparatos es necesario minimizar la transferencia de calor a través de la envolvente de la vivienda. El campo de aplicación de la NOM-020 es principalmente vivienda nueva y ampliaciones de edificios de uso habitacional existentes. Para



lograr lo anterior, la norma determina la eficiencia energética del edificio proyectado calculando la ganancia de calor a través de su envolvente y comparándola contra la ganancia de calor de un edificio de referencia. El flujo de calor del edificio proyectado deberá ser menor o igual al flujo de calor que tendría el edificio de referencia para cumplir con la norma.

#### **Cálculo de temperatura equivalente en NOM-020**

Para incluir en el balance energético a la ganancia de calor por la radiación solar que incide sobre el exterior de la envolvente del edificio, se recurre al método de asumir que dicha radiación incrementa la temperatura superficial de la envolvente, y el cálculo de la ganancia se hace utilizando la ecuación de transferencia de calor por conducción (ASHRAE, 1993):

$$\frac{q}{A} = h_o(t_e - t_s) \quad (1)$$

La temperatura incrementada se denomina temperatura equivalente. La NOM-020, sin embargo, no explica cómo se llevó a cabo la determinación de las temperaturas equivalentes presentadas en la Tabla 1 de la norma. Sin embargo se conoce que dicha norma se desarrolló siguiendo la metodología de Huang, misma que utiliza la NOM-008-ENER-2001 (Huang et al., 1998). Esto debido a que en México no existía disponibilidad de datos históricos de irradiación solar para todas las ciudades del país, se calculó la carga de enfriamiento total para los meses de abril a octubre utilizando el software DOE-2. Y se tomó información de diseño bioclimático de cuatro ciudades del país: Ciudad de México, Monterrey, Mexicali y Mérida. Con los valores de flujo de calor total de las ciudades mencionadas se calcularon las temperaturas equivalentes para cada componente dividiendo el flujo de calor entre el área, conductividad térmica y horas normales de operación del sistema de enfriamiento. Este cálculo fue realizado mediante la ecuación 1 (Huang et al., 1998)

$$T_{eq} = T_{in} + \frac{Q_c}{U \cdot A \cdot t} \quad (2)$$

En la ecuación anterior,  $T_{eq}$ , se refiere a la temperatura equivalente ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $T_{in}$  a la temperatura de enfriamiento del sistema de refrigeración; en este caso es de  $25^{\circ}\text{C}$ . Mientras que  $Q_c$  es la carga de enfriamiento total calculada por DOE-2 ( $\text{W} \cdot \text{h}$ ),  $U$  se refiere a la conductividad del componente ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$ ),  $A$  es el área superficial del componente ( $\text{m}^2$ ) y  $t$  el tiempo del sistema de enfriamiento (h).

Una vez obtenidas las temperaturas equivalentes para estas cuatro ciudades, se compararon contra las temperaturas medias y máximas mensuales de datos históricos climatológicos disponibles y se encontró la mejor correlación con la temperatura media mensual de bulbo seco. También se realizó una regresión para obtener los parámetros de la ecuación 1 para los diferentes elementos de la envolvente y se extrapolaron temperaturas equivalentes para 65 ciudades mostradas en la norma, usando las temperaturas históricas mensuales de bulbo seco obtenidas del servicio meteorológico nacional.

#### **Concordancia de $T_e$ teórica con $T_e$ utilizada en NOM-020**

Las temperaturas sol-aire ( $T_{sol}$ ) y las cargas de enfriamiento se pueden calcular considerando una absorptancia y emisividad de la superficie. Existen en el mercado una variedad de recubrimientos que poseen diversos valores de absorptividad solar ( $\alpha$ ), para los cuales se calcularán diferentes cargas de enfriamiento. Consecuentemente, las temperaturas equivalentes ( $t_e$ ) deberían ser diferentes. En la Tabla 1 de la NOM—020, se muestran los valores de  $t_e$ , las cuales son diferentes para cada ciudad, orientación (N, E, S y O) y elemento constructivo (techo, muro masivo, muro ligero y ventanas). Sin embargo, de acuerdo a la metodología de cálculo de  $t_e$ , en esta tabla se está asumiendo que sólo exista un valor de absorptividad solar.

En este trabajo se calcularon las temperaturas sol-aire promedio ( $T_{sol}$ ) o temperatura equivalente ( $t_e$ ) con la ecuación sugerida por ASHRAE, ecuación (3) (ASHRAE, 1993):

$$t_e = t_o + \frac{\alpha E_t}{h_o} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_o} \quad (3)$$

Se utilizaron valores de temperatura de bulbo seco promedio mensual ( $t_o$ ) e irradiación solar ( $E_t$ ), las cuales fueron obtenidas del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para cada capital de los estados (Figura 3). El coeficiente de transferencia de calor exterior ( $h_o$ ) tomó un valor de  $13 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ , como lo indica la misma norma. Para determinar el efecto del enfriamiento infrarrojo debido a la emisividad de las superficies, se tomó un valor de  $4^{\circ}\text{C}$  para el enfriamiento de superficies horizontales (ASHRAE, 1993). Después de tomar estas variables, la única variable faltante para realizar el cálculo de temperatura equivalente ( $T_e$ ) con la ecuación (3) es la absorptividad solar ( $\alpha$ ). Para estimar el valor de la absorptancia solar que resultaría de los datos de temperaturas equivalente de la NOM-020, se procedió a calcular los valores de  $T_e$  a diferentes valores de absorptancia. Posteriormente estos resultados se compararon con las temperaturas equivalentes especificadas en la norma.

En la Figura 1, se muestra la concordancia de las temperaturas equivalentes mostradas en la norma contra las calculadas en este trabajo, con una absorptividad de 0.9 y 0.6, respectivamente. Donde la línea roja representa al valor de temperatura calculado por la norma y los puntos negros corresponden a los valores de temperatura considerándose los dos valores de absorptividad (0.9 y 0.6). En los materiales constructivos, tradicionalmente los valores de la absorptividad solar pueden variar desde 0.14 hasta 0.95, ver Figura 2. De acuerdo a las figuras anteriormente mostradas, se encontró que la mejor relación entre temperaturas de la norma y temperaturas calculadas, se obtiene cuando la absorptividad solar es de  $\alpha=0.9$ . Este valor es el convenido por ASHRAE para superficies oscuras.

Con el ejercicio anterior se demuestra que la NOM-020-ENER-2011, considera para el cálculo de los flujos de calor de referencia, que la absorptancia solar de las superficies evaluadas es de  $\alpha=0.9$ , lo cual corresponde a tener superficies de colores muy oscuros, casi color negro ( $\alpha=0.95$ ).

## DISCUSION

Según los cálculos anteriores, se encontró que la NOM-020-ENER-2011, calcula el flujo de calor de referencia, considerando que tanto los techos como muros de la edificación son de un color oscuro ( $\alpha=0.9$ ). Esta consideración es útil para calcular una situación donde se tiene la peor condición posible, es decir, superficies de colores oscuros. Sin embargo, cuando la norma exige que se aplique esta



consideración al cálculo del flujo de calor de un edificio proyectado, se estarán utilizando estas temperaturas para el cálculo del flujo de calor. Esta exigencia equivaldría a considerar que el edificio proyectado estará pintado de colores muy oscuros. Obligando a los usuarios a agregar innecesariamente una cantidad excesiva de aislamiento térmico para proteger la edificación de los flujos de calor que se generarán en consecuencia. En la actualidad existen un gran número de recubrimientos, impermeabilizantes, pinturas, etc., que tienen valores de absorptividad solar menores al valor de 0.9 que impone la norma (Figura 2). En resumen, la norma exige aislamiento considerando que el edificio está pintado de color casi negro, y si el usuario decide utilizar recubrimientos reflectivos/emisivos, la norma no lo toma en cuenta.

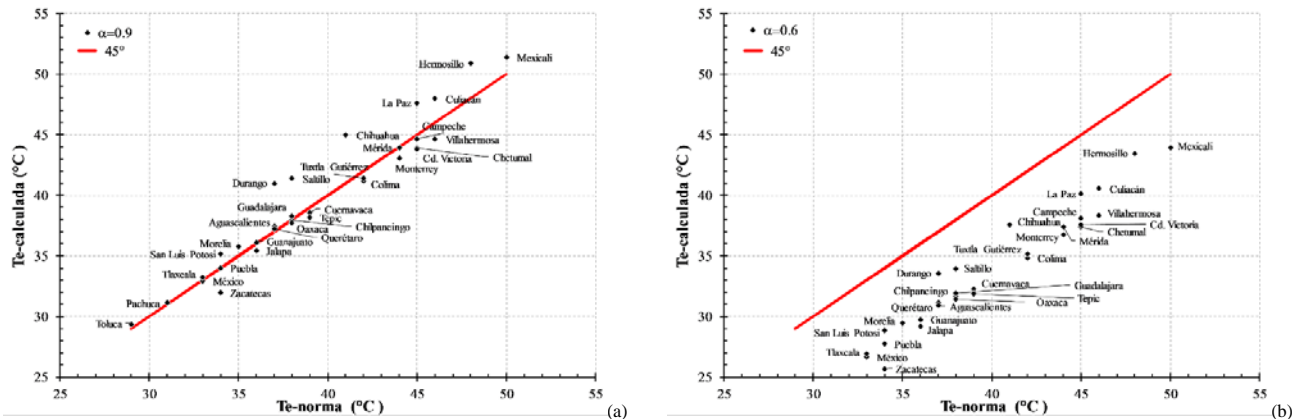


Figura 1. Concordancia de Te-norma vs Te-calculada, a)  $\alpha=0.9$  y b)  $\alpha=0.6$

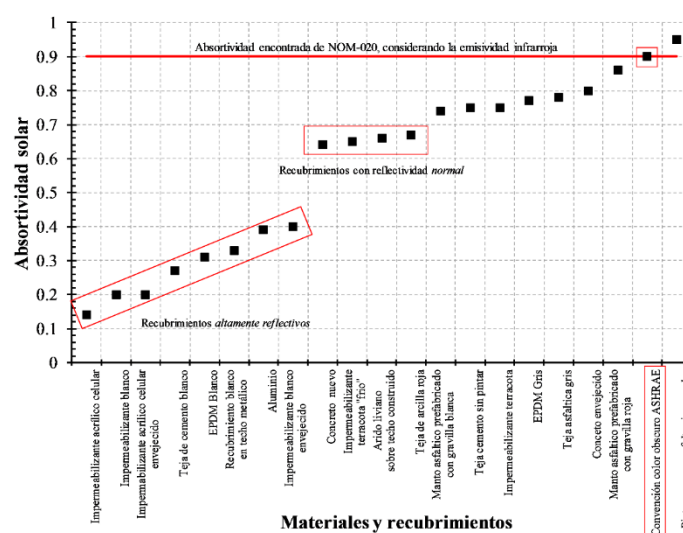


Figura 2. Absorptividad solar de diversos materiales y recubrimientos comerciales.

Se considera que la norma cumple con su cometido de prever la posibilidad de que una edificación tenga superficies con una alta absorptancia solar, por lo mismo establece un flujo de calor de referencia alto. Esto obligará al usuario a contar con un nivel de conductividad térmica en muros y techos adecuado para prevenir que dicho flujo de calor máximo se alcance. Sin embargo, basándose en los mismos principios técnicos y científicos bajo los cuales se desarrolló la norma, se conoce que el flujo de calor que pasa a través de una envolvente no sólo es función de la conductividad térmica, sino también de la absorptividad de las superficies. Por lo que una envolvente con una baja absorptividad solar en sus superficies exteriores requerirá menor valor de resistencia térmica en sus elementos constructivos para permitir el paso del mismo flujo de calor.

**RECOMENDACIONES**

**Selección de temperaturas ambientales promedio en México**

Una recomendación sugerida es considerar las temperaturas ambientales promedio en México, las cuales son publicadas en la página web del Servicio Meteorológico Nacional. Para los cálculos llevados en éste estudio, fueron utilizados los valores máximos anuales presentados para cada ciudad. Estos valores ocurren en diferentes meses para cada ciudad. En la Figura 3, se muestran los valores de las temperaturas ambientales anteriormente mencionadas y los valores de irradiación solar que especifica la norma para estas ciudades.



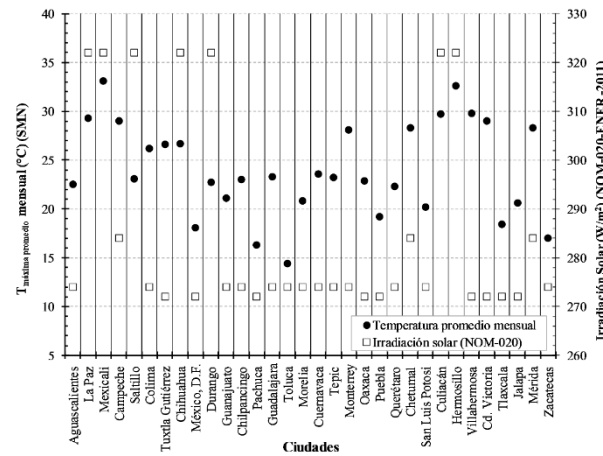


Figura 3. Temperatura promedio e irradiación solar en capitales de estados en México.

En la figura 3 se observa que no hay congruencia entre los valores de irradiación solar que considera la NOM-020 para cada ciudad y los valores de temperaturas promedio mensuales que reporta el Servicio Meteorológico Nacional. Se observa también que la norma considera que hay solo cuatro niveles (valores) de irradiación solar en toda la república Mexicana. La incongruencia entre temperaturas promedio y los valores (cuantificados) de irradiación sugieren que los resultados generados por la norma pueden ser cuestionables de igual forma.

#### **Reflectividad solar de materiales para recubrimiento de techos de viviendas**

Existen recubrimientos para techo con diversos valores de absorptividad solar, estos recubrimientos van desde  $\alpha=0.14$  para un impermeabilizante acrílico celular nuevo o hasta  $\alpha=0.9$  para un impermeabilizante asfáltico color negro. Tradicionalmente la literatura nombra como materiales para cool roofs, a los materiales que tienen una absorptividad menor a 0.45 y una emisividad de 0.8. Muchos de los recubrimientos considerados como reflectivos en México, cuentan con dicha medición, algunos certificados ante ONNCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación), mediante dictámenes de idoneidad técnica.

#### **Temperaturas equivalentes considerando la absorptividad solar superficial**

Utilizando los diferentes valores de absorptividad que poseen los recubrimientos, es posible calcular temperaturas equivalentes nuevas. Se pueden utilizar los valores de irradiación solar sugeridos en la NOM-020 así como las temperaturas reportadas por el SMN. En la Figura 4a se observa que las temperaturas equivalentes calculadas de esta forma son menores cuando el valor de absorptividad solar es menor. En algunos casos, las temperaturas equivalentes (exteriores) llegan a ser menores que las temperaturas interiores ( $T_{int}$ ) consideradas en la norma. También se observa que la alta reflectividad solar (baja absorptividad solar) de los recubrimientos acrílicos celulares envejecidos ( $\alpha=0.2$ ) y el efecto del enfriamiento pasivo producido por la emisividad, logran reducir la temperatura equivalente. La temperatura equivalente en este caso alcanzaría un valor igual al de la temperatura ambiental exterior de la vivienda. Esto significa que el efecto de la radiación solar no impacta sobre el flujo de calor, por lo que el flujo de calor se deberá únicamente al efecto convectivo provocado por la diferencia de temperaturas entre el aire exterior y el interior de la vivienda. Este efecto es importante debido a que en muchas ciudades del país, la temperatura ambiental exterior promedio es inferior que la temperatura interna de confort que indica la NOM-020. Esto tiene como consecuencia que la baja absorptividad solar del techo provoque flujos de calor negativos. Teniéndose pérdidas de calor, las cuales contribuirán a disminuir la carga de enfriamiento que sería necesaria si se calculara con la metodología propuesta por la NOM-020.

En la Figura 4b, se calcularon los gradientes de temperatura que provocan los flujos de calor y se observa que la baja absorptividad de los recubrimientos reduce los valores positivos del gradiente, y en algunos casos lo vuelven negativo. Un gradiente negativo, provocará un flujo de calor desde el interior hacia el exterior de la vivienda, aún bajo condiciones de asoleamiento, reduciéndose así el costo de operación de los equipos de climatización. Este efecto ha sido medido experimentalmente y se encuentra reportado en la literatura (Lucero-Álvarez et al., 2011). Los recubrimientos con baja absorptividad solar no sólo reducen las ganancias de calor en el verano, sino que en muchas ciudades provocan enfriamiento pasivo en las viviendas durante los periodos de asoleamiento. En una misma ciudad se observa que mientras que la norma indica que se tendrían flujos de calor positivos, que requieren aislamiento, la instalación de recubrimientos reflectivos/emisivos no solo pueden cancelar el calentamiento (y la necesidad de aislamiento), sino que inclusive pueden provocar enfriamiento pasivo.

### **CONCLUSIONES**

En este documento se presentaron y discutieron los argumentos técnicos que demuestran deficiencias entre las suposiciones de cálculo y posibles errores en su aplicación. Se analizaron las ecuaciones y parámetros utilizados para los cálculos, proponiéndose alternativas y modificaciones en la metodología existente.

El punto de partida para esta discusión es que los diseñadores de una edificación deberían de tener la posibilidad de seleccionar el método más práctico o económico para que la envolvente cumpla con los requerimientos de flujo de calor máximo establecidos por la norma. La elección del tipo de aislamiento térmico y tipo de recubrimiento a utilizarse en una edificación impactaran en el espesor necesario para tener un flujo de calor bajo un diferencial de temperaturas dado y por lo tanto la magnitud del flujo de calor que se generará.

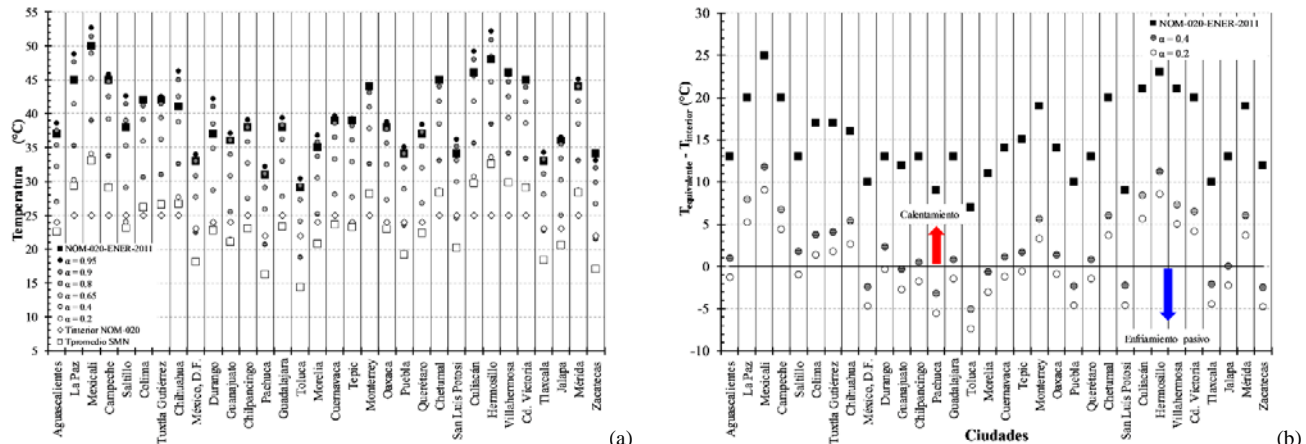


Figura 4. (a) Temperaturas equivalentes a diferentes absorptancias y temperaturas promedio (SMN), (b) Gradiente de temperatura en techos a diferentes absorptancias.

El efecto de la absorptividad solar se podría incorporar fácilmente en la metodología establecida por la norma. Para esto bastará adoptar la metodología establecida por ASHRAE para el cálculo de la temperatura equivalente. Adicionalmente la utilización de recubrimientos altamente reflectivos, además de reducir los costos de construcción de los techos, proporciona en muchos casos una reducción en los costos de operación de los equipos de acondicionamiento climático, debido a que permite el enfriamiento pasivo.

Dicho ahorro no está cuantificado en éste estudio, pero debe considerarse que es un ahorro en gastos de operación, que ocurrirá durante la vida útil de la vivienda, a diferencia de los costos de adquisición que solo se tienen inicialmente. Considerando que los equipos de acondicionamiento climático consumen energía eléctrica, al requerirse menos acondicionamiento climático no solo el usuario de la vivienda se ahorrará el costo de la energía eléctrica no consumida, sino que también se contribuye efectivamente a disminuir la emisión de gases de invernadero, que ambos son temas de interés nacional

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece el apoyo económico recibido por parte del: Centro Mexicano de Innovación en Energía Solar (CeMIE-Sol), A través del Proyecto: P13 “Laboratorios de pruebas para baja y media temperatura, laboratorio para el diseño e integración de sistemas termo solares asistido por computadora” Perteneciente a la Convocatoria 2013-02, del: FONDO SECTORIAL CONACYT - SENER - SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA, para el desarrollo y presentación de éste trabajo.

## REFERENCIAS

- U.S. Energy Information Administration. International Energy Outlook 2016. vol. 0484(2016). 2016. doi:www.eia.gov/forecasts/ieo/pdf/0484(2016).pdf.
- SENER, Secretaría de Energía. Balance nacional de energía. México: 2015.
- INEGI. Censo de Población y Vivienda. Mexico City: 2010.
- SENER, Secretaría de Energía. Balance Nacional de Energía. Mexico City: 2011.
- CONUEE. Aparatos y espacios que consumen más energía. Mexico City: 2009.
- INFONAVIT. Plan financiero. Mexico City: 2016.
- SENER, Secretaría de Energía. Desarrollo y validación de una metodología para estimar los impactos en el ahorro de energía por el uso de sistemas pasivo-constructivos en la edificación para diferentes climas de México 2009.
- Marincic I, Ochoa JM, Barrera I. La construcción actual de viviendas en Hermosillo y su adecuación al clima por medios pasivos. Memorias del XXXV Congr. Nac. Energía Sol. ANES, 2011, p. 189–93.
- Castillo JA, Lira-Oliver A, Muñoz JJ, Ramírez CÁ, Juárez SN, Rojas J, et al. Uso de sistemas pasivos de climatización en la zona de Temixco Morelos con clima cálido semi-húmedo. Memorias del XXXV Congr. Nac. Energía Solar. ANES, 2011, p. 183–8.
- Huelsz G, Ochoa JM, López PE, Gómez A, Figueroa A. Uso de sistemas pasivos de climatización en cinco zonas de la república mexicana. Memorias Del XXXV Congr Nac Energía Solar ANES 2011:177–82.
- Elias-López P, Roux R, Espuma A, García V. Caracterización y uso de sistemas pasivos de climatización en viviendas de la zona metropolitana de Tampico-Madero-Altamira, Tamaulipas. Memorias Del XXXV Congr Nac Energía Solar ANES 2011:166–70.
- Barrios G, Huelz G, Rojas J, Ochoa JM, Marincic I. Parámetros para medir el desempeño térmico de muros/techos de la envolvente de una edificación que no usa aire acondicionado. Memorias 36 Sem. Nac. Energía Solar. ANES, 2012, p. 231–5.
- Barrios G, Huelz G, Rojas J. Evaluación de sistemas constructivos de la envolvente en edificaciones con de aire acondicionado intermitente. Memorias del XXXV Congr. Nac. Energía Solar. ANES, 2011, p. 47–50.
- Lucero-Álvarez J, Martín-Domínguez IR. Effects of solar reflectance and infrared emissivity of rooftops on the thermal comfort of single-family homes in Mexico. Build Simul 2016. doi:10.1007/s12273-016-0331-2.
- Diario Oficial de la Federación. NOM-020-ENER-2011: Eficiencia energética en edificaciones. Envolvente de edificios para uso habitacional. Mexico: 2011.
- Martín-Domínguez IR. Cool Roofs In México 2012.
- De Buen R. O. Palabras para el arranque del 9 ° Foro Permanente de Eficiencia Energética en la Edificación : “Cumplimiento con la NOM -020- ENER-



**SEMANA NACIONAL  
DE ENERGÍA SOLAR 2017**  
Integrando realidades

del 2 al 6 de octubre  
Guadalajara, Jalisco.  
MÉXICO

2011 utilizando diferentes tecnologías en la envolvente sin inversión adicional." CONUEE 2015. <http://docplayer.es/37294175-Mexico-es-un-pais-con-un-territorio-donde-predomina-el-clima-calido-lo-que-determina-que-45-de-los-usuarios-de-la-cfe-tenga-tarifas.html>.  
REMBIO. LA BIOENERGÍA EN MÉXICO Situación actual y perspectiva de Bioenergía. Cuad Temático Sobre La Bioenergía 2011;4:44.  
ASHRAE. Fundamentals Handbook. Atlanta, GA: 1993.  
Huang J, Warner JL, Wiel S, Rivas A, de Buen R. O. A commercial building energy standard for Mexico. Berkeley, California: 1998.