



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE Y DOCTORADO EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍAS

INTEGRACIÓN DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REGLAMENTOS DE
CONSTRUCCIÓN DE ESTADOS Y MUNICIPIOS

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRA EN ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍAS

PRESENTA:
ANA PAOLA DE LA GARZA VARGAS

MIEMBROS DEL COMITÉ TUTOR:

DRA. AZUCENA ESCOBEDO IZQUIERDO
FACULTAD DE INGENIERÍA. UNAM
DR. DIEGO MORALES RAMÍREZ
FACULTAD DE ARQUITECTURA, UNAM
DR. DAVID MORILLÓN GÁLVEZ
INSTITUTO DE INGENIERÍA, UNAM

CIUDAD UNIVERSITARIA, CD. MX., MAYO DE 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN
ARQUITECTURA
CAMPO DE CONOCIMIENTO: TECNOLOGÍAS

**INTEGRACIÓN DE NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE
EFICIENCIA ENERGÉTICA EN REGLAMENTOS DE
CONSTRUCCIÓN DE ESTADOS Y MUNICIPIOS.**

TESIS

Que para optar por el grado de:
MAESTRA EN ARQUITECTURA
Campo de conocimiento: Tecnologías

Presenta:

ANA PAOLA DE LA GARZA VARGAS

COMITÉ TUTOR:

Dra. Azucena Escobedo Izquierdo VoBo. 90% avance

Dr. José Diego Morales Ramírez VoBo. 90% avance

Dr. David Morillón Gálvez VoBo. 90% avance

MÉXICO, CDMX MAYO MMXXII



ÍNDICE

Introducción	5
Hipótesis.	6
Objetivo General.	6
Objetivos Particulares.....	6
I. Antecedentes	8
1.1 Aporte de la investigación	9
1.2 Orígenes de la inclusión de eficiencia energética en reglamentos de construcción. 10	
1.3 Estatus Internacional.....	12
1.4 Implementación de normas de eficiencia energética en los reglamentos de construcción a nivel mundial.....	14
Alemania.....	14
Australia.....	16
Brasil	20
China.....	20
Corea del Sur.....	23
Estados Unidos	26
Sudáfrica	29
1.5 Estatus nacional.....	30
1.6 Relevancia del tema.....	34
1.7 Beneficios de la adopción de normas de eficiencia energética en reglamentos de construcción.	37
Beneficios Macroeconómicos	38
Beneficios al presupuesto público.....	39
Beneficios de Salud y Bienestar.....	40
Beneficios de distribución energética.	40
II. Eficiencia energética en la construcción mexicana.....	42
2.1 Datos de consumo energético nacional y en el sector comercial y residencial.	42
Indicadores Nacionales de consumo energético.	43
Producción de energía primaria.	46
Producción de energía secundaria.	47
Consumo final de energía.	47

2.2	Programas existentes de eficiencia energética.....	49
	Reforma constitucional en materia energética.	49
	Ley de transición energética.	50
	Estrategia de transición para promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios.	50
	Programa Especial de la Transición Energética (PETE).	51
	Programa Especial de la Transición Energética (PRONASE).	51
	Programa Especial de Aprovechamiento de Energías Renovables.	52
	Programa de Eficiencia Energética de la Administración Pública Federal (APF)....	52
	Excelencia en Eficiencia Energética en Edificios - E4	53
2.3	Normas Oficiales Mexicanas existentes de eficiencia energética.	53
	CCNNPURRE - Integración y funcionamiento.	54
	Proceso de elaboración de las NOM.	54
	NOM-ENER relacionadas con la edificación.	56
III.	La NOM 020 ENER 2011 y su papel en los reglamentos de construcción en México.	57
3.1	Reglamentos de construcción en México. ¿Que son, cómo se crean y cuál es su cobertura?	57
3.2	Estados y municipios que han adoptado normas de eficiencia energética para envolventes de edificios.	59
3.3	Razones para emplear las normas de eficiencia energética en envolventes de edificios en México.	61
3.4	Barreras identificadas de adopción.	63
3.5	La NOM 020 ENER 2011 y su relevancia en la arquitectura.	65
	Antecedentes de la NOM 020 ENER 2011	65
	Dónde se aplica la norma y cómo se aplica.....	66
	Metodología de cálculo.....	67
	Herramienta de cálculo de la CONUEE para la Norma.....	76
IV.	Análisis de clima y envolvente arquitectónica.....	77
4.1	Análisis Climático de los casos de estudio.	77
4.2	Determinación del proyecto de vivienda y envolvente	84
4.3	Envolvente arquitectónica y modelo energético.....	89
4.4	Elección de motor de simulación energética.	93
4.5	Delimitaciones de la investigación.....	94
4.6	Cálculo de ahorro económico y energético en los escenarios.	95

V.	Cálculo y simulación energética de los tres casos de estudio	96
5.1	Resultados del cálculo del día más cálido y más frío del año de Hermosillo.	99
5.2	Resultados del cálculo del día más cálido y más frío del año del caso de estudio Cuajimalpa, CDMX.	101
5.3	Resultados del cálculo del día más cálido y más frío del año para Mérida, Yucatán.	102
5.4	Resultados de la simulación energética anual con EnergyPlus.	104
	Discusión y resultados.	121
	Conclusiones y recomendaciones.....	134
Anexos.	138	
i)	ANEXO I: Matriz de estados y municipios.	139
ii)	ANEXO II: Calculo del día más frio y día más cálido de Hermosillo.....	140
iii)	ANEXO III: Calculo día más frio y día más cálido de Cuajimalpa	155
iv)	ANEXO IV: Calculo día más frio y día más cálido de Mérida.....	170
v)	ANEXO V: Calculo simulación energética anual en EnergyPlus.....	183
a)	ANEXO V.1 - Proceso de simulación.	183
b)	ANEXO V.2 - Caso de estudio Hermosillo, Sonora.....	189
c)	ANEXO V.3 - Caso de estudio Mérida, Yucatán.....	198
d)	ANEXO V.4 - Caso de Estudio Cuajimalpa CDMX.	205
vi)	ANEXO VI: Calibración de modelo de acuerdo a datos del ENCEVI 2018.	211
	Bibliografía.	217
	Tablas	218
	Ilustraciones.....	219

Introducción

El sector de la edificación, a nivel internacional, es el principal sector contribuyente al consumo energético y el que más Gases de Efecto Invernadero emite. Esto implica que necesitamos hacer grandes cambios en nuestra concepción de la energía, su obtención y su consumo si es que pretendemos hacer frente a los retos y compromisos de ahorro, seguridad energética, cambio climático, y protección ambiental.

Nos encontramos frente a un escenario donde gracias al incremento de la calidad de vida, el crecimiento demográfico y la expansión de las actividades humanas, el consumo energético total crece a una tasa más elevada que la del crecimiento poblacional. Aunado a esto, de acuerdo a la Comisión Nacional de Hidrocarburos, las reservas nacionales de petróleo al 1 de enero del 2019 solo alcanzarían para 8.5 años más, lo cual deja en claro la necesidad de hacer más eficiente el consumo energético nacional.

Como respuesta a esta tendencia al alza en la demanda energética y las emisiones de Gases de Efecto Invernadero del sector de la edificación las autoridades gubernamentales han adoptado medidas y políticas públicas orientadas a reducir el consumo energético y a promover la eficiencia energética en los edificios. En línea con los esfuerzos y medidas internacionales, la Comisión Nacional por el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), a través de su Comité Consultivo para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CNNPURREE) ha generado dos Normas oficiales mexicanas de eficiencia energética a través de la envolvente de los edificios: La NOM 008 ENER 2001(edificios no residenciales) y la NOM 020 ENER 2011(edificios residenciales).

Sin embargo, dichas NOM de eficiencia energética, a pesar de ser obligatorias a nivel nacional (Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión, 1992), no han sido adoptadas ni referidas en los reglamentos de construcción estatales o municipales.

El análisis de las barreras enfrentadas en su proceso de adopción en los reglamentos estatales, así como la comprobación de su utilidad en ciertos municipios facilitaría la difusión y adopción de dichas NOM en la república mexicana. Generándose así una mejora en la calidad del ambiente interior de los edificios y una menor demanda energética nacional en el sector de la edificación.

Hipótesis.

- Si se facilita información de ahorro energético y económico, así como de posibles incentivos y sanciones sobre NOM de eficiencia energética a los gobiernos locales al norte del país, será más probable la adopción de NOM 020 ENER 2011 en los reglamentos de construcción de Hermosillo Sonora, con lo cual se disminuiría la demanda energética del sector residencial, comercial y público.”

Objetivo General.

- Analizar la situación de la integración de normas oficiales mexicanas de eficiencia energética en reglamentos de construcción de estados y municipio en México del 2001 al 2022 para determinar el impacto energético y económico en su aplicación.

Objetivos Particulares.

- Identificar los impedimentos que enfrentan las normas de eficiencia energética en envolventes arquitectónicas para su adopción en los reglamentos de construcción estatales y municipales de México al 2022.
- Calcular los ahorros energéticos (GWh) y económicos que se habrían ahorrado en tres estados de la república de haber adoptado la NOM 020 ener 2011 en el 2019.
- Calcular y simular el consumo energético de los casos de estudio, con y sin cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011, para determinar el porcentaje de ahorro energético y financiero posible.

I. Antecedentes.

El sector de la edificación, a nivel internacional, es el principal sector contribuyente al consumo energético y el que más Gases de Efecto Invernadero (GEI) emite. (A. Allouhi, 2015) Esto implica que necesitamos hacer grandes cambios en nuestra concepción de la energía¹, su obtención y su consumo si es que pretendemos hacer frente a los retos y compromisos de ahorro, seguridad energética², cambio climático, sustentabilidad y protección ambiental.

Hoy en día nos encontramos frente a un escenario donde gracias al incremento de la calidad de vida, el crecimiento demográfico, y la expansión de las actividades humanas, el consumo energético total crece a una tasa más elevada que la del crecimiento poblacional: 2.75% vs 1.4%. (A. Allouhi, 2015) Esto significa un aumento de consumo energético per cápita del 11.18% en los últimos 10 años a nivel mundial. (A. Allouhi, 2015) En el sector de los edificios residenciales, comerciales y públicos, estos incrementos en la demanda energética y las emisiones de GEI se han visto igualmente reflejados con el paso del tiempo.

Como respuesta a esta tendencia al alza en la demanda energética y las emisiones de GEI del sector de la edificación las autoridades gubernamentales han adoptado medidas y políticas públicas orientadas a reducir el consumo energético y a promover la eficiencia energética³ en los edificios. De acuerdo con Goeders, estas medidas y políticas públicas se dividen en tres subgrupos.

Medidas regulatorias; como los reglamentos de construcción, los cuales incluyen requerimientos mínimos y son obligatorios. *Instrumentos Suaves*; estos consisten en normas voluntarias como las certificaciones que rebasan los requerimientos de los reglamentos. *Incentivos económicos*; empleados para motivar a los dueños o usuarios de edificaciones a

¹ Energía: Es la habilidad de desempeñar un trabajo o labor. Existen diferentes tipos de energía, como la nuclear, la cinética, térmica, lumínica, sonora, etc... Estos tipos de energía pueden transformarse en otros tipos. Su unidad es el Joule (J)

² Seguridad energética: Es la disponibilidad ininterrumpida de fuentes de energía a precios razonables. Hay dos variantes la de largo plazo y la de corto plazo. La primera se enfoca en inversiones planificadas para cuando el desarrollo económico y las necesidades de sustentabilidad lo ameriten. La de corto plazo se enfoca mantener la capacidad de reaccionar prontamente a cambios súbitos en la relación suministro-demanda.

³ Eficiencia energética: El uso de menores cantidades de energía para llevar a cabo una misma tarea. En otras palabras, le reducción del desperdicio de energía.

remodelar sus propiedades para mejorar su eficiencia energética. Estos pueden ser, deducciones de impuestos, prestamos con subsidios, certificados de ahorro energético etc...

En el caso de este documento de investigación se hará hincapié en el grupo de las *medidas regulatorias*, específicamente los reglamentos de construcciones a nivel estatal en la república mexicana.

1.1 Aporte de la investigación

Este tema es relevante por diversas razones. El tema de la eficiencia energética visto desde la perspectiva de la necesidad de incluirla en los reglamentos de construcción nacionales no se ha abordado con anterioridad a nivel maestría o doctorado. Únicamente se ha abordado desde el punto de vista del diagnóstico energético de edificios a nivel licenciatura, en el caso de la UNAM. Es un enfoque nuevo de un tema de importancia para la soberanía energética del país.

No existe información disponible acerca de los grados de adopción de las NOM ENER que pudieran existir en los reglamentos de construcción, así como sus barreras. Esta información será generada por esta investigación, por medio de un mapeo de los reglamentos de construcción de los 32 estados de la república y sus municipios, así como una subsecuente comparativa contra un caso de estudio.

En vista que los tratados internacionales firmados por México sobre la problemática energética, como el tratado de Paris, así como la propia ley de transición energética y su reglamento entran en vigor en el año en los próximos años, es de importancia e interés para México mirar la problemática energética y sus compromisos adquiridos.

En este contexto, además del beneficio para el sector energético del país, uno de los principales beneficiados por la adopción de medidas de eficiencia energética a través de la envolvente de los edificios es el usuario de los mismos, ya que son ellos quienes bimestre con bimestre destinan una cantidad considerable de sus ingresos al pago de facturas eléctricas por concepto de confort térmico al interior.

En el caso de los estados al norte del país, el gasto promedio de los usuarios por concepto de confort térmico es de dos a cinco veces mayor al de los usuarios ubicados en la CDMX. (Odón de Buen Rodríguez, CONUEE, 2019)

Ante la tendencia al incremento en el precio de los energéticos, contar con una edificación que cuente con medidas de eficiencia energética a través de su envolvente se convierte no en un gasto si no en una inversión que además de generar ahorros en la operación genera una plusvalía.

1.2 Orígenes de la inclusión de eficiencia energética en reglamentos de construcción.

La eficiencia energética, si bien es ahora en un tema muy sonado en el contexto global, no es algo reciente o producto exclusivo de alguna moda de consumo. Este tema se remonta a la década de los años 70's y 80's, nace con la crisis petrolera de octubre de 1973, cuando los miembros de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo (OPAEP) decidieron dejar de exportar petróleo a los países que habían apoyado a Israel, en la Guerra de Yom Kipur, contra Egipto y Siria. En el caso de México, éste se vio momentáneamente beneficiado por los cuantiosos incrementos internacionales del precio del crudo, sin que esto le fuera suficiente para evitar la crisis económica en la que caería en 1976. (Colmenares, 2008)

El embargo se levantó en marzo de 1974, sin embargo, los efectos de la crisis marcaron la década de los 70's; concientizando tanto a la opinión pública de los países afectados como a empresas privadas sobre la importancia del ahorro energético. Fue durante la segunda crisis del petróleo en 1979 cuando se cimentaron y establecieron estas propuestas de ahorro energético en los ámbitos públicos y privados de los países afectados.

En cuanto a los reglamentos de construcción, estos no son un tema nuevo, existen desde la época de babilonia. Específicamente, el código de Hammurabi en el año 1750 a.C. De las 282 leyes que regulaban el reino, 6 de ellas hacían referencia a la construcción de vivienda y las sanciones en las que incurrirían los constructores en caso de no cumplirlas. (International Energy Agency, 2008)

Históricamente los reglamentos de construcción se iniciaron debido a desastres naturales como terremotos, inundaciones, incendios o epidemias. Estos reglamentos fueron creados para la minimización de futuros daños o catástrofes. Tal ha sido el caso con el reglamento de construcciones de la Ciudad de México, la cual está situada en una zona sísmica. El primer reglamento existente de esta ciudad data de 1921, el cual contenía nociones básicas de seguridad en las edificaciones. Fue modificado después del terremoto del 28 de julio de 1957, ya que el primer reglamento era muy básico en cuestiones de seguridad estructural. No existe a la fecha un calendario de revisiones al reglamento de construcciones del distrito federal.

A comparación de las normas de construcción, las normas de eficiencia energética son relativamente nuevas. No fue sino hasta el siglo XX cuando los gobiernos comenzaron la inclusión de estas en sus reglamentos de construcción o incluso como todo un reglamento de eficiencia energética independiente. La necesidad de mejorar las condiciones de regulación térmica en las edificaciones impulsó una mayor adopción de estándares de eficiencia energética después de la segunda guerra mundial, esto se debió a que el aislamiento térmico de las edificaciones era muy pobre y generaba problemas de salud en la población ubicada en regiones de clima frío. (International Energy Agency, 2014)

Durante la década de los 60's los estándares de calidad de vida se incrementaron y con ellos también lo hicieron los requisitos de aislamiento térmico. En los 70's, gracias a las crisis petroleras, la necesidad de reducir la dependencia del petróleo y sus derivados detonó la creación de estándares de eficiencia energética específicas para edificios, mismos que fueron adoptados en reglamentos de construcción de ciertos países desarrollados. (Michele Fossati, 2016) Durante la década de los 90', la concientización del cambio climático llevó al desarrollo de estándares y normativas cada vez más astringentes, las cuales han resultado en mejoras a la calidad de vida, salud y ahorros económicos substanciales a los gobiernos y ciudadanos de los países adoptantes.

1.3 Estatus Internacional.

Actualmente la International Energy Agency (IEA), en su reporte del 2017, menciona que, a pesar de la baja en los precios de los energéticos durante el año 2016, se tuvieron avances importantes en materia de eficiencia energética. Sin embargo, los gobiernos nacionales no están logrando la creación de políticas públicas en la materia con la rapidez que se requiere y a la vez están dependiendo de estándares adoptados en años anteriores. Dicha tendencia al estancamiento en la creación de políticas públicas energéticas se mantuvo en el año 2017. (International Energy Agency, 2017) Esto ocurre en un momento en el que se debería incrementar la inclusión de nuevas regulaciones o estándares. Este estancamiento pone sobre la mesa un riesgo de retroceso en el panorama mundial.

Del total de energía final generada a nivel mundial, el 68% de ésta no está regulada por ningún tipo de reglamentación o estándar. (International Energy Agency, 2017)

Una gran parte del uso de energía final mundial se destina a los edificios, particularmente a los del sector residencial y comercial. Esto es debido al control térmico de los mismos, a la iluminación, los aparatos eléctricos entre otros equipos. Este gasto energético también puede observarse en algunos edificios del sector industrial o agrícola, específicamente en los edificios administrativos de estos sectores. El total del gasto energético por parte de los edificios de estos sectores asciende a casi un 40% del total de la energía generada a nivel mundial.

La inclusión de la eficiencia energética en las normativas de construcción tanto en países con economías emergentes como países con economías desarrolladas ha resultado fundamental para encaminar a la población al uso racional y economizador de los recursos energéticos.

Como muestra de la capacidad economizadora de la eficiencia energética podemos constatar que al año 2016 se ha generado mayor valor a partir del uso de energéticos (International Energy Agency, 2017). La Intensidad Energética Global o IEG (cantidad de energía primaria requerida para generar una unidad de Producto Interno Bruto) en dicho año bajó un 1.8% continuando con una tendencia desde el 2010, donde la IEG disminuye en promedio un 2.1% anual. Esto se traduce en importantes ahorros en el consumo de energéticos, ahorros

financieros para los consumidores o gobiernos y reducciones importantes en la liberación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) a la atmosfera.

El decremento de la Intensidad Energética Global significa que, en general, un país es capaz de generar más PIB por cada unidad de energía consumida. Este ahorro a nivel global durante el 2016, puesto en cifras monetarias, es equivalente a 2.2 trillones de dólares estadounidenses (2,200,000 millones de dólares). Esta cifra equivale a dos veces la economía de Australia en ahorros. (International Energy Agency, 2017)

De no haberse implementado medidas de eficiencia energética desde la década del 2000, al 2016 se habría gastado un 12% más de energía a nivel mundial. Esto equivaldría al gasto de otra Unión Europea en las cifras de gasto energético global. (International Energy Agency, 2017)

En el 2016 el gasto doméstico de consumo de energía ha disminuido de un 10% a un 30% anual. Por ejemplo, en Alemania el gasto energético en vivienda y transporte se redujo en 580 dólares estadounidenses per cápita en el 2016. En el caso de economías emergentes como la de China, el sector doméstico de consumo energético habría crecido en un 25% de no haber sido por estas medidas. (International Energy Agency, 2017)

Las medidas de eficiencia energética han contribuido a la adquisición de Seguridad Energética (disponibilidad ininterrumpida de recursos energéticos a precio accesible en un país) de diversos países. En el caso de Japón, las importaciones de petróleo y gas habrían sido 20% y 23% respectivamente más altas en el 2016 de no haberse implementado medidas de eficiencia energética desde la década del 2000. (International Energy Agency, 2017)

Como se ha ejemplificado anteriormente, **las normas de eficiencia energética** en edificios son una de las maneras más efectivas de reducir emisiones de carbono en el sector de las edificaciones en el mediano plazo.

Las normas de eficiencia energética en edificios son particularmente importantes en países donde el crecimiento poblacional y económico vaya a generar explosiones previstas en el sector de la construcción. Decenas de países han acordado la implementación de estándares de

eficiencia energética en sus reglamentos, así como políticas similares como parte de su plan de acción contra el cambio climático. (Meredydd Evans, 2017)

1.4 Implementación de normas de eficiencia energética en los reglamentos de construcción a nivel mundial.

La implementación efectiva de las normativas de eficiencia energética en países como Alemania, Australia, entre otros, se ha medido en función a una serie de factores clave. Mismos que se interconectan y facilitan o imposibilitan una correcta adopción de las normas de eficiencia energética en sus políticas públicas o reglamentos de construcción (Meredydd Evans, 2017). Estos factores son, cobertura geográfica de las normas, acercamientos Institucionales, incentivos y sanciones, revisiones del elemento construido antes y durante su construcción y materiales de construcción.

A continuación, veremos casos de países que han llevado a cabo una integración de normas a sus reglamentos de construcción.

Alemania

Alemania inició su adopción de normas de eficiencia energética desde 1977. Su primer reglamento de eficiencia energética con base en el desempeño de los edificios se publicó en 2002, llamado *Energy Saving Ordinance* o *Energieeinsparverordnung* en alemán, el cual ha ido sufriendo modificaciones desde el 2009 a la fecha, todas para incrementar los requerimientos mínimos de cumplimiento. Este reglamento se aplica para todos los edificios nuevos y en remodelaciones tanto residenciales como comerciales a nivel nacional.

Este reglamento es obligatorio y su ruta de cumplimiento es con base en el desempeño del edificio a nivel federal, pero los gobiernos locales o estatales pueden proponer sus propias rutas de cumplimiento y si quisieran, requerimientos más estrictos.

Las medidas cubiertas por este reglamento son; envolvente, aire acondicionado y calefacción, calentamiento de agua, iluminación, energía eléctrica, energías renovables y mantenimiento.

El desempeño energético mínimo se establece a partir del edificio de referencia especificado en los anexos del reglamento en cuestión.

La motivación del gobierno Alemán para la creación de estándares, reglamentos y políticas públicas han sido las metas nacionales de en cuanto al cambio climático y las políticas ambientales de la unión europea, hay también un profundo interés por parte del gobierno Alemán por alcanzar la independencia energética⁴. Tienen como meta la reducción del 80% de la demanda de energía primaria en edificios para el 2050 y 20% de reducción de demanda de calefacción para el 2020.

En la Tabla 1 . que se muestra a continuación se exponen los roles de los involucrados o *stakeholders* en el proceso de planeación y construcción de un edificio energéticamente eficiente en Alemania.

Rol del Stakeholder	Etapa de diseño	Etapa de construcción	Revisión previa a la ocupación
Gobierno federal	Ninguno	Ninguno	Ninguno
Gobierno local/provincial	Vería dependiendo de los estados. En algunos municipios el gobierno local hace revisiones puntuales.	-Revisa con base en evidencia, cuando algo puede estar mal hecho.	-Revisa con base en evidencia, cuando algo puede estar mal hecho.
Involucramiento del Sector Privado o Terceros	-Varía dependiendo el estado que se trate. Usualmente se hace una auto-certificación de los arquitectos o constructores, previa a que el gobierno local expida una licencia de construcción.	-Varía dependiendo del estado. Algunas jurisdicciones requieren inspecciones en el sitio de la obra.	-En algunos estados se requiere que se entregue al dueño un reporte donde se indique que el desempeño energético del edificio corresponde con lo indicado en los planos constructivos del mismo.

⁴ Independencia energética: Es la autosuficiencia en cuanto a los recursos energéticos, suministro de energía y generación energética por la industria de la energía de un país.

Tabla 1 . Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de “Germany – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de <http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/germany>

El gobierno alemán no tiene designado un software de simulación energética en particular para revisar el cumplimiento del reglamento. Tampoco tiene un procedimiento estandarizado para la certificación de profesionales de la eficiencia energética.

En cuanto a la capacitación y divulgación de información relevante a la eficiencia energética en edificios, la *German Energy Agency* es la agencia que lleva a cabo dichas tareas. Desde la acreditación de profesionales hasta el desarrollo de modelos de proyectos y el desarrollo de mejores prácticas.

Las **sanciones por incumplimiento** pueden ser; multas que van desde los 5,000 euros hasta los 50,000 euros dependiendo del grado de severidad del incumplimiento y la negación de la licencia de construcción. Por otro lado, como **incentivos para el cumplimiento** tienen préstamos a tasas de interés preferencial por medio de los bancos de desarrollo gubernamentales, un programa de mercado de incentivos, y un programa para renovación de edificios.

En Alemania los gobiernos estatales son los facultados para realizar las revisiones de cumplimiento del reglamento, y sus revisiones son limitadas en comparación con las revisiones que hacen las instituciones a cargo de los programas de mercado de incentivos o de renovación de edificios. Si bien Alemania es uno de los países líderes en el tema de la eficiencia energética en edificios, hay áreas de sus procesos de revisión de cumplimiento que pudieran verse como áreas de oportunidad.

Australia

Australia es un país rico en recursos energéticos, mismos que acaban alimentando los mercados asiáticos, sin embargo, hay una creciente preocupación en el país por la seguridad energética del mismo ya que la producción petrolera nacional va en descenso y la necesidad de importación de combustibles fósiles para satisfacer su demanda va al alza de manera sostenida. Esto a su vez ha generado un alza de precios en su mercado.

El *Código nacional de construcción (National Construction Code o NCC)* incluye al *Reglamento de construcción de Australia (Building Code of Australia o BCA)* siendo este primero el reglamento desarrollado a nivel federal y es obligatorio en todos los estados y territorios australianos. La **adopción de normas de eficiencia** energética a este código nacional de construcción se llevó a cabo por primera vez en el **año 2003**. Desde esa fecha se han integrado normas de eficiencia energética en tres tramos, de los cuales el último ocurrió en el año 2010.

El BCA (Building Code of Australia) ofrece dos **rutas de cumplimiento; el método prescriptivo y el método con base en el desempeño (ruta alternativa)**. Esta ruta debe cumplir con los requerimientos de desempeño que marca el BCA. |

El NCC considera normas de eficiencia energética para los sectores residencial y comercial, tanto para construcciones nuevas como para remodelaciones. Este código debe ser adoptado por los estados y territorios, con variaciones, estos mismos estados y territorios se encargan de exigir su cumplimiento a nivel local tanto en la fase de planeación del edificio como en su fase de construcción. Esto a veces con la ayuda del sector privado o terceros.

Las medidas cubiertas por el NCC son: Envoltente, Aire acondicionado y calefacción, calentamiento de agua, iluminación, mantenimiento y confort térmico.

Una gran parte de la motivación de Australia para adoptar normas de eficiencia energética en sus reglamentos ha sido la necesidad de bajar sus emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) debido a que ha estado sobre su territorio el agujero en la capa de ozono.

La **entidad gubernamental encargada de la revisión de los reglamentos** de construcción y la inclusión de normas de eficiencia energética en los anteriores es el *Consejo Australiano de Códigos de Construcción (Australian Building Code Board o ABCB)*.

Esta entidad tiene como prioridades, en cuanto a política pública, el *incrementar el grado de cumplimiento de los estándares adoptados y vigentes actualmente*. Esto por encima de elevar el grado de astringencia de los reglamentos, ya que se piensa esta primera alternativa es eficiente. *Introducir medidas cuantificadas de para los métodos de desempeño*, para dar claridad a esta ruta alterna de cumplimiento y *analizar el uso de software de clasificación energética* para

su aplicación en los climas tropicales del norte australiano, donde el modelado energético no resulta tan efectivo, dando resultados mediocres.

Estos proyectos en puerta se esperan sean promulgados en 2019, de acuerdo a sus calendarios **de revisiones de reglamentos**.

En la Tabla 2 que se muestra a continuación se exponen los roles de los stakeholders en el proceso de planeación y construcción de un edificio energéticamente eficiente en Australia.

Rol del Stakeholder	Etapa de diseño	Etapa de construcción	Revisión previa a la ocupación
Gobierno federal Gobierno local/provincial	Ninguno	Ninguno	Ninguno
		-Monitorear y ejercer la observancia de los reglamentos. En algunas provincias el gobierno local hace inspecciones.	- Monitorear y ejercer la observancia de los reglamentos. En algunas provincias el gobierno local hace inspecciones.
Involucramiento del Sector Privado o Terceros	-Contratista hace solicitud al NCC de acuerdo a los requerimientos de desempeño establecidos -Certificador privado o consejo verifica el cumplimiento de los requerimientos de desempeño o con una ruta alternativa. -La vivienda deberá ser valorada de acuerdo a un software de categorización energética, esto deberá ser realizado por el diseñador, constructor o inspector.	-Inspección de la obra por un asesor privado o externo -No es válido en todas las jurisdicciones.	-En algunos casos se realizan análisis posteriores a la ocupación del edificio

	<p>-De acuerdo a la regulación 88, el gobierno no requiere revisar los aspectos del reglamento de construcción que ya hayan sido certificados por un experto técnico independiente</p>		
--	--	--	--

Tabla 2. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de "Australia – Building Code implementation – Country summary." por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de http://www.gbpn.org/sites/default/files/Australia_Country%20Summary%20_0.pdf

Se cuenta con sistemas de certificación o etiquetados de eficiencia energética para las edificaciones. El *Star Rating* usado para la certificación de eficiencia energética en vivienda se deriva del uso de herramientas de cálculo como AccuRate, Basix o BERS Pro. Australia carece de un software nacional de cálculo energético ya que el certificador del edificio tiene la libertad de decidir cómo llevarlo a cabo.

En el caso de la certificación de eficiencia energética en edificios comerciales se cuenta con la *National Australian Built Environment Rating System (NABERS)*. Esta certificación no actúa de la misma manera que la *Star Rating*, pero de igual manera otorga un número de estrellas de acuerdo al desempeño del edificio. Estos sistemas de certificación son operados por el gobierno australiano u operadores acreditados por este último.

La **ABCB cuenta con numerosos programas de educación**, entrenamiento y divulgación de los trabajos que hace la entidad por la renovación de códigos, reglamentos y estándares. Estos programas, también llamados *Kits de recursos*, tienen la finalidad de proveer información actualizada y consistente sobre el NCC (National Construction Code) a los involucrados en el sector de la construcción. Recientemente estos kits de recursos se han transformado en módulos de entrenamiento en línea los cuales se han complementado con libros de consulta y video tutoriales alojados en YouTube.

Brasil

El caso de Brasil, como se vio con anterioridad, ha sido crítico. Su producción nacional de energía secundaria doméstica se basa en alrededor del 80% en plantas hidroeléctricas. Mismas que por las sequías causadas por el cambio climático y por la mala planeación, fueron insuficientes para satisfacer la creciente demanda energética hasta que en el 2001 el país entro en una crisis energética que lo obligó a un racionamiento de más de seis meses del suministro eléctrico a nivel nacional. Incrementar su infraestructura hidroeléctrica es cada vez más difícil por las ubicaciones cada vez más remotas de sus presas y por el impacto ambiental que estas pudieran provocar.

Brasil no tiene requerimientos mínimos de eficiencia energética para edificios en sus reglamentos de construcción, tiene sistemas de “etiquetado” de eficiencia energética. El RTQ-R y el RTQ-C para edificios residenciales y comerciales respectivamente y ambos son programas voluntarios.

Las medidas que cubren estos sistemas de etiquetado son; envoltentes, aire acondicionado –calefacción, iluminación, opciones para el uso de métodos de cumplimiento por desempeño.

El programa RTQ-C clasifica a las edificaciones en cinco niveles: De A (los más eficientes) a E (los menos eficientes). Para dicha clasificación hay dos métodos: Por simulación y por método prescriptivo, donde se siguen una serie de reglas combinadas con los resultados de un modelo simplificado de simulación de eficiencia energética por medio de envolvente.

No cuentan con un calendario de revisiones a los reglamentos o normativas de eficiencia energética. Los proyectos se revisan en las etapas de planeación y construcción, siendo estos voluntarios y donde la etiqueta se entrega al final de la construcción.

China

China desde 1986 inició con la inclusión de normatividad de eficiencia energética en su política pública, con la promulgación de su estándar de eficiencia energética para edificios

residenciales con calefacción (JGJ 26-86) por el Ministerio de vivienda y desarrollo urbano-rural. Este primer estándar aplicaba únicamente para los edificios de vivienda ubicados en el norte donde tienen un clima frío, en los cuales se ahorraba un 30% con respecto a la energía empleada en la calefacción contra los edificios de referencia chinos de 1980.

Actualmente China tiene normativa obligatoria de eficiencia energética para edificios residenciales y comerciales en las zonas urbanas de todo el país y normativa voluntaria para edificios residenciales en sus zonas rurales. Dichos no incluyen un apartado de eficiencia energética para la iluminación ya que existe un reglamento separado para ello, el *Estándar para el Diseño de Iluminación de Edificios*.

Cuentan con un reglamento de implementación y verificación de la ejecución de las normas energéticas vigentes llamados *Código para la aprobación de construcción de edificios energéticamente eficientes*. Este reglamento cuenta, a su vez, con estándares técnicos que dan soporte a la implementación de nuevos códigos. Algunos ejemplos serían el *estándar técnico para sistemas de bombas de calor geotérmico*, *código técnico para sistemas solares de calentamiento de agua en edificios civiles*, *estándar técnico para el reacondicionamiento energéticamente eficiente de edificios públicos*, y el *estándar técnico para pruebas de eficiencia energética en edificios públicos*.

En el caso específico de ciertas provincias o ciudades más desarrolladas, estas tienen la capacidad de establecer sus propios estándares y reglamentos locales de eficiencia energética, mismos que deberán ser específicos para la zona y más estrictos que las normas nacionales.

Dentro de sus reglamentos de construcción y de eficiencia energética en los edificios y su iluminación se ofrecen distintas **opciones de cumplimiento**: Método prescriptivo (Solución impuesta), método prescriptivo con posibilidad de intercambios o soluciones intermedias (Solución impuesta con variables de cumplimiento), método con base en el desempeño (Solución no impuesta, se pide cumplir con un umbral de unidades de desempeño)

Sus **mecanismos de observancia** de las normas incluyen; revisión durante la etapa de diseño, inspecciones de obra, inspección previa a la ocupación y revisiones de cumplimiento.

Las medidas cubiertas por los reglamentos de eficiencia energética son envolventes, aire acondicionado y calefacción, iluminación (código separado), energías renovables (no aplica en todos los reglamentos), calentamiento de agua para uso doméstico y mantenimiento.

Su **esquema de actualizaciones**, como se estipula en sus *Regulaciones para la implementación de normas de estandarización de la república popular de China*, establece que los periodos de revisión de reglamentos estándares y códigos no pueden sobrepasar los cinco años, toda sugerencia sobre la revisión deberá proponerse después de dichos periodos.

En la Tabla 3 vemos cuales son los roles de los stakeholders en cada etapa del proceso constructivo de un edificio bajo los reglamentos de eficiencia energética chinos.

Rol del Stakeholder	Etapa de diseño	Etapa de construcción	Revisión previa a la ocupación
Gobierno federal	Ninguno	Ninguno	Revisión nacional anual de cumplimiento
Gobierno estatal/provincial	-Emisión de licencias de construcción y aprobación de inicio de construcción.	-Inspección de la obra en etapas clave de la construcción -Recolección, revisión y aprobación de documentos relacionados con la construcción y el cumplimiento de normas.	-Aceptación de la terminación de obra -Emisión de permisos de ocupación.
Involucramiento del Sector Privado o Terceros	-Revisión del diseño del edificio. Verificando que este cumpla con las normas vigentes.	-Inspección de la construcción y realización de pruebas de cumplimiento	-Inspección previa a la ocupación -Pruebas de cumplimiento.

Tabla 3. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Impresa de "China – Building Code implementation – Country summary." por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de <http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/china>

Las sanciones por incumplimiento de las normas de eficiencia energética que estipulan los reglamentos son: Multas, negación de la licencia de construcción, negación de permiso de ocupación, suspensión o cancelación de la licencia de construcción, en caso de inspectores privados inmiscuidos en fraude o faltas de cumplimiento severas al reglamento se les suspende su licencia, las compañías de diseño arquitectónico que no corrijan errores tres veces en un periodo de dos años serán suspendidas hasta que logren rectificar y su certificado de cualificación será democionado o cancelado, por último los nombre de aquellas personas o compañías dueñas de propiedades que incumplas}n con los reglamentos serán publicados.

Los incentivos y recompensas por cumplir por arriba de los mínimos establecidos en los reglamentos son básicamente deducciones a los impuestos por pagar al gobierno, estos incentivos van sobre el impuesto al valor agregado, impuesto sobre el ingreso y al impuesto al activo fijo.

Los **materiales de construcción** en china son certificados o etiquetados, pero no de manera obligatoria. La administración de certificación y acreditación se encarga del sistema de certificación y de los laboratorios de pruebas.

Los edificios también son sujetos de **certificación en eficiencia energética**, estos se otorgan con base en el desempeño demostrado en la etapa de diseño y la etapa post ocupacional de acuerdo al *Estándar para la certificación de desempeño en eficiencia energética de edificios JGJ/T288-2012*, el cual es voluntario. Hay tres niveles de certificación, de una estrella a tres estrellas dependiendo del nivel de ahorro energético.

Corea del Sur

Corea del Sur **inició su adopción** de normas de eficiencia energética **en 1977**, con la inclusión del primer estándar de grosores de aislamiento térmico en construcciones.

En el 2001 el gobierno integró sus estándares separados de eficiencia energética para diversos tipos de edificios en un solo reglamento llamado *Building Design Criteria for Energy Saving* o *Criterios de ahorro energético para el diseño de edificios*. **Este reglamento es de carácter obligatorio** para todos los tipos de edificios en el país y tiene un periodo de revisiones cada 4

años. Este reglamento se divide en tres secciones: La sección arquitectónica, mecánica y eléctrica.

Este reglamento cuenta con dos **rutas de cumplimiento**: el método prescriptivo o requerimientos mínimos y el método con base en el desempeño o requerimientos sugeridos.

Estas últimas son soluciones más innovadoras y se manejan como “mejores prácticas”.

El cumplimiento de este reglamento se mide con un sistema de puntos, mismos que todos los edificios están obligados a cumplir en todos sus componentes relacionados con la energía. Los edificios privados están obligados a cumplir con todos los requerimientos mínimos y con algunos *sugeridos*, juntando al menos 60 puntos, para los edificios públicos el puntaje mínimo es de 74 puntos.

Medidas cubiertas por el reglamento son: Envolvente, aire acondicionado y calefacción, iluminación, energía eléctrica, energías renovables y mantenimiento.

Una agencia de gobierno, la *Korean Energy Management Corporation o Corporación Coreana de Gestión de la Energía (KEMKO)*, estuvo a cargo del desarrollo un software sencillo para el cálculo de puntajes de los edificios, los EPIs. Estos son los puntos que deben juntar todos los edificios, como se mencionó anteriormente.

Las motivaciones detrás de todos estos esfuerzos de implementación de políticas energéticamente eficientes se deben a las metas de reducción de emisiones de carbono que debe cumplir el gobierno coreano. Para el año 2020 Corea del sur tiene que generar un 30% menos de emisiones de CO₂ y como parte de esta meta, se deben de reducir las emisiones en el sector de la construcción un 27%.

Existen tres certificaciones de desempeño energético una obligatoria y dos voluntarias. La obligatoria aplica para los conjuntos de departamentos de más de 500 unidades de vivienda y fue adoptada en 2006. Las certificaciones voluntarias son la *Korean Green Building Certification Program* y la *Building Energy Rating System*, ambas certificaciones fueron adoptadas en 2001.

La primera certificación voluntaria consiste en un sistema que clasifica a los edificios en siete tipos de edificio y cuatro categorías y es válida por cinco años, con posibilidad de extensión de 5 años más.

La segunda certificación voluntaria, aplica para edificios nuevos y remodelados de departamentos de más de 18 unidades de vivienda y los clasifica en tres grupos.

Cabe mencionar que ninguna de estas certificaciones sustituye el tener que cumplir los códigos y normas vigentes.

En la Tabla 4 veremos cuáles son los roles de los involucrados en el proceso de desarrollo e implementación de normas.

Rol del Stakeholder	Etapa de diseño	Etapa de construcción	Revisión previa a la ocupación
Gobierno federal	KEMKO asiste al gobierno local en la revisión de planos constructivos si el gobierno local no cuenta con empleados con suficiente conocimiento técnico o experiencia para realizar las evaluaciones.	Ninguno	Ninguno
Gobierno estatal/provincial	Oficiales del gobierno local revisan los planos de construcción para la emisión de la licencia de construcción	Ninguno	Ninguno
Involucramiento del Sector Privado o Terceros	Para obtener una licencia de construcción, el dueño del edificio o	Ninguno	Ninguno

	<p>construcción debe entregar un “Plan de conservación de energía” firmado por un arquitecto certificado, un ingeniero electro - mecánico y un ingeniero eléctrico al gobierno local.</p>		
--	---	--	--

Tabla 4. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de “South Korea – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de <http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/south-korea>

El gobierno Sur Coreano cuenta también con **auditorías post-ocupacionales** obligatorias **cada cinco años**. Se les realizan a todos los edificios que gasten más de 2,000 toneladas equivalentes de petróleo anuales, siendo los edificios con la certificación energética voluntaria del país los únicos exentos de dicha auditoría.

Cuentan como penalización por incumplimiento de las normas en la fase de proyecto con la negación de la licencia de construcción. Los incentivos con los que cuenta el gobierno son; créditos a largo plazo y con una baja tasa de interés para edificios que hayan adquirido la certificación voluntaria, incentivos fiscales, soporte técnico y reconocimientos públicos de los edificios.

Estados Unidos

En el caso de los Estados Unidos de Norteamérica, los desarrollos y adopciones de normas de eficiencia energética inician en 1975, después de la primera crisis petrolera, con la salida del estándar 90.75 de la American Society for Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

Hay dos organizaciones independientes responsables del desarrollo de estándares de eficiencia energética; ASHRAE y el International Building Council (ICC). ASHRAE desarrolla el modelo comercial de las normas de eficiencia energética (el **estándar 90.1** para edificios, excepto

los de vivienda de baja altura y densidad) y el International Building Council se encarga del desarrollo de los estándares para edificios residenciales por medio del ***International Energy Conservation Code (IECC.)*** El ICC maneja sus procesos de desarrollo y revisión de manera pública, donde individuos, organizaciones e instituciones públicas como el U.S. Department of Energy pueden votar y proponer cambios a las normas en proceso de revisión. Sin embargo, no cuentan con una hoja de ruta ni un plan de cambios fijo para las normas.

ASHRAE, por otra parte, desarrolla las normas comerciales únicamente con los miembros de su comité. Esta membresía está abierta al público en general y cualquiera puede aplicar para obtenerla. ASHRAE si cuenta con una hoja de ruta y metas para las normas que revisan y desarrollan. Siendo la meta del año 2020 la de generar edificios *net-zero* económicamente viables dentro del mercado estadounidense.

Cabe mencionar que debido a al gobierno federal de los Estados Unidos, hay estados que crean sus propias normativas de eficiencia energética de manera independiente de ASHRAE e ICC, como son California, Washington y Florida. En el caso de California, este estado ha desarrollado y mantenido su propio código energético desde 1978 y al igual que ASHRAE, tiene la meta de lograr edificios *Net-zero* residenciales para el año 2020 y comerciales para el año 2030.

El estado de Washington, inició con el desarrollo de su propio código de eficiencia energética desde la década de 1970 y tiene como ley que para el año 2020 debe reducir un 70% los consumos de todos los tipos de edificio en el sector de la construcción.

Los reglamentos generados por ASHRAE e ICC son aplicables a nivel nacional. Una vez que sus normas son publicadas, los estados y municipios locales inician sus procesos por separado para la adopción de dichos reglamentos modelo ya sea con o sin revisiones o modificaciones, también los estados y municipios pueden optar por generar sus propias normas o reglamentos.

Normalmente los gobiernos estatales y municipales se encargan de la aplicación de las normas vigentes durante los procesos de diseño y construcción, pero hay estados donde ocurre la intervención del sector privado para apoyar en los procesos de aplicación y revisión.

Tanto ASHRAE 90.1 como IECC permiten diversos caminos para el cumplimiento; método prescriptivo, por desempeño o intercambio de requerimientos (trade-off).

Las medidas abordadas por los anteriores reglamentos son; envolvente, aire acondicionado y calefacción, calentado de aguas de servicio, iluminación, electricidad, mantenimiento y opciones de trade-off o desempeño. Tienen ambos un calendario de revisiones a cada tres años. En la Tabla 5 veremos cuáles son los roles de los involucrados en el proceso de desarrollo e implementación de normas.

Rol del Stakeholder	Etapa de diseño	Etapa de construcción	Revisión previa a la ocupación
Gobierno federal	Provee herramientas, desarrolla programas de entrenamiento pero no participa en la revisión de planos constructivos.	Ninguno	Ninguno
Gobierno estatal/provincial	Revisa los planos y documentos constructivos	Realiza inspecciones	Entrega permisos de ocupación.
Involucramiento del Sector Privado o Terceros	En algunas jurisdicciones puede apoyar con la revisión de planos.	Puede realizar inspecciones aprobadas por el gobierno estatal o local	Pueden participar en procesos de commissioning.

Tabla 5. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de "United States – Building Code implementation – Country summary." por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de <http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/usa>

Las herramientas utilizadas son las generadas por el U.S. Department of Energy, las cuales son; COMCheck (para edificios comerciales) y RESCheck (para edificios residenciales). El uso de estas herramientas no es obligatorio para comprobar cumplimiento y su aplicación puede variar dependiendo el estado.

Como sanciones por incumplimiento tenemos; negación de licencia de construcción, negación de permiso de ocupación y multas. Como medidas de incentivo tenemos; programas

que pagan por renovaciones de edificios como Property Assessed Clean Energy, prestamos con tasas de interés bajas y programas de reconocimiento público como el *ENERGY Star Commercial Buildings*.

Sudáfrica

En Sudáfrica las medidas de adopción de estándares de eficiencia energética en sus reglamentos de construcción desde el año 2011.

Durante ese año se actualizó su normativa de construcción y se añadieron estándares de eficiencia energética que cubren los edificios de vivienda, nuevos y remodelaciones, como los edificios comerciales, también nuevos y de remodelación.

La normativa de eficiencia energética en edificios se llama *SANS 10400XA: Energy Usage in Buildings* y es de cobertura nacional.

Esta normativa permite al constructor o al diseñador elegir si toma la ruta prescriptiva de cumplimiento o una ruta por desempeño en comparación con un edificio base.

Las medidas cubiertas por esta normativa son: Envoltente del edificio, aire acondicionado y calefacción, iluminación, aguas servidas, energía eléctrica (con restricciones de 5w/m²) y energías renovables. Ofrece tres caminos para el cumplimiento: Dos rutas prescriptivas distintas y una basada en el desempeño contra un edificio de línea base.

A diferencia de los demás países antes citados, no hay una clara división de roles por parte de los Stakeholders, sin embargo, hay un fuerte involucramiento en los sectores privado, gubernamental y académico.

No hay un software oficial para la revisión de cumplimiento con el desempeño energético del edificio, puede usarse cualquiera que esté certificado para realizar revisiones.

En cuanto a la capacitación ofrecida en esta normatividad tenemos que el *South African Institute of Architectural Technicians (SAIAT)* junto con

1.5 Estatus nacional.

En el caso de México, cuyas demandas de energía primaria y de consumo eléctrico han crecido un 25% y 50% respectivamente desde el año 2000 (International Energy Agency, 2016), existen bases asentadas para la inclusión de estos temas en el quehacer arquitectónico y constructivo de las ciudades mexicanas.

A diferencia de los países que hemos visto anteriormente, México no cuenta con un reglamento de eficiencia energética para las edificaciones per se. Cuenta con la Ley de Transición Energética y su estrategia de transición, las NOM-ENER (Normas Oficiales Mexicanas sobre eficiencia energética) y las NMX (Normas Mexicanas). La ley de Federal sobre Metrología y Normalización establece que las NOM son de carácter obligatorio en todo el país y las NMX de carácter opcional o voluntario.

Sin embargo, la aplicación de dichas normas en el sector de la construcción ha sido desarticulada a pesar de los esfuerzos de planeación y desarrollo de normas de la SENER, la CONUEE y la IEA (International Energy Agency) entre otros. Parte de esto se debe a la poca o nula adopción de estas normas por parte de los gobiernos locales y municipales para la inclusión de las mismas en sus códigos y reglamentos.

Durante el 2014, en un esfuerzo en conjunto, la CONUEE (Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía) y la CASEDI (Calidad y Sustentabilidad en la Edificación) publicaron el primer reglamento de eficiencia energética para edificios comerciales a nivel nacional, el *Código de Conservación de Energía para las Edificaciones en México o IECC- México*. Este código se realizó basándose en la metodología del International Code Council de Estados Unidos y su objetivo era la integración de las diferentes normas de eficiencia energética. Sin embargo, al igual que las NOM y NMX de eficiencia energética, este reglamento tampoco ha sido adoptado por los gobiernos locales o estatales del país.

Las medidas que nuestras normas oficiales mexicanas cubren son las siguientes; envolvente (tanto para edificios residenciales como no residenciales con las NOM-008-ENER-2001y NOM 020-ENER-2011) e Iluminación (NOM-007-ENER-2014). Estas NOM anteriormente

mencionadas son tres de 32 normas oficiales mexicanas existentes en materia de eficiencia energética.

Los esfuerzos que se han hecho por generar normas y códigos, aunque magros, han surgido de los acuerdos internacionales que ha firmado el país como el protocolo de Kioto⁵ y el acuerdo de París⁶, entre otros, así como metas nacionales. En la Estrategia de Transición se establece que el 2016 al 2030 México tendrá una tasa de reducción de Intensidad Energética⁷ del 1.9% anual y del 3.7% del 2031 al 2050.

Si se pretende cumplir con las metas tanto internacionales como nacionales que tiene México, es de gran importancia el voltear la mirada al cuello de botella que inadvertidamente se genera cuando los gobiernos locales y estatales no adoptan las normas y códigos existentes de eficiencia energética. Ya que no hay manera más viable, en cuanto a costo, que generar ciudades más eficientes energéticamente que la de partir de la obligación legal por medio de los reglamentos de construcción locales y desde la fase de proyecto tanto de edificios nuevos, como de edificios que sufren remodelaciones importantes.

A continuación se describe en la Tabla 6 cómo se desarrollan los roles de los stakeholders en el proceso de certificación para el cumplimiento de las NOM ENER 007 y NOM ENER 008.

Rol del Stakeholder	Etapas de diseño	Etapas de construcción	Revisión previa a la ocupación
Gobierno federal	Aprobación y revisiones de permisos.	Visitas aleatorias para requisitar certificados de las unidades verificadoras	Ninguno

⁵ Protocolo de Kioto: Protocolo de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), y acuerdo internacional que tiene por objetivo reducir las emisiones de seis gases de efecto invernadero que causan el calentamiento global.

⁶ Acuerdo de París: Este Acuerdo es un instrumento de alcance mundial para enfrentar de manera global el cambio climático, el cual busca que por lo menos 195 países reorienten su desarrollo hacia un mundo más sostenible, con menores emisiones y con capacidad de adaptarse a un clima más extremo.

⁷ Intensidad Energética: Es la medida de la eficiencia o ineficiencia energética de una economía. Es el número de unidades de energía consumida para generar un punto de Producto Interno Bruto. Intensidades energéticas altas significan un alto costo energético para producir una unidad de PIB. Intensidades bajas indican un costo energético bajo para generar un punto de PIB.

Gobierno estatal/provincial	Requiere pruebas de cumplimiento	Ninguno	Ninguno
Involucramiento del Sector Privado o Terceros	Las unidades verificadoras revisan diseño.	Las unidades verificadoras revisan que lo que este en diseño exista en la construcción	Ninguno

Tabla 6. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de "México – Building Code implementation – Country summary." por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de <http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/mexico>

De acuerdo con el INEGI, en México existen 2,457 municipios y delegaciones, así como 32 estados, de éstos al 01 de enero de 2022 únicamente **5 estados (Baja California Sur, Coahuila, Tamaulipas, Zacatecas y la CDMX) y 77 municipios contaban con la adopción de la NOM-008-ENER-2001 y 58 de los municipios contaba con adopción de la NOM-020-ENER-2011.**

han adoptado normas oficiales mexicanas de eficiencia energética en reglamentos de construcción. el país tiene 32 entidades federativas y 2,457 municipios. De los cuales,

Como software para cálculo o revisión de cumplimiento tenemos únicamente las herramientas informáticas generadas por la CONUEE para la NOM-008-ENER-2001 y la NOM-007-ENER-2014, aunque su uso no es obligatorio.

La capacitación y la educación con respecto a la eficiencia energética ha corrido a manos de instituciones del sector privado y de la CONUEE, esta última impartiendo diplomados, con sus empleados como entrenadores. Durante el 2012, la *Asociación de empresas para el ahorro de la energía en la edificación* y la *Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción*, otorgaron cursos sobre cómo realizar la metodología de cálculo para la NOM-020-ENER-2012. Sin embargo, estos esfuerzos no han sido llevados de una manera constante.

En el caso de las sanciones, el incumplimiento de cualquier NOM es castigable por la *Ley de metrología y estandarización*, en el caso de las NOM-ENER es la CONUEE quien estaría encargada de sancionar los incumplimientos de las NOM de eficiencia energética, pero la institución ha optado por no llevar a cabo las sanciones, llevando una postura conciliadora y de

apoyo a los desarrolladores y constructores para que estos cumplan las NOM-ENER tanto en construcciones residenciales como no residenciales. Eso deja al país en una situación donde **no tenemos ni sanciones por incumplimiento, ni incentivos para cumplir o ir más allá de los requerimientos mínimos de las normas.** (IPEEC, 2014)

Del año 2011 al 2014 únicamente se han certificado 161 edificios bajo la NOM-020-ENER-2012, 216 bajo la NOM-008-ENER-2001 y 2786 edificios bajo la NOM-007-ENER-2014. Es evidente la diferencia en cantidad de edificios certificados bajo la NOM-007-ENER-2014 y los certificados bajo las otras dos NOMs citadas. Esto se debe a que la CFE requiere el cumplimiento de la NOM-007-ENER-2014 para la provisión del servicio y eso ha obligado a desarrolladores y constructores a cumplir con esta NOM. (IPEEC, 2014)

En cuanto a certificaciones de materiales de construcción, algunos de estos están cubiertos también por diferentes NOM-ENER. A continuación, se citan algunas de las más relevantes:

-NOM-018-ENER-2011: Establece los requerimientos mínimos de aislamiento térmico en materiales.

-NOM-024-ENER-2013: Establece los requerimientos mínimos de óptica y aislamiento térmico en ventanas y sistemas de ventana para edificios. Esta NOM no ha podido implementarse ya que no ha podido ser implementada ya que no hay presupuesto para armar un laboratorio de pruebas certificado y acreditado para tal fin.

- NOM-011-ENER-2006: Trata sobre la proporción de eficiencia energética de sistemas centrales de aire acondicionado.

- NOM-023-ENER-2010: Mismo caso que la anterior, pero sobre sistemas tipo *Split* de aire acondicionado.

- NOM-017-ENER/SCFI-2012, NOM-028-ENER-2010, NOM-030-ENER-2012: Establecen los mínimos de eficacia lumínica (lm/W).

Hay dos NOM-ENER que hacen las veces de certificado de desempeño energético: NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2012.

El objetivo de este documento de investigación es el identificar las barreras que enfrentan la adopción y la implementación de normas o códigos de eficiencia energética por los gobiernos locales y proponer soluciones que faciliten su integración en los reglamentos de construcción.

1.6 Relevancia del tema.

Las reservas petroleras totales del país en la última década han descendido un 40%. De acuerdo con la Comisión Nacional de Hidrocarburos dichas reservas de petróleo ascienden a 25,500 millones de barriles, las cuales durarán 8.5 años. (Comisión Nacional de Hidrocarburos, 2018). Aunado a esto, nuestra producción de energía primaria se divide en: 62.6% petróleo, 23.1% gas natural, 8.4% Renovables, 3.3% carbón, 1.4% nuclear y 1.1% condensados. (SENER, 2016).

Nuestra producción de energía secundaria relevante para el sector residencial y comercial es la que se genera en plantas de gas y fraccionadoras con el 33.92% y la energía eléctrica con un 23.70% (SENER, 2016). Dentro de la generación de energía eléctrica, tenemos que el 70.5% de esta corresponde a centrales eléctricas térmicas convencionales (las cuales operan con combustibles fósiles) y 29.5% a centrales eléctricas con tecnologías limpias (SENER, 2018-2032).

Estos datos pintan un panorama claro de fuerte dependencia energética y económica a un recurso que es cada vez más escaso y costoso. Esto a la larga desembocaría en una pérdida de independencia o seguridad energética para México. Donde la energía necesaria para producir una unidad de Producto Interno Bruto se volvería cada vez más cara al tenerse que importar una mayor cantidad de la misma para poder satisfacer la demanda nacional.

Este incremento en los costos de la producción nacional también lo sentirían los consumidores finales de energía secundaria, en la forma de incrementos monetarios en los recibos de energía eléctrica, mayores incrementos del precio del gas licuado de petróleo usado en viviendas y establecimientos comerciales para el calentado de alimentos, agua y espacios, así como el incremento de los costos en el sector del transporte y la industria que son aún más dependientes de combustibles fósiles que el sector residencial comercial y público.

Todo este incremento de costos de operación, mantenimiento, producción y consumo eventualmente nos llevaría a un estado de vulnerabilidad energética. A partir de este estado de vulnerabilidad pueden ocurrir dos escenarios.

En el primero de estos, un escenario medio, es nos obligará a voltear a ver esta problemática con mayor seriedad, ya no por una capacidad gubernamental de planeación a futuro, si no por una situación de emergencia ante un alza de los precios. Obligándonos a que las NOMs existentes de eficiencia energética y posibles nuevas normas sean incluidas en las normatividades y reglamentos de construcción para reducir nuestros requerimientos de consumo de combustibles fósiles. Esto se haría de manera apresurada, sin el debido análisis previo en la creación de nuevas normas.

En el segundo y peor de los escenarios nos veríamos en una situación similar a la de Brasil en el año 2001, cuando ocurrió una importante crisis energética causada por el cambio climático, la pobre prevención y planeación de las crecientes necesidades de consumo energético del país, que superaban por casi el doble la capacidad de producción de energía secundaria. Brasil en esa época dependía en un 88% de las presas hidroeléctricas para su producción nacional de energía eléctrica, sin embargo, gracias al cambio climático el país ha estado enfrentando desde esas fechas un cambio importante en el flujo de agua de lluvia, afectando los niveles de dichas presas. Aunado a esto tenemos el hecho que la demanda energética de Brasil era mucho mayor que la capacidad de producción energética nacional.

La crisis fue avisada con antelación por diversas instituciones académicas del país sin que el gobierno tomara acción para mitigar o prevenir el problema. Se llegó al punto de recurrir al racionamiento de energía por ocho meses, reducir la productividad de las fábricas y disminuir la tasa de crecimiento del país por casi un punto porcentual. Las viviendas que no cumplían con los objetivos de disminución de consumo energético se les cortaba el suministro por seis meses, los hospitales no estaban preparados para los cortes energéticos ya que menos de la mitad tenían generadores eléctricos en sus instalaciones, Aún frente a dicha problemática el gobierno de Brasil no realizó una adopción de normatividad de eficiencia energética en sus políticas públicas, lo cual los ha dejado vulnerables a nuevas crisis energéticas en el corto plazo.

Esta problemática es relevante para el quehacer urbano-arquitectónico ya que, como se vio en el caso de Brasil en el 2001, el impacto de una crisis energética se ve también reflejado en las ciudades, los edificios de todos los sectores e incluso en los ciudadanos de a pie. No es algo de lo que seamos ajenos y solo afecte a los gobiernos locales o nacionales.

Esta afectación se debe a que el incremento del consumo energético global está fuertemente ligado al crecimiento de las ciudades, a la forma en la que estas crecen, su morfología y a los elementos construidos que la componen. Actualmente la forma en la que se concibe el diseño urbano no toma en cuenta la eficiencia energética para la planeación urbana. Misma que resulta fundamental para determinar la eficiencia energética de las ciudades y sus emisiones de Gases de Efecto Invernadero a la atmosfera. El crecimiento poblacional, el gran incremento en las tasas de urbanización y el cambio climático presionan a los actores de la planeación urbana a nivel mundial a hacer un diseño urbano que tome en cuenta la gran necesidad de atacar los problemas de la urbanización también desde una óptica de ahorro energético.

De acuerdo con las Naciones Unidas, para el 2050 dos tercios de la población mundial vivirá en las ciudades, sin embargo, las ciudades como centros de consumo energético y de emisión de GEI actualmente ya representan dos tercios del total mundial de esos rubros.

El impacto de una crisis energética en las ciudades podría hacerse notar en la reducción del alumbrado público, interrupciones en el suministro de energía eléctrica en determinadas zonas y horarios en el territorio nacional, reducciones de horas de productividad en las fábricas y las oficinas, encarecimiento de las gasolinas de manera sostenida, encarecimiento de la distribución de alimentos y consumibles, encarecimiento sostenido de gas licuado de petróleo para el calentado de alimentos, agua y espacios en las viviendas, edificios comerciales y públicos, inutilización de hospitales que no cuenten con generadores etc...

Hacer una adecuada planeación urbana que tome en cuenta el ahorro energético para satisfacer las demandas de las ciudades en crecimiento es urgente ya que estamos en vías de caer de manera gradual en una crisis energética similar a la de Brasil gracias a nuestra fuerte dependencia hacia las fuentes fósiles de energía.

En el caso de los edificios en particular, el aprovechamiento de normas de eficiencia energética es mucho más sencillo y concreto en ellos que en las ciudades. Ya que estos tienen interesados, usuarios, operarios, límites y sistemas delimitados y bien ubicados. Lo que facilita la determinación de las tareas a realizar para conseguir cumplir con los estándares de ahorro energético. Algo que no ocurre con las ciudades ya que sus delimitantes, problemáticas y participantes no están del todo bien definidos y estos obedecen a diferentes grupos de interés. Lo cual genera un problema mucho más complejo por resolver, pero no imposible.

1.7 Beneficios de la adopción de normas de eficiencia energética en reglamentos de construcción.

Los beneficios de la adopción de normas y estándares de eficiencia energética en reglamentos de construcción a nivel mundial se miden no solamente por la reducción de la demanda energética y emisiones de GEI, ya que hay muchos otros impactos positivos de su implementación que quedarían sin considerarse si solo se tomaran en cuenta los parámetros antes mencionados. La perspectiva desde donde se analizan los beneficios de la adopción de eficiencia energética es la de los “beneficios múltiples”. Esto quiere decir beneficios en diferentes aspectos como el económico, social, de salud etc...

Bajo esta óptica también se pueden analizar los estímulos generados al desarrollo económico, social y de sustentabilidad ambiental. De igual esta visión permite a cada país o localidad dar prioridad a diferentes tipos de beneficios dependiendo de sus necesidades y contexto económico, político y social.

Estos beneficios múltiples se dividen en cinco áreas: Desarrollo Macroeconómico, presupuesto público, salud y bienestar, productividad industrial y distribución energética. (International Energy Agency, 2014)

Beneficios Macroeconómicos

Este tipo de beneficios se enfocan en los incrementos generados directamente al Producto Interno Bruto y al empleo. Así como de manera indirecta en la disminución del gasto público en energéticos, inversiones económicas apostando a la eficiencia energética y una liberación de gastos económico por parte del consumidor.

En el caso particular de economías en desarrollo como la de México tenemos otro grupo de beneficios que nos impactan de manera más importante. Estos son: Acceso, crecimiento y desarrollo, asequibilidad, contaminación local y mitigación al cambio climático. (International Energy Agency, 2014)

Acceso significa hacer llegar energía a un mayor número de personas con la infraestructura existente o en expansión.

El área de crecimiento y desarrollo hace referencia a los beneficios de la eficiencia energética sobre el ámbito económico de los países en vías de desarrollo, ejemplos de esto son: El incremento de la productividad industrial, la reducción de la dependencia energética del país al requerir importar menos combustibles fósiles, reduciendo así los efectos de la volatilidad del precio y volumen de estos energéticos en la economía del país.

La asequibilidad es un área que engloba los impactos positivos sobre los precios de los servicios de iluminación, enfriamiento y calefacción. Esto se ve reflejado en la disminución de las unidades de medida del servicio, como el Kilowatt/hora en el caso de la energía eléctrica.

Contaminación local hace referencia a la disminución de contaminantes generados por la producción local de energía. Esto se debe a que, a menor demanda energética, menor producción y esto resulta en una menor cantidad de contaminantes liberados en la localidad.

Mitigación al cambio climático en un área de impactos benéficos que permite le al país en desarrollo un crecimiento económico con una limitada emisión de carbono. Estos particularmente benéfico si se conjunta con la puesta en marcha de energías renovables. (International Energy Agency, 2014)

En otras palabras, si los gobiernos locales y estatales mexicanos empezaran a llevar a cabo la adopción de las normas oficiales mexicanas de eficiencia energética, podríamos generar no solamente un ahorro económico substancial para el usuario final y dichos gobiernos, si no que crearíamos un menor consumo en el sector residencial y comercial lo cual repercute en que requeriríamos quemar menos combustible fósil, menos generación de gas y energía eléctrica, menos importación de energéticos para cumplir la demanda, menos emisiones de CO₂, y menos contaminantes.

Dependiendo de la estructura, diseño y escala de las políticas implementadas la eficiencia energética puede brindar beneficios a la economía de manera directa e indirecta, como pueden ser la generación de empleos, crecimiento económico de entre 0.25% a 1.1% por año.

Lo cual nos acerca más a un estado de seguridad energética para el país.

Beneficios al presupuesto público

El presupuesto o gasto público es el documento que define a nivel nacional, estatal o local cuales van a ser los ingresos y gastos gubernamentales en un periodo de tiempo definido, puede ser de un año o más.

La aplicación de normativas de eficiencia energética en el sector público, en este caso en sus edificios, infraestructura y equipos tiene la capacidad de generar de manera rápida una serie de ahorros en costos energéticos.

Un impacto importante en los presupuestos públicos son los costos reducidos de calefacción, enfriamiento e iluminación en los edificios gubernamentales. Estos gastos de mantenimiento y operación se estiman irán al alza al igual que el precio de los energéticos en el futuro del país.

De la misma manera, las demandas reducidas de energía crean ahorros a largo plazo en los gobiernos que subsidian los costos de producción y consumo de energía, como es el caso de México. Otro ejemplo sería como en Europa, las iniciativas de eficiencia energética

implementadas en el viejo continente generar un ahorro estimado de 30 billones de euros en el presupuesto público europeo.

Del consumo final total de energía el sector residencial, comercial y público, el cual es el sector que más le compete de manera más directa al quehacer constructivo, consume un 18.1%. (SENER, 2016).

La inclusión de normativa de eficiencia energética en reglamentos de construcción para reducir el impacto energético del sector es primordial para allanar el camino hacia la seguridad energética del país.

Beneficios de Salud y Bienestar.

La adaptación de edificios existentes con aislamiento térmico a través de programas de aislamiento térmico, crea condiciones que ayudan a la mejora de las condiciones de salud de grupos vulnerables como niños, ancianos y población con condiciones pre-existentes. Los potenciales beneficios se ven reflejados en una reducción de síntomas de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, reumatismo, artritis, alergias, estrés crónico y depresión. Esta baja de síntomas a su vez genera impactos sociales y económicos como una baja en el gasto de la salud pública.

En el caso de la Unión Europea, el atacar la calidad interior del aire a través de la eficiencia energética ha significado un ahorro de 190 billones de euros anuales (International Energy Agency, 2014)

Beneficios de distribución energética.

En el caso de este segmento de beneficios, estos aplican directamente para las empresas o instituciones que generan la energía secundaria a ser consumida por los usuarios finales.

La eficiencia energética genera un cambio de paradigma en la concepción del negocio de la producción de energía. Ya no solo se trata de vender un número cada vez mayor de unidades de energía. Se trata de ahorrar dinero al no necesitar invertir en generar, transmitir y distribuir de la misma manera que si no se hiciera uso de la eficiencia energética.

Si hay una venta menor de unidades de energía, pero se compensan contra el ahorro en cuanto a los costos de generación y operación de dichas empresas o instituciones gubernamentales.

Esto a su vez favorece a los consumidores finales de energía ya que la eficiencia energética tiene el efecto de bajar los precios en los consumos. Dichos precios reducidos también tienen un efecto por extensión en los costos de mantenimiento de los edificios beneficiados.

Tal es la magnitud de los beneficios a obtener por la adopción de normas, reglamentos y estándares de eficiencia energética en el sector de la construcción y otros que la eficiencia energética ha pasado a ser considerada una mera herramienta de disminución del gasto a ser considerada como una fuente primaria de energía, un “First fuel”.

En la Illustration 1 se ilustra de manera general muchos de los beneficios o *co-beneficios* que la eficiencia energética genera.

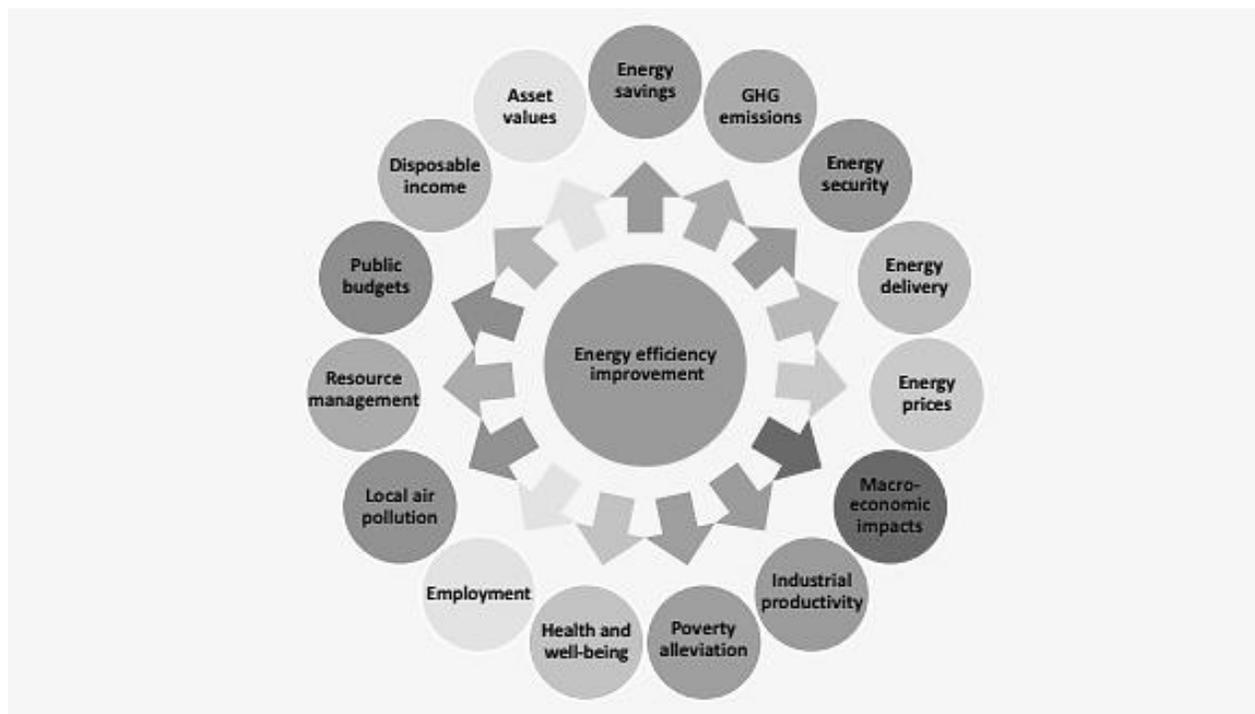


Illustration 1. A multiple benefits approach to energy efficiency. IEA (2014). Obtenida de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Multiple_Benefits_of_Energy_Efficiency.pdf

II. Eficiencia energética en la construcción mexicana.

Como se ha visto con anterioridad en este documento de investigación, si ha habido avances en materia de eficiencia energética, aun si estos son incipientes.

Contamos con diversas normativas, estándares y códigos en la materia y aún si estos no son aplicados por los gobiernos estatales estos esfuerzos se han realizado ya que es de interés nacional un mayor crecimiento económico a un menor costo energético. También es de interés público generar ciudades más resilientes ante diversas problemáticas súbitas, ya sean estas de precios o suministro de energéticos, por el cambio climático o crisis económicas.

A continuación, se presentarán los datos de consumo nacional energético para el sector de la construcción comercial y residencial.

2.1 Datos de consumo energético nacional y en el sector comercial y residencial.

En 2020, el índice de independencia energética, que muestra la relación entre la producción y el consumo nacional de energía, fue equivalente a 0.87; este resultado implica que la cantidad de energía producida en el país fue 13% menor que la que se puso a disposición en las diversas actividades de consumo durante 2020 en el territorio nacional. En el transcurso del 2003 al 2018, este indicador disminuyó a una tasa promedio anual de 3.5%, desde el 2018 al 2020 ha habido un incremento del 7.7% anual, sin embargo, hay que tomar en cuenta el impacto que causó el confinamiento a causa de la pandemia ya que hubo una disminución del consumo de energía equivalente al 11.17% respecto al 2019. (SENER, 2020)

El consumo de energía per cápita en 2020 fue 11.95% menor que el de 2019, debido al confinamiento. Cada habitante en el territorio nacional consumió, en promedio, 61.58 Gigajoules⁸ durante todo el año. La intensidad energética, tuvo un decremento del 3.09% respecto del 2019, y decrementó también el PIB, bajando un 8.31% (SENER, 2020) .Durante el

⁸ Gigajoule: Unidad de medida de energía. 1 Gigajoule GJ= 1,000,000,000.00 Joules, o 10⁹ joules. Un barril de petróleo equivale a 6 GJ.

año 2020 la producción de energía primaria aumentó un 7.14%, respecto al año 2019 y totalizó 6,784.70 PJ⁹. (SENER, 2020)

Por lo mismo de la pandemia y su confinamiento las gasolinas y naftas disminuyeron sus importaciones 38.45%, pasando de 1,128.09 PJ en 2019 a 694.31 PJ en 2020.

En el caso del gas licuado las importaciones aumentaron 21.13% con respecto a 2019 y provinieron principalmente de Estados Unidos. Las exportaciones disminuyeron de 1.40 PJ en 2019 a 1.21 PJ en 2020, 13.21% menos que lo registrado en 2019. (SENER, 2020)

El único petrolífero superavitario durante 2020 fue el combustóleo, con un saldo 242.66 PJ. El saldo neto tuvo un aumento del 271.17% respecto a 2019.

Un dato importante para este tema de investigación es que el **comercio de energía eléctrica para el año 2020, mostró un saldo negativo de 14.44 PJ. Es decir, que no se produce suficiente energía eléctrica para cubrir la demanda y se tiene que recurrir a la importación de la misma.** (SENER, 2020)

Indicadores Nacionales de consumo energético.

Como se ve en la Ilustración 2, en el transcurso de 2020, el consumo de energía superó solo por 15.36% a la producción de energía primaria¹⁰. Esto se debe a que durante el 2020 hubo una disminución del consumo de energía equivalente al 11.17% respecto al 2019, y también hubo un aumento en la producción de energía del 7.14% respecto al año anterior. (SENER, 2020)

⁹ PT (Peta joules), una peta joule es también una unidad de medida de energía 1 petajoule = 10¹⁵ joules.

¹⁰ Energía primaria: Es la energía que está disponible en la naturaleza antes de ser transformada o convertida. Ejemplos de esta son los crudos de petróleo, la leña, el carbón, el gas, ente otros. Esta puede también ser clasificados en energía primaria de origen fósil y energía primaria de origen renovable.



Ilustración 2. Gráfica de producción energética nacional vs el consumo energético nacional, del Balance Energético Nacional 2020 (SENER, 2020)

México presentó un índice de **independencia energética equivalente a 0.87**, esto significa que se produjo 13% menos energía de la que se puso a disposición para las diversas actividades de consumo dentro del territorio nacional (SENER, 2020). La tendencia de este indicador en los últimos años ha sido a la baja, como se puede apreciar en la **Ilustración 3**, sin embargo en 2020 se puede apreciar incremento significativo en el índice. Esto, como se ha mencionado anteriormente se debe a que el 2020 fue un año atípico donde se presentó la pandemia por COVID-19 y esto obligó a la población a mantenerse en confinamiento, disminuyendo el consumo energético en diversos sectores como el industrial o el de servicios.

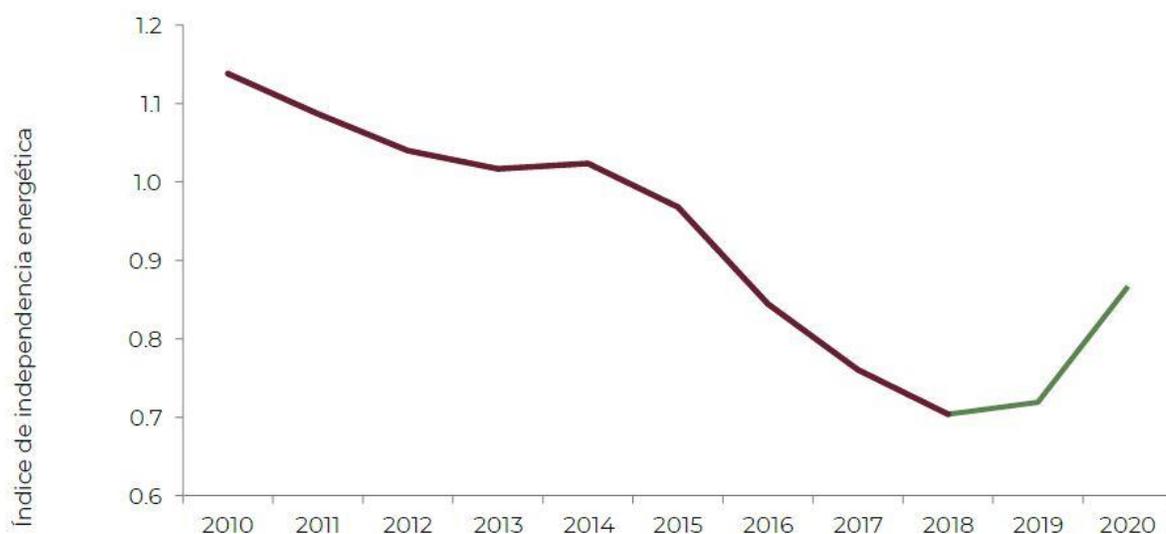


Ilustración 3. Gráfica de tendencia del índice de independencia energética, del Balance Energético Nacional 2020.

La intensidad energética, la cantidad de energía requerida para producir un peso de Producto Interno Bruto, en México tuvo un decremento de 3.09 % respecto al 2019 en este indicador, alcanzando los 461.71 kJ/\$, igualmente por el decremento en el consumo energético del año. Esto significa que durante 2020 México ha requerido menores cantidades de energía para generar un peso de PIB¹¹. (SENER, 2020)

Como podemos ver en los datos, el país desde hace más de diez años tiene una tendencia a la baja en su independencia energética, una tendencia de diez años a la baja en cuanto a producción energética nacional y un incremento en la cantidad de energía requerida para producir un peso de PIB. Sin embargo, durante el 2019 se rompió dicha tendencia y por el confinamiento debido a la pandemia este índice de intensidad energética ha disminuido. Se verá en la información del 2021 si esta tendencia efectivamente se revirtió o si se mantiene.

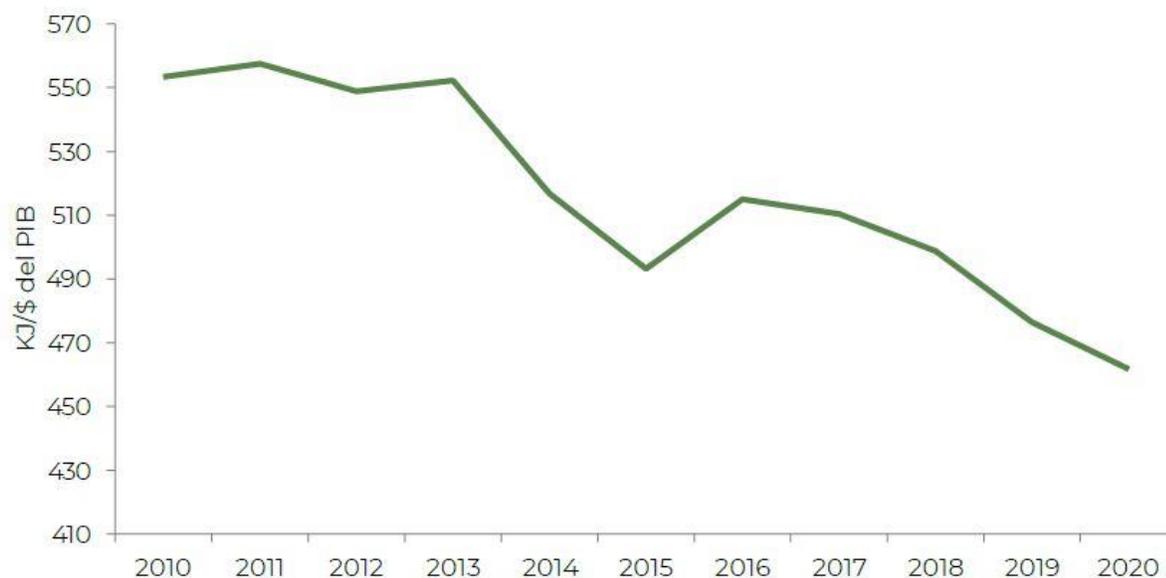


Ilustración 4. Gráfica de tendencia del índice de intensidad energética, del Balance Energético Nacional 2020

¹¹ Producto Interno Bruto: Es una magnitud macroeconómica que expresa el valor monetario de la producción de bienes y servicios de un país o región dentro de un periodo determinado.

Producción de energía primaria.

En cuanto a la producción de energía primaria en el país, se tienen los siguientes datos:

La producción de energía aumentó 7.14%, lo que equivale a 6,784.70 PJ producidos durante 2020. Los **hidrocarburos representan el 84.06% de toda la producción nacional.**

De 2012 a 2020, la producción de hidrocarburos disminuyó 29.02%, pasando de 8,035.66 PJ en 2012 a 5,703.46 PJ en 2020; afectando drásticamente a la disponibilidad de energía a la que nuestro país tiene acceso, y como consecuencia provocó un crecimiento de las importaciones elevando los niveles de dependencia energética del país.

La producción de **hidroenergía aumentó 14.12%**; representando el 1.43% del total de la producción energética nacional de 2020.

El aumento de **Centrales Eléctricas fotovoltaicas** permitió que la producción de energía a través de este recurso se incrementara 25.87% respecto al año anterior. (SENER, 2020)

La producción de energía nuclear aumentó 0.64%, pasando de 124.82 PJ en 2019 a 125.62 PJ en el 2020.

En 2020 la producción de geo energía se redujo 0.60% respecto a 2019, al alcanzar 112.21 PJ.

La **energía eólica¹² registró un crecimiento anual de 17.79%, alcanzando 70.93 PJ.** (SENER, 2020)

Los bioenergéticos; la producción de biogás mostró un decremento de 9.63%, lo que se tradujo en 2.53 PJ, mientras que la biomasa, que se integra por el bagazo de caña y leña, pasó de 361.17 PJ en 2019 a 429.94PJ en 2020, 19.04% por arriba del año anterior.

¹² Energía eólica: Energía obtenida del viento como fuente primaria. Es una fuente muy usada para a producción de energía eléctrica.

Producción de energía secundaria.

Como producción eléctrica secundaria tenemos, al igual que en la producción primaria, ciertas producciones a la baja.

La **producción bruta de energía secundaria** obtenida de los centros de transformación se integró por 3,517.03 PJ, cifra 5.00% menor que la de 2019. Esto se debe a que en 2020 hubo una menor demanda energética en los sectores; transporte, industrial y agropecuario, que se vio compensado en parte, por el aumento en el consumo residencial, a causa de la pandemia. (SENER, 2020)

En las refinerías y despuntadoras se observó una producción energética del 3.35% mayor que en 2019, siendo el combustóleo el que tuvo mayor presencia con 33.49% seguido de gasolinas y naftas con el 28.71%.

El combustóleo y las gasolinas fueron los productos más representativos del total de la producción con una participación del 11.87% y 10.17%, respectivamente. Mientras que el Diésel tuvo una producción mayor del 0.27% con la del año anterior.

Las plantas de gas y fraccionadoras este año disminuyeron su producción en 12.24%. El principal producto en estos centros de transformación es el gas seco el cual representó el 72.70% de su energía entregada, seguido del gas licuado con 13.39% y gasolinas y naftas con 7.35%.

La producción de energía eléctrica bruta fue de 1,172.62 PJ que representa una disminución de 5.47%, respecto a lo observado durante 2019, esta disminución en el consumo se debe a la contingencia provocada por el virus COVID-19 la cual, bajo la demanda de los sectores industrial, servicios etc...

Consumo final de energía.

En cuanto al consumo final energético, el sector **transporte representó el 38.87%** del consumo, el cual decreció con respecto al año anterior debido al confinamiento, **el sector**

industrial representó el 32.35%, y el consumo en los sectores residencial, comercial y público creció llegando a representar el 24.54% del consumo final energético.

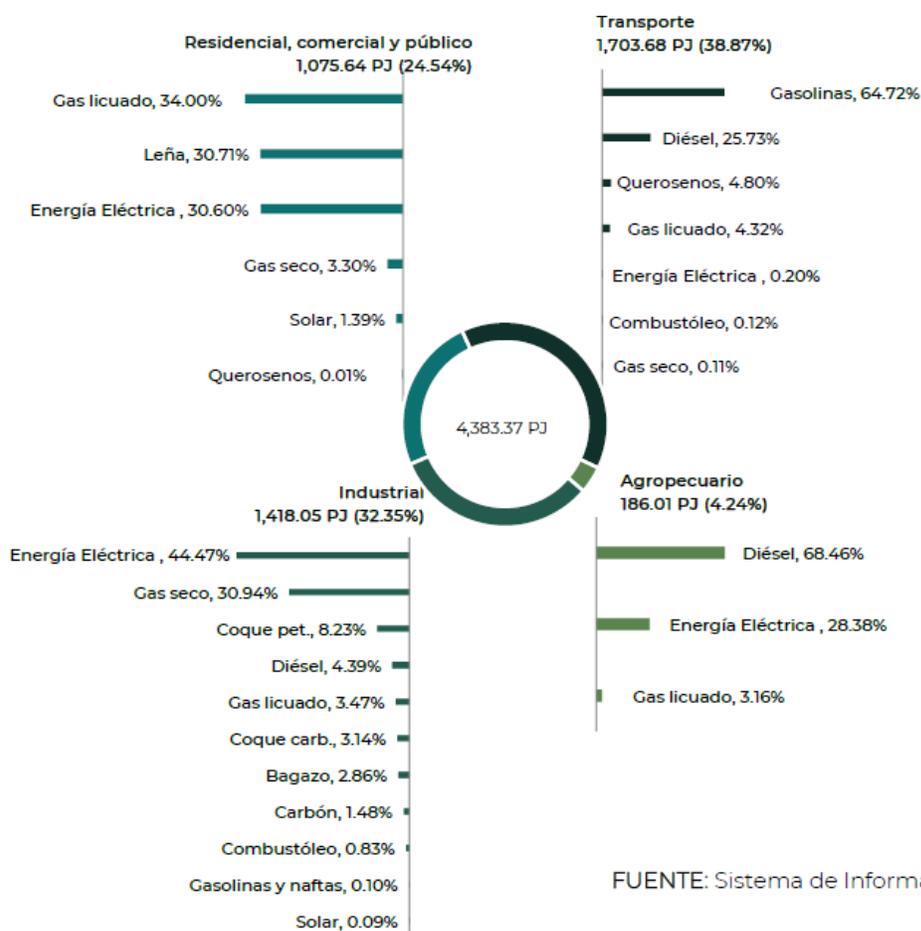


Ilustración 5. Consumo final energético por sector y energético. Balance Nacional de Energía 2020.

El consumo de energía en el sector residencial durante 2020 aumentó 22.16% respecto a 2019, sumando 914.88 PJ. El consumo de energía en el sector comercial disminuyó 14.82 % respecto a 2019, debido a que como medida de mitigación se mantuvieron cerrados múltiples comercios.

El consumo del sector público, el cual considera la energía eléctrica utilizada en el alumbrado público, bombeo de agua potable y aguas negras, como único recurso energético, disminuyó 53.40% con respecto al año anterior. (SENER, 2020)

2.2 Programas existentes de eficiencia energética.

Si bien México no tiene un avance comparable países avanzados en la materia de eficiencia energética en políticas públicas en Europa o Asia, no se está partiendo de cero. Existen diferentes programas de eficiencia energética en México. Unos orientados al transporte, otros a la generación de energía y los que son de interés para esta tesis; los programas orientados a la eficiencia energética en edificios.

En cuanto a legislación en la materia tenemos las siguientes leyes y reglamentos.

Reforma constitucional en materia energética.

Reforma constitucional que entró en rigor el 20 de diciembre de 2013. Esta reforma se llevó a cabo debido a la situación petrolera nacional. Como se ha mencionado con anterioridad en este documento de investigación, el sector petrolero mexicano no ha dado indicios de recuperación. Se ha pasado de producir 3.4 millones de barriles de petróleo en 2004 a 2.5 millones en 2013 que se aprobó la reforma. Con la declinación de la extracción del yacimiento Cantarell se terminó el petróleo de fácil acceso. México aún cuenta con yacimientos en cuencas de lutitas¹³ y aguas profundas pero por falta de recursos financieros, técnicos y de ejecución no es posible extraerlos a un precio competitivo. Siendo el marco constitucional el principal obstáculo en el desarrollo del potencial energético del país.

Actualmente México importa el 29% del gas natural que consume e importa igualmente un 50% de las gasolinas consumidas. Esto se debe a que debido a las carencias en infraestructura y finanzas PEMEX concentró sus esfuerzos en la producción de petróleo y no en la refinación ni la extracción de gas.

Aunado a esto, la reforma energética abre la puerta a la producción de energías renovables y limpias. México cuenta con un potencial importante para la producción de energía

¹³ Lutita: Es una roca sedimentaria compuesta por partículas de tamaño similar a las arcillas y limos.

eólica y solar el cual puede ser aprovechado de mejor manera gracias al impulso que esta ley le da a las energías renovables en comparación con la legislación anterior.

Ley de transición energética.

Esta ley, publicada el 20 de diciembre de 2013, obliga a la industria del país a usar un mínimo de 35% de energías limpias. Esta es una ley derivada de la reforma energética, publicada igualmente el 20 de diciembre de 2013.

Regula el aprovechamiento sustentable de la energía, las energías limpias y la reducción de contaminación en la generación de electricidad. Por medio de esta ley se establecen medidas y políticas para impulsar el aprovechamiento energético de recursos renovables, para en causarse así a la sustitución de los energéticos de origen fósil.

Su objetivo es la regulación del aprovechamiento sustentable de la energía, establecer las obligaciones en materia de energías limpias y la reducción de contaminantes en la industria eléctrica. Esta ley cubre; metas y obligaciones, responsabilidades de las autoridades correspondientes, instrumentos de planeación, financiamiento e inversión, certificados de energías limpias, investigación científica, innovación, desarrollo tecnológico e industrial, información energética, transparencia, vigilancia y sanciones.

Esta ley tiene tres instrumentos de planeación; la **Estrategia de Transición** para Promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios, el **Programa Especial de la Transición Energética (PETE)** y el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (**PRONASE**).

Estrategia de transición para promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios.

Dicha estrategia, como se mencionó anteriormente, es parte de la Ley de transición energética y tiene por objetivo ser el instrumento rector de la política pública nacional en materia de energías limpias, aprovechamiento sustentable de la energía y la mejora en la productividad energética. Esta cuenta con dos horizontes de acción, uno a 15 años de su publicación y otro a 30 años.

Esta estrategia cuenta con nueve temas generales, cinco de ellos están dedicados a las energías limpias y cuatro al uso eficiente de la energía. Estos temas son; redes inteligentes y generación distribuida, energía eólica, hidrogenaría, ahorro de energía en transporte, **ahorro de energía en edificios**, energía solar, energía geotérmica, bioenergía y ahorro de energía en la industria.

Programa Especial de la Transición Energética (PETE).

El objetivo del Programa Especial de la Transición Energética es instrumentar las acciones establecidas en Estrategia de transición para promover el Uso de Tecnologías y Combustibles más Limpios

La Ley de Transición Energética establece que, de manera anual, la SENER deberá publicar un Programa para la Transición Energética (PETE) con sus objetivos, estrategias, metas e indicadores. El PETE se conforma por 4 objetivos, 18 Estrategias, 80 Líneas de acción y 10 indicadores.

Programa Especial de la Transición Energética (PRONASE).

El PRONASE es un Programa Especial en términos de la Ley de Planeación, está vinculado al Plan Nacional de Desarrollo y es congruente con el Programa Sectorial de Energía, la Estrategia Nacional de Energía 2013-2027 y el Plan Anual de Trabajo de la CONUEE.

La Ley Orgánica de la Administración Pública Federal nombra a la Secretaría de Energía (SENER) como la responsable de establecer, conducir y supervisar la política energética nacional con vistas al ahorro energético y la protección del medio ambiente.

El artículo 7 del Reglamento de la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (RLASE) señala que la SENER por conducto de la CONUEE elaborará el PRONASE en un plazo no mayor a seis meses contados a partir de la publicación del Programa Sectorial de Energía (PROSENER) en el Diario Oficial de la Nación.

El PRONASE es un documento rector del aprovechamiento sustentable de la energía en México y es de observancia obligatoria para la SENER y las entidades paraestatales coordinadas por la misma; las demás dependencias y entidades de la Administración Pública Federal se

sujetarán a sus disposiciones cuando dicho programa incida en el ámbito de sus respectivas competencias.

Este documento consta de seis objetivos, 18 estrategias y 66 líneas de acción, que permiten alcanzar la optimización de la energía en los procesos y actividades de explotación, producción, transformación, distribución y consumo. También tiene 6 rubros que impulsan la eficiencia energética en el país; Programas de eficiencia energética, Regulación de la eficiencia energética, Mecanismos de cooperación, Capacidades institucionales, Cultura del ahorro de la energía, Investigación y desarrollo tecnológico.

Programa Especial de Aprovechamiento de Energías Renovables.

Es el documento que establece las metas de participación que México asume para el periodo vigente en lo que respecta a las energías renovables y su contexto. Se compone de 5 objetivos, 2 estrategias y 114 líneas de acción.

Los cinco objetivos establecidos por este programa especial de aprovechamiento de energías renovables; Aumentar la capacidad instalada y la generación de electricidad a partir de fuentes renovables de energía; Incrementar la inversión pública y privada en la generación, así como en la construcción y ampliación de la infraestructura para su interconexión; Incrementar la participación de biocombustibles en la matriz energética nacional; Impulsar el desarrollo tecnológico, de talento y de cadenas de valor en energías renovables; Democratizar el acceso a las energías renovables mediante la electrificación rural, el aprovechamiento térmico y la participación social.

Programa de Eficiencia Energética de la Administración Pública Federal (APF)

Programa anual de trabajo basado de la impartición de cursos, talleres, conferencias y seminarios por parte de la CONUEE. El objetivo de este programa es hacer un uso eficiente de la energía en los inmuebles, flotillas vehiculares e instalaciones industriales de las Dependencias y Entidades de la Administración Pública Federal, esto mediante implementaciones de procesos de mejora continua de la eficiencia energética, introducción de mejores prácticas, uso de nuevas tecnologías y herramientas de control y seguimiento.

También establece los requerimientos de entrega de información por parte de las dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, sobre sus medidas implementadas, así como sus resultados económicos y energéticos obtenidos para ingresarlos al Sistema de Información de Transición Energética (SITE).

Excelencia en Eficiencia Energética en Edificios - E4

Es un proyecto piloto promovido por Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INEEC), la CONUEE, la Cooperación Alemana para el Desarrollo (GIZ) y la consultora de Proyectos Integrales de Ingeniería y Medio Ambiente (PIIMA).

Su objetivo principal es la evaluación de la eficiencia energética de edificios privados y sucursales bancarias en México, reconociendo a los edificios mejor calificados con una etiqueta la cual funciona como un catalizador del mercado inmobiliario, reduciendo costos operativos,

Basándose en la metodología *Energy Star*, el INEEC, la CONUEE y la GIZ se desarrollaron los algoritmos para calificar el desempeño energético de diversos edificios privados de oficinas. Para calificar dichos edificios se usó la técnica de comparación de edificios con características similares de clima y uso, asignándoseles una calificación de 0 a 100 puntos.

2.3 Normas Oficiales Mexicanas existentes de eficiencia energética.

En el caso de las Normas Oficiales Mexicanas, estas se han venido construyendo desde hace más de veinte años, consolidándose un sistema robusto de normalización.

La ley de Federal sobre Metrología y Normalización, publicada en 1992, establece que las NOM son de carácter obligatorio en todo el país y las NMX de carácter opcional o voluntario. Sin embargo, la aplicación de dichas normas en el sector de la construcción ha sido desarticulada e ineficiente a pesar de los esfuerzos de planeación y desarrollo de normas de la Secretaría de Energía (SENER), la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE), la IEA (International Energy Agency) entre otros.

La SENER, por medio de la CONUEE (CONAE antes del 2009), constituye en el año de 1993 el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los

Recursos Energéticos (CCNNPURRE), comité que elabora y expide las NOM-ENER y es una pieza clave en el sistema de normalización nacional en la materia de eficiencia energética.

CCNNPURRE - Integración y funcionamiento.

El Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos está integrado por diversos actores públicos, privados y sociales, mismos que representan el espectro de intereses relacionados con la normalización de la eficiencia energética; Industria, gobierno, academia y sociedad en general.

El CCNNPURRE se encarga de revisar y aprobar los proyectos de Normas Oficiales Mexicanas que presentan los equipos de trabajo, así como de acordar su envío al Diario Oficial de la Nación para su divulgación y consulta pública. Posteriormente se revisa y aprueba la respuesta de los grupos de trabajo a los comentarios que se generan en el periodo de consulta pública. Finalmente, la CCNNPURRE envía las NOM al DOF para su publicación.

Una vez publicada la NOM se inicia un proceso de integración de dos elementos que permiten la evaluación de conformidad de la norma; Los organismos de certificación y los laboratorios de prueba (en el caso de producto) o unidades de verificación (para normas de sistemas). Para que estos organismos puedan operar estos deben pasar ser aprobados por la CONUEE y la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

La clave de la calidad internacional del proceso de normalización de México es precisamente la EMA, ya que esta organización tiene que pasar por inspecciones y evaluaciones periódicas por sus pares internacionales, estas organizaciones dan fe que la EMA cumple con los estándares internacionales para llevar a cabo sus actividades.

Proceso de elaboración de las NOM.

Primeramente, las NOM ENER son especificaciones técnicas de aplicación obligatoria en el territorio nacional. Estas integran tecnología de última generación para asegurar un uso más eficiente de la energía en aparatos, equipos y/o sistemas que se fabriquen o comercialicen en territorio nacional.

Si bien, como se describió anteriormente, el proceso de creación de una norma conlleva una serie de etapas, procesos y debates antes de su publicación, pero estos se pueden agrupar en dos segmentos; Procesos de elaboración de Normas y procesos de aplicación o evaluación de las Normas.

Para la elaboración de las NOM hay que seguir tres principios básicos; La homogeneidad, el equilibrio y la cooperación.

Se requiere de un principio de **homogeneidad** porque una norma debe poder integrarse perfectamente con las normas ya existentes y con las que vendrán después o con las que se van a complementar.

La inclusión del principio del **equilibrio** es debido a que la normalización requiere un equilibrio entre las necesidades del progreso técnico, las posibilidades económicas y la idiosincrasia nacional. Estas requieren ser flexibles para poder funcionar.

La **cooperación** es necesaria ya que la naturaleza de la normalización es la colectividad, en la que deben participar todos los sectores interesados o afectados en debate franco que garantice el consenso nacional. En este proceso se consideran tres sectores principales; El productor o importador; el consumidor directo o indirecto; el interés general (como el de la academia, la investigación y empresas de consultoría.)

Las etapas de la creación de las normas son las siguientes:

- 1) Se determina el tema a normalizar. Puede ser propuesto por cualquiera de los sectores (fabricantes, consumidores etc...)
- 2) Se prepara, consensa y aprueba el anteproyecto en un grupo de trabajo (GT) y se elabora el Manifiesto de Impacto Regulatorio (MIR). El anteproyecto y la MIR se someten a la aprobación del CCNNPURRE.
- 3) El anteproyecto y la MIR se envían a la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER) de la Secretaría de Economía para su aprobación y obtener el dictamen total final.

- 4) La CONUEE remite el proyecto a la SENER para su aprobación y envío al DOF para su publicación y consulta pública.
- 5) Se responde a los comentarios recibidos durante la consulta pública, enviándose estas a través de la SENER al DOF para su publicación. Si hay comentarios de fondo se convoca al GT para su análisis y respuesta.
- 6) Se modifica el proyecto con base en los comentarios recibidos que procedan y se somete al CCNNPURRE para su aprobación como NOM-ENER
- 7) Se envía la NOM-ENER y su dictamen total final a la SENER para que gestione la publicación como Norma Oficial Mexicana definitiva en el DOF.

NOM-ENER relacionadas con la edificación.

De las 31 NOM-ENER vigentes al 2016, 24 son de producto los 7 restantes son de sistemas, ya sean de iluminación, envolvente, vialidades etc...

Las NOM relacionadas con las edificaciones y la eficiencia energética son las siguientes:

- NOM-003-ENER-2011. Calentadores de agua para uso doméstico.
- NOM-007-ENER-2014. Sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.
- NOM-008-ENER-2001. Eficiencia energética en envolventes de edificios no residenciales.
- NOM-011-ENER-2006. Acondicionadores de aire tipo central, paquete o dividido.
- NOM-018-ENER-2011. Aislantes térmicos para edificaciones. Características, límites y métodos de prueba.
- NOM-020-ENER-2011. Eficiencia energética en envolventes de edificios para uso habitacional.
- NOM-024-ENER-2012. Características térmicas y ópticas del vidrio y sistemas vidriados para edificaciones.

Las NOM-ENER de mayor importancia para esta investigación son las de sistemas: NOM-008-ENER-2001 y NOM-020-ENER-2011 ya que son las que se centran en la envolvente de los edificios. Por el impacto de las viviendas sobre la demanda máxima de energía eléctrica a nivel nacional, la NOM 020 ENER 2011 será especialmente analizada en este trabajo de investigación en la sección de casos de estudio.

III. La NOM 020 ENER 2011 y su papel en los reglamentos de construcción en México.

Se mencionó en el capítulo anterior que especialmente la NOM 020 ENER 2011 es relevante en este trabajo de investigación y para comprender por qué se alienta en este trabajo de investigación a que esta se incluya en los reglamentos de construcción estatales y municipales, se debe iniciar por definir que es un reglamento de construcción, que temas lo componen y cuál es el proceso de su creación.

3.1 Reglamentos de construcción en México. ¿Que son, cómo se crean y cuál es su cobertura?

De acuerdo con el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CONAPRED), *un reglamento de construcción es un documento legal que tiene la función de proteger a la sociedad contra la falla o mal funcionamiento de las edificaciones*. El grado de protección que ofrecen no es absoluto y debe de cuidar un balance entre la protección ofrecida y los costos incurridos por las medidas de seguridad a exigir.

Los temas que abarcan los reglamentos de construcción va desde las normatividades a cumplir del diseño arquitectónico, los requisitos a cumplir para llevar a cabo tramites y adquirir licencias y permisos, normas técnicas complementarias, requisitos para instalaciones, requisitos mínimos de ventilación, iluminación, materiales, instalaciones especiales etc...

Estos reglamentos son publicados en las gacetas oficiales de las entidades federativas y/o municipales. Una vez que estos reglamentos son publicados en estos medios oficiales entran en vigor en dicho territorio.

México es el único país en América Latina que no cuenta con un reglamento de construcción a nivel nacional. Esto se debe a que con base en el artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, cada municipio tiene la atribución de emitir el propio. En el caso de las entidades federativas, estas se encuentran jerárquicamente en el mismo nivel que los municipios y no es raro encontrar casos en los que la entidad federativa cuente con un reglamento estatal y no haya reglamentos municipales o que haya reglamentos municipales para los municipios que compone el estado, sin que el estado tenga un reglamento estatal de construcción. Incluso hay casos donde coexisten reglamentos estatales y municipales al mismo tiempo.

Puede haber casos, como el del Estado de México, donde ni el municipio ni el estado tengan reglamento de construcción, en estos casos se remite uno a los códigos administrativos de cada municipio, los cuales generalmente tienen un libro denominado “de las construcciones” con lo que subsanan esta deficiencia de reglamentos sin que este libro de las construcciones sea un reglamento como tal.

Este artículo 115 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, genera una atomización en la estandarización de los reglamentos de construcción, en su actualización y en la inclusión de nuevas reglas para nuevas tecnologías constructivas o de instalaciones.

Actualmente de 32 entidades federativas únicamente 13 cuentan con un reglamento de construcción estatal, o sea solo el 40% de las entidades federativas cuentan con reglamento de construcción. De 2,457 municipios existentes en la República Mexicana, únicamente 600 municipios aproximadamente tienen reglamentos de construcción municipal, esto significa que solo el 25% de los municipios en México tienen reglamento de construcción. (Ver ANEXO I: Matriz de Adopción de NOM ENER en reglamentos.)

En el mejor de los casos, únicamente el 40% del territorio nacional está cubierto por reglamentos de construcción, habiendo un rezago del 60% para el resto del país. Este rezago puede estarse subsanando con los códigos administrativos de los municipios, que tienen apartados básicos para el tema de construcción, sin que se ahonde en temas técnicos.

En los casos de las entidades federativas donde si contamos con reglamentos de construcción se tiene también un rezago en la actualización de los mismos. **Siendo el más desactualizado de los reglamentos de construcción el del estado de Puebla, que data de 1935. La mayoría de los reglamentos de construcción tanto estatales como municipales tienen más de 5 años desde su expedición o última revisión. Teniendo un promedio de entre 15 y 20 años de antigüedad cuando las mejores prácticas establecen actualizaciones cada 5 años. (Ver ANEXO I)**

Los reglamentos generalmente son elaborados por comités conformados por grupos de especialistas en la materia y revisados por personas e instituciones relacionadas, así como por las autoridades competentes. Por ejemplo, los cabildos municipales/estatales, los colegios de arquitectos e ingenieros, representantes de la industria de la construcción local etc...

Son estos comités quienes deciden que se crea, modifica, añade y que se retira del reglamento de construcciones local. **La decisión de integrar las normas de eficiencia energética para las envolventes de edificios recae en estos comités.**

Es en este punto donde no están tomando las decisiones de incluir a la NOM008 ENER 2001 ni la NOM 020 ENER 2011, por barreras identificadas en entrevistas con la CONUEE durante este trabajo de investigación. Más adelante en este capítulo serán comentadas dichas barreras.

3.2 Estados y municipios que han adoptado normas de eficiencia energética para envolventes de edificios.

Después de hacer en análisis de que estados y municipios realmente contaban con un reglamento de construcción y cuál era su antigüedad se procedió a hacer un análisis de la documentación reglamentaria de construcción existente a nivel estatal y a nivel municipal para

determinar cuántos estados y municipios habían adoptado alguna de las NOM de eficiencia energética en las edificaciones (NOM 008 ENER 2001 y NOM 020 ENER 2011).

Se realizó una matriz en una hoja de cálculo (Ver Anexo I) donde se mapearon todas las entidades federativas y cada uno de los municipios que las componen. Como se ha mencionado antes, el país tiene 32 entidades federativas y 2,457 municipios. De los cuales, **77 municipios contaban con la adopción de la NOM-008-ENER-2001** y **58 de los municipios** contaba con adopción de la **NOM-020-ENER-2011**.

REGLAMENTOS MUNICIPALES CON NOM ENER	
NOM 008 ENER 2001 <ul style="list-style-type: none"> •CDMX (16 alcaldías) •Hermosillo, Sonora. •Mérida, Yucatán. •Acapulco, Guerrero •Zacatecas (58 municipios) 	NOM 020 ENER 2011 <ul style="list-style-type: none"> •Zacatecas. (58 municipios)

Ilustración 6. Ver ANEXO I – Matriz de adopción de NOM de eficiencia energética en Estados y Municipios.

A nivel estatal contamos con que **únicamente la CDMX y Zacatecas** han adoptado la NOM 008 ENER 2001. **El estado de Zacatecas es el único estado que ha adoptado la NOM 020 ENER 2011.**

Esto nos deja con unos porcentajes de adopción de las normas en reglamentos del 3.13% para la NOM 008 ENER 2001 y de 2.36% para la NOM 020 ENER 2011.

Ante estos números de adopción desde el 2001, que salió la primera de las normas de eficiencia energética, se puede notar que dichas normas están en una especie de limbo legal en el que, si bien las NOM son de carácter obligatorio en todo el territorio nacional como lo indica el artículo XI de la Ley Federal de Metrología y Normalización, no hay autoridad estatal o municipal que esté vigilando y exigiendo su cumplimiento para emitir licencias de construcción, como si ocurre con la NOM 001 ENER 2014.

La CONUEE está limitada en cuanto a su capacidad de observar el cumplimiento de estas normas de manera directa y depende de las autoridades estatales y municipales para esta vigilancia y cumplimiento, pero al no haber una vigilancia de su cumplimiento por parte de las autoridades locales (encargadas de emitir licencias de construcción) e instituciones con recursos federales encargadas de construcción de vivienda, **estas normas acaban por no ser empleadas por más obligatorias que sean.**

3.3 Razones para emplear las normas de eficiencia energética en envolventes de edificios en México.

Como se vio en el inciso anterior, cuando se trata de la construcción en México, no es suficiente la naturaleza obligatoria de la NOM en el territorio nacional para que estas sean empleadas. Se requiere que los gobiernos estatales y locales las adopten y exijan su cumplimiento.

La primera razón de porque realizar la adopción de estas normas en los reglamentos de construcción local es por qué así lo dictamina la Ley Federal de Metrología y Normalización.

Viendo que esta razón únicamente no ha sido suficiente para que la adopción se lleve a cabo en los comités locales, es pertinente citar los beneficios que han tenido otros países que llevan años de haber adoptado sus estándares de eficiencia energética en sus reglamentos.

Dichos beneficios podrían replicarse en el territorio local que adopte estándares de eficiencia energética. Estos beneficios son:



Ilustración 7. Beneficios para los estados y municipios mexicanos al adoptar NOM eficiencia energética.

De estos beneficios citados en la Ilustración 7, hay 5 marcados con un contorno amarillo, estos son los beneficios principales que esta tesis de investigación determinó con base en el análisis del balance nacional de energía del capítulo II. La mayor parte de la matriz de generación de energía en México son plantas termo eléctricas las cuales funcionan con gas. El gas es un energético que el país está en la necesidad de importar de otras naciones ya que no puede satisfacer la demanda únicamente con su producción nacional.

Debido a que la demanda energética nacional está determinada por la demanda del sector habitacional, esta tesis de investigación se enfocará en la NOM 020 ENER 2011.

Aunado a esto las reservas de petróleo 1P del país están calculadas para durar 8.5 años. Lo cual pone como de interés nacional el que los edificios residenciales, consuman menos kWh al año.

Uno de los objetivos de esta investigación también es cuantificar estos 5 beneficios en territorio mexicano. Vale la pena preguntarse: ¿Cuántos kWh y cuántos pesos mexicanos

ahorrados significa el adoptar estas normas de eficiencia energética? ¿Qué tanto tiempo del año está una vivienda certificada en NOM 020 ENER 2011 en condiciones de confort térmico vs una vivienda sin certificación? ¿Qué tanto se puede reducir la capacidad necesaria de los equipos de aire acondicionado al certificar la vivienda con la norma? ¿Qué tan difícil es cumplir con la norma?

Es esta búsqueda de cuantificación y aterrizado de beneficios y ahorros potenciales de la NOM 020 ENER 2011 la que nos lleva a la **segunda parte de esta investigación: La simulación energética como herramienta de cuantificación.**

La finalidad de esta cuantificación es la de aterrizar en números lo que podrían ganar en dinero y energía eléctrica no producida los gobiernos y comités locales de creación y modificación de reglamentos de construcción al aprobar la inclusión de la norma y aterrizar que tanto se beneficia el dueño o usuario de vivienda en México al tener una edificación certificada por ella.

3.4 Barreras identificadas de adopción.

Habiendo establecido por que es relevante la adopción de la norma y la búsqueda de cuantificación de ahorros de la misma, es importante enumerar también las barreras a la adopción que se han detectado por parte de la CONUEE. Fue durante entrevistas con la CONUEE que se identificaron las siguientes barreras. Son estas las que han dificultado el proceso de adopción de las normas de eficiencia energética en envolventes de edificios al punto de tener los porcentajes de adopción que se listaron al inicio de este capítulo.

Falta de conocimiento de la existencia de dichas normas entre el gremio arquitectónico y político.

Falta de información sobre sus beneficios económicos y de salud entre la población en general.

La pobre adopción de las normas entre los gobiernos locales, debido a la falta de información e incentivos.

Atomización de esfuerzos gubernamentales (CONUEE) entre 2,457 municipios independientes jerárquicamente de los estados.

Poca actualización de los marcos jurídicos municipales en materia de construcción y poca actualización de los reglamentos de construcción locales que existen.

Falta de voluntad política ente los cabildos o comités ante la falta de incentivos y falta de capacidad de observación de cumplimiento directa por parte de la CONUEE

Estas barreras pueden clasificarse en tres rubros: Desconocimiento, Falta de voluntad política y atomización de esfuerzos.

En este tema de investigación se busca reforzar los esfuerzos que se hacen por atacar las barreras de tipo “desconocimiento”, tanto en el gremio arquitectónico, como en el de los usuarios, clientes y comités locales con los que la arquitectura como profesión tiene contacto.

Las barreras de atomización de esfuerzos o falta de voluntad política por parte de los estados y municipios quedarían del lado del gremio de la política. Estos podrían atacarse creando incentivos para los municipios que adopten las normas en sus códigos municipales o reglamentos, al igual que incentivos para los usuarios de vivienda que adquieran o modifiquen sus viviendas para cumplir con la NOM 020 ENER 2011. Sin embargo, estas barreras, al caer fuera del ámbito arquitectónico e ingenieril no forman parte del alcance de este trabajo de investigación.

Este trabajo de investigación busca aportar a los argumentos, planes y acciones para hacer frente a las barreras de:

- Falta de información sobre beneficios económicos y de salud entre la población en general.

- Falta de conocimiento de la existencia de dichas normas entre el gremio arquitectónico y político.

Con la cuantificación que se hará por medio de la simulación energética, se busca aportar datos para casos de estudio en municipios particulares de la República Mexicana.

3.5 La NOM 020 ENER 2011 y su relevancia en la arquitectura.

Como se ha comentado con anterioridad en este documento, la demanda energética nacional está determinada por la demanda del sector habitacional y es por esta razón que esta tesis de investigación se enfocará en la NOM 020 ENER 2011.

Habiendo hablado de los reglamentos de construcción en el capítulo anterior, en este capítulo se hablará de esta NOM 020 ENER 2011, la cual trata sobre la eficiencia energética en envolventes de edificios residenciales.

Antecedentes de la NOM 020 ENER 2011

La creación de esta norma tiene como antecedentes el Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012, donde el gobierno de México se preocupó por fortalecer su normatividad en el tema de uso eficiente de la energía en diversos sectores. Siendo uno de ellos el sector de la construcción.

Posteriormente, durante el 2008 se publicó la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE) y en 2009 el Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (Pronase). Igualmente, en 2008 se publicó el Programa Nacional de Vivienda 2007-2012: Hacia un desarrollo habitacional sustentable (PNV). Cuyo objetivo fue impulsar el desarrollo de vivienda sustentable, para que el crecimiento habitacional no pusiera en riesgo el patrimonio natural de generaciones futuras.

Por este programa fue que se plantearon en el país la construcción de viviendas sustentables y se instauraron nuevas Normas Oficiales Mexicanas, tomando como ejemplos la experiencia de otros países en este tema.

El 28 de noviembre de 2008, fecha en que se publicó la Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía (LASE), se crea la Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (Conuee). La CONUEE, se constituyó como un órgano administrativo descentralizado de la

Secretaría de Energía. Tiene autonomía técnica y operativa y su objetivo es promover la eficiencia energética en el país y el constituirse como órgano de carácter técnico en materia del aprovechamiento sustentable de energía.

En 2011 el Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Preservación y Uso Racional de los Recursos Energéticos (CCNNPURRE), el cual depende de la Conuee, expidió la Norma Oficial Mexicana NOM-020-ENER-2011 Eficiencia Energética en Edificaciones: Envolvente de edificios para uso habitacional.

En México se tiene un predominio del clima cálido, el 45% de los usuarios de electricidad a nivel nacional tienen tarifas específicas que se les aplican por ubicarse en zonas con este tipo de clima. Esto significa que un porcentaje importante de la población está buscando lograr un confort térmico dentro de sus viviendas y estos usuarios buscan generarlo con soluciones que van desde un ventilador hasta equipos de aire acondicionado sofisticados. La solución que elijan los usuarios dependerá de cuál es su capacidad económica y cual sea su subtipo de clima.

Es probable que no tomen en cuenta el papel que juegan los componentes y materiales de la envolvente de su vivienda. Su techumbre, ventanas, paredes, pisos etc... juegan un papel al almacenar energía del sol y del aire exterior en su interior.

La demanda de electricidad que se utiliza para confort térmico en zonas de clima cálido en México determina la demanda máxima del sistema, lo cual se hace evidente en el hecho de que el nivel máximo de demanda del Sistema Eléctrico Nacional se da en el verano por las tardes, que es cuando la acción coincidente de la temperatura máxima del día, de la irradiación solar y de la propia carga.

Dónde se aplica la norma y cómo se aplica

Como se ha mencionado anteriormente la norma es obligatoria para todos los edificios de uso residencial en la república mexicana, tanto edificios nuevos como para los que vayan a pasar por algún proceso de remodelación que incremente su área construida. En los casos de edificios de usos mixtos, si el 90% del área corresponde a uso habitacional, todo el edificio deberá considerarse para el cálculo y cumplimiento de la norma.

En términos generales, la norma se aplica de la siguiente manera:

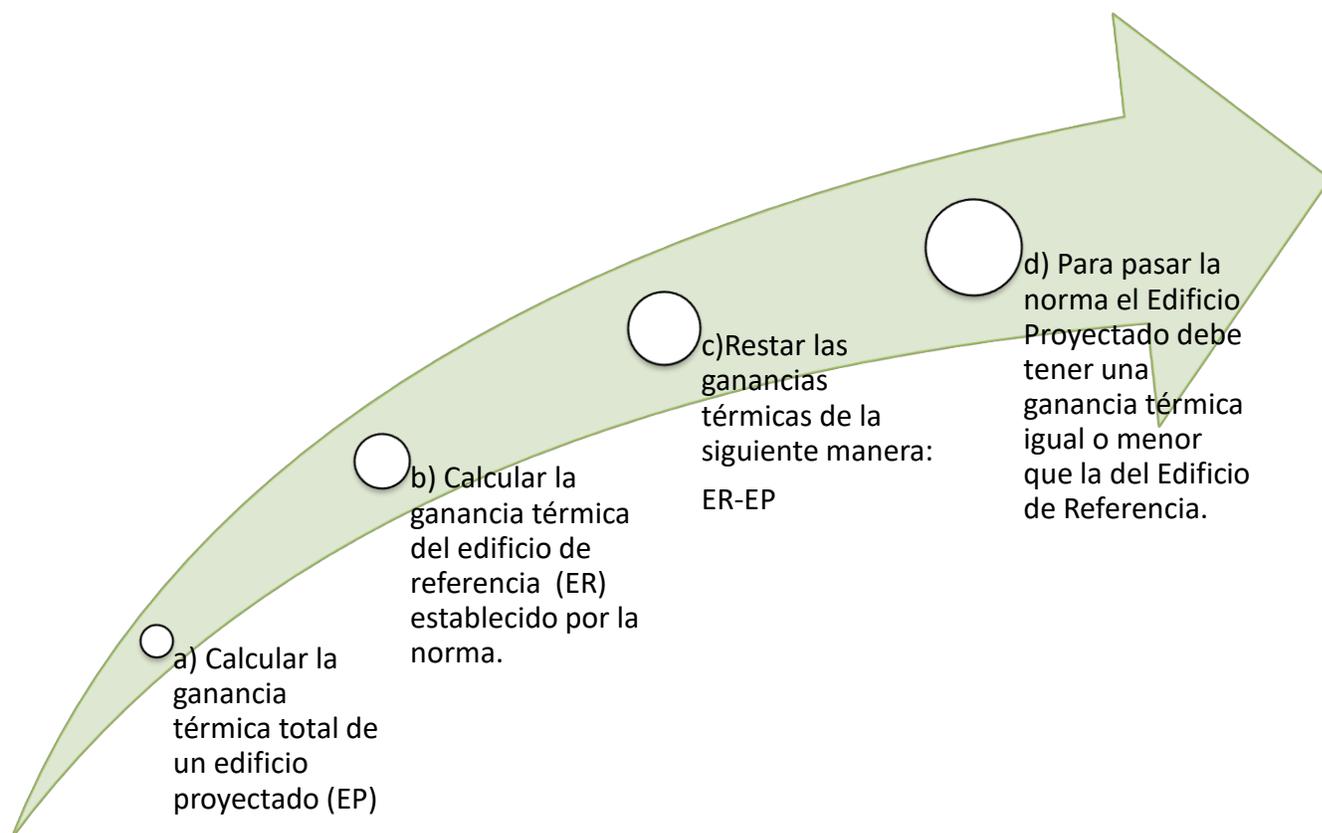


Ilustración 8. Aplicación de la norma. Pasos a seguir.

El **edificio Proyectado**, es el edificio que vamos a analizar, tal y como está diseñado en el proyecto ejecutivo.

El **Edificio de Referencia** no es más que un modelo teórico, el cual se basa en las dimensiones geométricas del edificio proyectado, pero con las características de la envolvente determinadas por la norma.

Metodología de cálculo.

Lo primero que se requiere para iniciar con los cálculos de ganancia térmica para el EP y el ER es conseguir la siguiente información:

Para el Edificio Proyectado (EP)

Para el cálculo de este EP, usaremos el proyecto ejecutivo del edificio proyectado y Tabla 1 del Apéndice A de la Norma para obtener los siguientes datos:

Proyecto Ejecutivo o arquitectónico: Es necesario contar con el proyecto ejecutivo completo del proyecto a calcular bajo la Norma. Se requiere que los planos estén a escala, acotados a paños exteriores e interiores, cuente con detalles constructivos, acabados, plantas, alzados cortes, fachadas, con sembrado de luminarias,

Ubicación: Se requiere saber la ubicación geográfica del proyecto (**estado, ciudad y latitud**) ya que de esta depende la cantidad de radiación solar, temperatura, humedad relativa, etc... que recibe el edificio. Para este atributo del proyecto **usaremos los datos de la TABLA 1 DEL APENDICE A de la NOM 020 ENER 2011**, en esta tabla buscaremos nuestra ubicación del proyecto. Si nuestra ciudad no aparece en esta tabla, la norma indica que usemos una ciudad con un clima similar al del proyecto que vayamos a calcular.

Áreas de traslucidos y opacos (A): Se deben obtener las áreas en m² de las secciones traslucidas (ventanas, puertas traslucidas, domos, tragaluces etc...) de la envolvente del edificio, así como de las opacas (muros exteriores, puertas opacas, losas de azotea, techumbres, etc...). Hay que tomar nota de las orientaciones de cada elemento de la envolvente ya que esto también es relevante para el cálculo. La Norma distingue cuatro orientaciones: Norte, Sur, Este y Oeste.

Temperatura equivalente promedio en °C de los elementos de la envolvente (Te): Este dato de temperatura la obtenemos de la **TABLA 1 DEL APENDICE A de la NOM 020 ENER 2011**.

Temperatura interior (T): En °C, se obtiene igualmente de la **TABLA 1 DEL APENDICE A de la NOM 020 ENER 2011**.

Coefficiente global de transferencia de calor W/m²K (K): Este dato solo se calcula para el Edificio Proyectado y se calcula este valor K tanto para las áreas OPACAS como para las áreas TRASLUCIDAS de la envolvente. Dependiendo de los materiales de los que están compuestas

estas áreas opacas y traslucidas habrá un mayor o menor grado de transferencia de calor entre el espacio al interior del edificio y el espacio exterior.

La propiedad de los materiales que determina cuanto calor pasa a través de ellos se llama **Conductividad térmica (λ)** y sus unidades se expresan en W/mK. Esta es una propiedad intrínseca del material y no depende de su forma o espesor.

Para medir cuanto calor pasa a través de un elemento de la envolvente (una pared, por ejemplo) **necesitamos dividir la Conductividad térmica (λ) entre el espesor del material (I)**. El resultado de esta división se llama **Conductancia**. Sin embargo, la conductancia no toma en cuenta los efectos superficiales exteriores e interiores al calcular el calor que pasa por un elemento de la envolvente. Es por eso que para tener un valor más exacto del calor que atraviesa un elemento de la envolvente se utiliza otro concepto: La **transmitancia térmica. Este es el valor que la norma conoce como (K) o Coeficiente global de transferencia de calor**.

Este valor (K) o transmitancia se tiene que calcular para cada parte de la envolvente, ya sea esta traslucida u opaca, homogénea o heterogénea. Un material con valor K cercano a cero indica que dicho material es buen aislante térmico al casi no permitir paso de calor a través de él.

La norma utiliza formulas diferentes para calcular el valor K de los componentes homogéneos y los heterogéneos de la envolvente.

Para los componentes homogéneos, la norma usa esta fórmula para calcular el valor K:

$$K = \frac{1}{M}$$

K = Es el coeficiente global de transferencia de calor de una porción de la envolvente del edificio para uso habitacional, de superficie a superficie, en W/m²K.

M = Es el aislamiento térmico total de una porción de la envolvente del edificio, de superficie a superficie en m²K/W.

Hi= Conductancia superficial Interior. Muros 8.1 W/m²K. Techo 9.4 W/m²K

He= Conductancia superficial Exterior. 13 8.1 W/m²K

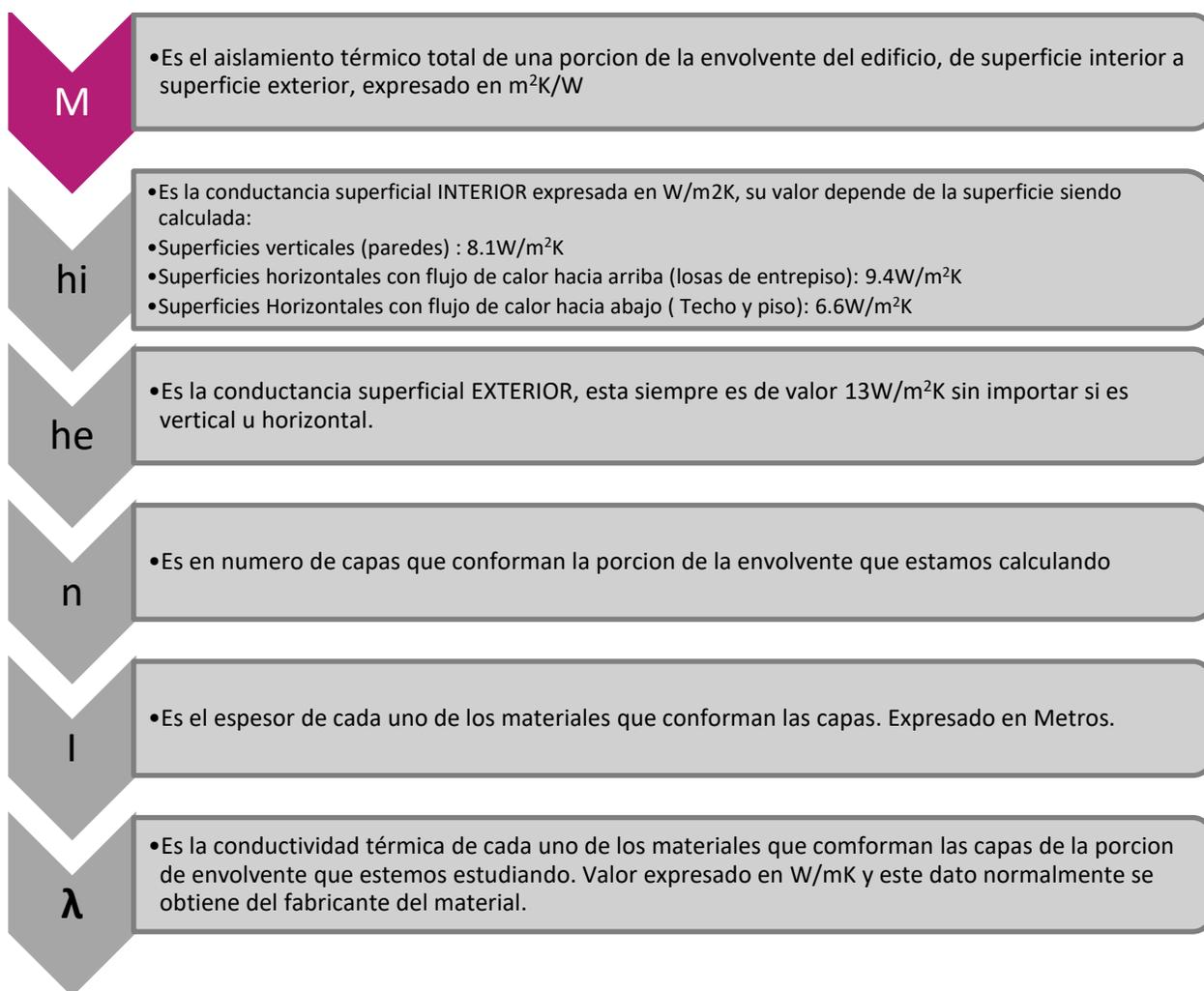
Λ= Coeficiente de conductividad térmica del material.

l= Espesor del material en metros

Como se puede ver en la formula hay un nuevo valor: **el valor M**. Este se calcula con los valores que se mencionaban al inicio de este subcapítulo. **Conductancias interiores, exteriores, conductividad térmica y espesores.**

El valor M para los componentes homogéneos se calcula con esta fórmula.

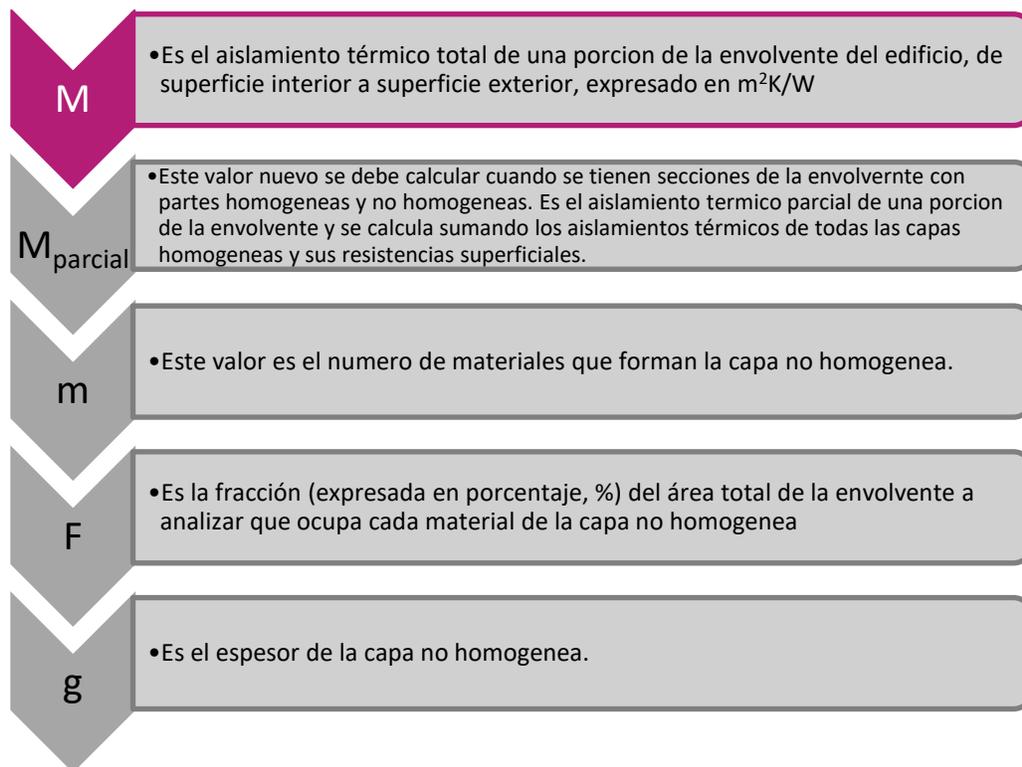
$$\mathbf{M} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}$$



El valor **M** para los componentes no homogéneos (ejemplo: una losa de vigueta y bovedilla de poli estireno expandido) se calcula con la siguiente fórmula:

$$M = \frac{1}{\frac{F_1}{M_{\text{parcial}} + g/\lambda_1} + \frac{F_2}{M_{\text{parcial}} + g/\lambda_2} \dots + \frac{F_m}{M_{\text{parcial}} + g/\lambda_m}}$$

En esta fórmula se ven valores nuevos que no teníamos en la formula anterior.



Como vemos en esta fórmula para la M de secciones no homogéneas de la envolvente, hay que calcular la M_{parcial}. Esta se calcula con la siguiente formula:

$$M_{\text{parcial}} = \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e} + \frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}$$

Una vez que ya contamos con las Ms de las secciones tanto homogéneas como de secciones no homogéneas podemos calcular la K o Coeficiente global de transferencia de calor.

Coeficiente de sombreado de cada porción transparente (CS). Este coeficiente es la razón entre el calor por radiación solar que se gana a través de un vidrio específico y el calor que se gana a través de un vidrio claro de 3 mm de espesor en condiciones idénticas. Se usa únicamente en los cálculos por radiación solar y se obtiene de las especificaciones del fabricante del material a emplear en el EP. Si el fabricante no conoce el CS de su producto, pero si da el dato del

Coeficiente de Ganancia de Calor Solar Máximo (CGCS) o (SHGC) por sus siglas en inglés: Solar Heat Gain Coefficient, es posible como quiera calcular el CS siguiendo esta fórmula:

$$CS = CGCS / 0.87$$

Factor de ganancia de calor solar por orientación (FG). Únicamente para cálculos por radiación. Se obtiene de la Tabla 1 del Apéndice A de la Norma.

Factor de corrección por sombreado exterior para cada porción transparente (SE). Depende del tipo de sombreado que tenga la ventana. Se obtiene utilizando las Tablas 2, 3, 4 y 5 del Apéndice A de la Norma.

Para el Edificio de Referencia (ER)

De acuerdo a la Norma, el Edificio de Referencia utiliza muchos de los mismos datos que tiene el Edificio Proyectado.

Los **valores que se quedan iguales que los del EP** son los siguientes: **Te, T** y **FG**.

Los valores que si cambian con respecto del Edificio Proyectado son las siguientes:

(A) Áreas de las porciones transparentes y opacas del edificio. Para el edificio de referencia, se considera que **toda la superficie del techo es 100% opaca**. Las **fachadas** del edificio se consideran **como si 90% de la superficie total fuera opaca y sólo el 10% transparente**.

Coeficiente global de transferencia de calor (W/m²K), (K). En el caso obtiene directamente de la Tabla 1 del Apéndice A de la Norma para partes opacas, y para partes transparentes se obtiene del punto 6 de la Norma.

Coeficiente de sombreado de cada porción transparente (CS). Para el Edificio de Referencia el valor de este coeficiente es siempre 1.

Como resumen de todo lo necesario para el cálculo, tenemos la Ilustración 9. Cuadro de información necesaria para el cálculo de la Norma.

INFORMACIÓN NECESARIA PARA EL CÁLCULO DEL EDIFICIO PROYECTADO Y DE REFERENCIA		
DATO / VALOR / INFO	EDIFICIO PROYECTADO	EDIFICIO REFERENCIA
<input type="checkbox"/> Estado, Ciudad, Latitud, orientación del edificio.	<input type="checkbox"/> Se obtiene del proyecto arquitectónico.	<input type="checkbox"/> Es igual que el edificio proyectado.
<input type="checkbox"/> Áreas y orientación de las partes que componen la envolvente térmica: muros, losas, ventanas, puertas, domos.	<input type="checkbox"/> Se obtienen del proyecto arquitectónico. Se restan las áreas de ventanas, puertas y domos a los muros y losas.	<input type="checkbox"/> Se considera el 100% del área de la losa como opaca. El 90% del área total* de los muros como opacos y el 10% como transparente. *Sin restar área de puertas y ventanas.
<input type="checkbox"/> Temperatura equivalente promedio (Te), Temperatura interior (t)	<input type="checkbox"/> Se obtienen de la Tabla 1 del Apéndice A de la Norma.	<input type="checkbox"/> Son iguales que el edificio proyectado.
<input type="checkbox"/> Coeficiente de transferencia de calor (K).	<input type="checkbox"/> Se calcula de acuerdo al espesor y conductividad (λ) del material de cada capa que conforma la porción.	<input type="checkbox"/> Para sup. opacas: de la Tabla 1 del Apéndice A de la Norma. Para ventanas es igual a 5.1319 W/m ² K.
<input type="checkbox"/> Coeficiente de Sombreado (CS)	<input type="checkbox"/> Se obtiene de la ficha técnica del vidrio.	<input type="checkbox"/> Siempre es igual a 1.
<input type="checkbox"/> Factor de Ganancia (FG)	<input type="checkbox"/> Se obtiene de la Tabla 1 del Apéndice A de la Norma.	<input type="checkbox"/> Es igual que el edificio proyectado.
<input type="checkbox"/> Factor de Sombreado Exterior (SE)	<input type="checkbox"/> Se calcula según el tipo de sombreado ext. de ventana.	<input type="checkbox"/> No se requiere.

Ilustración 9. Cuadro de información necesaria para el cálculo de la Norma. (Conuee / GIZ / Low Carbon Architecture , 2015)

Con toda esta información a la mano, se puede proceder a hacer los cálculos de ganancia térmica, tanto por Radiación como por Conducción requeridos para calcular las ganancias térmicas totales del EP y el ER.

Cálculo de ganancia térmica total en el EP y ER

La ganancia de calor total es el resultado de sumar las ganancias de calor por conducción más las ganancias por radiación en watts (W).

Según la Norma, las ganancias de calor totales se representan con el símbolo Φ (phi) y el subíndice p para el Edificio Proyectado (Φ_p) y el edificio de referencia se le representa con phi y con el subíndice r (Φ_r). Las ganancias de calor por conducción con se representan con el subíndice c y a las ganancias por radiación solar con el subíndice s, de modo que la fórmula de la ganancia de calor total es la siguiente:

$$\Phi_p = (\Phi_{pc}) + (\Phi_{ps}) \text{ Para el Edificio Proyectado.}$$

$\dot{\Phi}_r = (\dot{\Phi}_{rc}) + (\dot{\Phi}_{rs})$ Para el Edificio de Referencia.

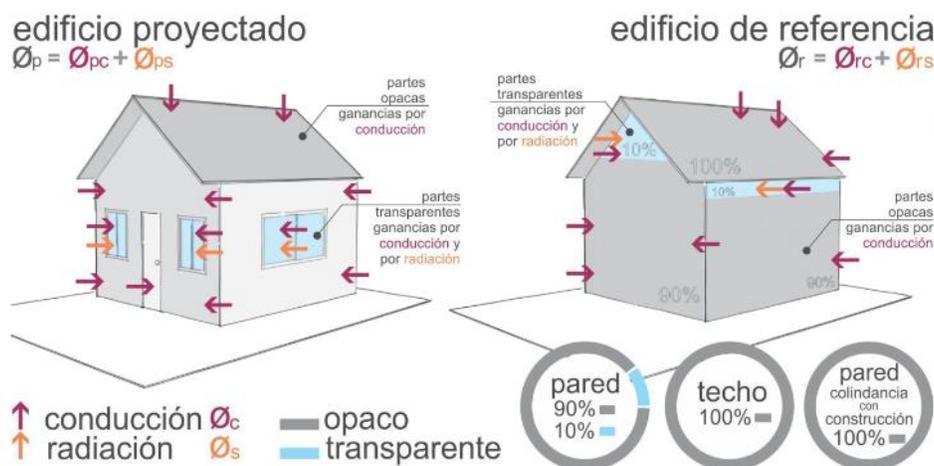


Ilustración 10. Ejemplo de Edificio Proyectado VS Edificio de Referencia. (Conuee / GIZ / Low Carbon Architecture , 2015)

Para calcular las **ganancias de calor por conducción** tanto en el edificio de referencia como el proyectado es necesario calcular por separado la ganancia de calor por conducción de cada una de las componentes opacas y no opacas de la envolvente para posteriormente sumarlas y obtener un total.

Para calcular la **ganancia de calor total por radiación**, tanto en el ER como en el EP, es necesario **sumar las ganancias de radiación solar de cada una de las partes transparentes que conforman la envolvente del edificio.**

Una vez teniendo los resultados de las ganancias de calor por conducción ($\dot{\Phi}_{rc}$ para ER y $\dot{\Phi}_{pc}$ para EP) y por radiación ($\dot{\Phi}_{rs}$ para ER y $\dot{\Phi}_{ps}$ para EP), la ganancia total de calor para el edificio de referencia ($\dot{\Phi}_r$) será comparada posteriormente con el resultado de ganancia total de calor del edificio proyectado ($\dot{\Phi}_p$) para determinar si el edificio en estudio cumple o no con la Norma.

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

Se considera que un edificio para uso habitacional está en cumplimiento con la Norma si las ganancias de calor totales del EP son menores o iguales que las ganancias de calor totales del ER.

Con este resultado determinamos si el edificio proyectado pasa o no la NOM 020 ENER 2011.

Herramienta de cálculo de la CONUEE para la Norma.

Ilustración 11. Herramienta de cálculo para la NOM 020 ENER 2011 de la CONUEE.

Si no se desea hacer este cálculo de manera manual reiteradas veces al estar haciendo los cambios requeridos para cumplir con la Norma, la CONUEE cuenta con una herramienta de cálculo, la cual sigue la metodología anteriormente explicada. Esta herramienta computacional está disponible en la página de la CONUEE (https://www.conuee.gob.mx/transparencia/HerramientaCalculoNOM_020_V1.00.xlsm).

En esta herramienta se ingresan los datos que se mencionan en el apartado anterior son necesarios para dar inicio con el cálculo de cumplimiento de la Norma; Estado, ciudad, orientaciones de las fachadas, materiales, áreas de opacos y traslucidos etc... Una vez ingresados los datos necesarios el programa se encarga de seguir la metodología e informar al usuario si el proyecto ingresado pasa o no pasa la Norma.

Los resultados presentados por la herramienta de cálculo no deben ser tomados como resultados oficiales si no como informativos y no sustituyen la verificación realizada por las unidades verificadoras de la Norma.

A continuación, se dará inicio a la segunda parte de este trabajo de investigación. La comprobación de ahorros energéticos y financieros de la norma en tres casos de estudio.

IV. Análisis de clima y envolvente arquitectónica.

Para iniciar la **segunda parte de esta investigación: La simulación energética como herramienta de cuantificación y comprobación**, se eligieron tres ubicaciones particulares para desarrollar tres casos de estudio donde se comprobará si la Norma realmente ofrece algún ahorro, ya sea energético o financiero en estas localidades. Estas ubicaciones elegidas fueron los municipios de: Cuajimalpa, Hermosillo y Mérida.

4.1 Análisis Climático de los casos de estudio.

Se eligieron estos municipios para cubrir los siguientes climas: **Árido cálido (Hermosillo), semifrío subhúmedo (Cuajimalpa) y cálido subhúmedo (Mérida)**. Estos climas son representativos de algunos de los tipos de clima más comunes en la república.

La razón de su elección fue el poder elegir tres tipos de clima representativos (mas no exhaustivos) de la república mexicana, siendo estos los climas: **Árido cálido, semifrío subhúmedo y cálido subhúmedo**. Si bien los climas predominantes en México son los cálidos, se optó por incluir un semifrío subhúmedo como línea base de comparación, ya que esto mismo hace la Comisión Federal de Electricidad en sus análisis nacionales de demanda máxima de energía eléctrica.

Se realizaron tanto para este municipio como para los otros dos, cartas psicrométricas con los datos climáticos obtenidos de las estaciones meteorológicas más cercanas a dichos

municipios. Estos datos fueron después cargados en la siguiente página:

<https://draimarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html> (Marsh, 2018)

En dicha página se pueden cargar los datos climatológicos de estaciones meteorológicas alrededor del mundo en formato *.epw* o en *.csv* y se grafican automáticamente los datos relevantes para una carta psicrométrica usando el estándar de confort de Givoni o incluso del del ASHRAE 55.5

A continuación, se analizarán los climas de los municipios elegidos para los casos de estudio.

Hermosillo, Sonora

Para la toma de datos de la ciudad de Hermosillo, Sonora se usará la estación meteorológica: 26-116 que corresponde a Palo Verde.

La fórmula del tipo de clima: $BWhw(x')(e')w''$

Clima muy cálido, muy seco, con lluvias de verano con el 22% de lluvia invernal y oscilación térmica muy extremosa con 16 °C. con canícula. Este sub tipo de clima se encuentran en las zonas inter tropicales, donde se ubican los cinturones de desiertos del mundo.

Los desiertos cálidos se caracterizan por unas elevadas temperaturas que pueden ser excepcionalmente cálidas en algunos períodos del año. En invierno estos desiertos pueden registrar temperaturas por debajo de 0°C.

Son las zonas con mayor amplitud térmica diaria, ya que, al no haber nubes ni vegetación el calor es irradiado por la noche hacia el espacio reduciendo drásticamente las temperaturas.

Se encuentra a 180km de la costa y gracias a las corrientes frías del golfo es que esta zona no presenta casi precipitación.

Datos relevantes del clima de la ciudad de acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

- La temperatura máxima normal anual alcanza los 31.7°C
- La temperatura media anual es de 22.4 °C
- La temperatura mínima normal anual es de 13°C
- La precipitación normal anual es de 188 ml, presentándose mayor número de ml de precipitación en julio, agosto y septiembre.
- Los vientos dominantes son en dirección Suroeste, con una velocidad media anual de 1.2 m/s y una velocidad máxima anual de 1.8 m/s
- 22.5% de lluvia en invierno.
- Oscilación térmica de 16°C

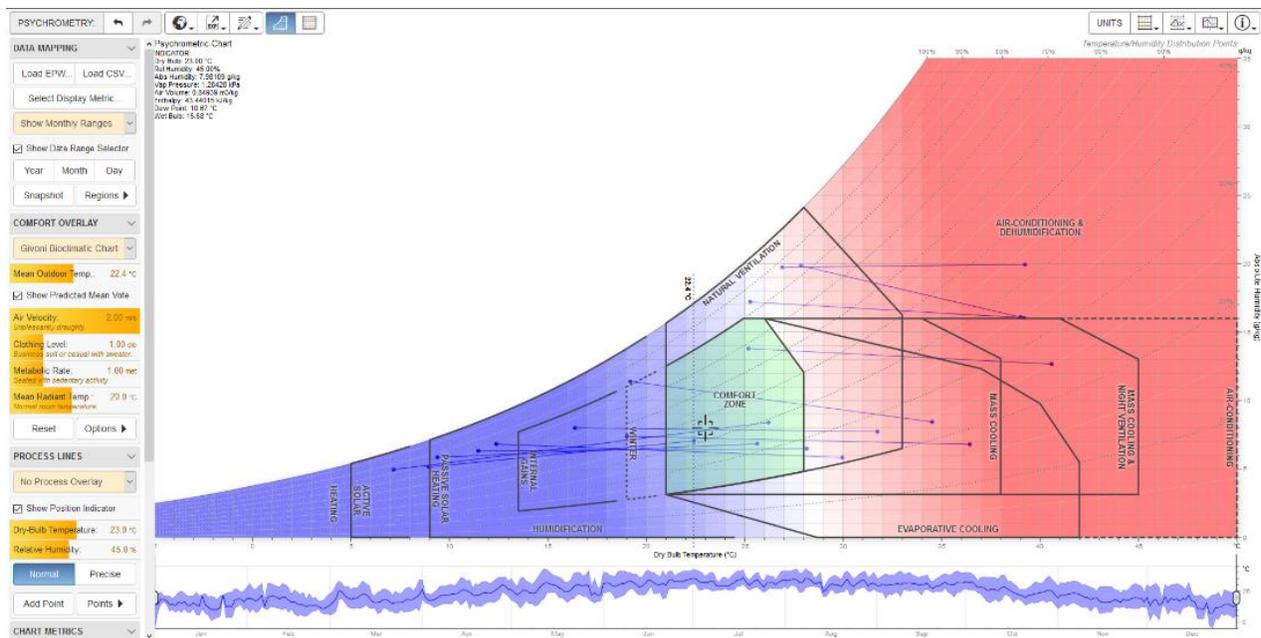


Ilustración 12. Carta Psicrométrica Hermosillo Sonora. Tipo Givoni.

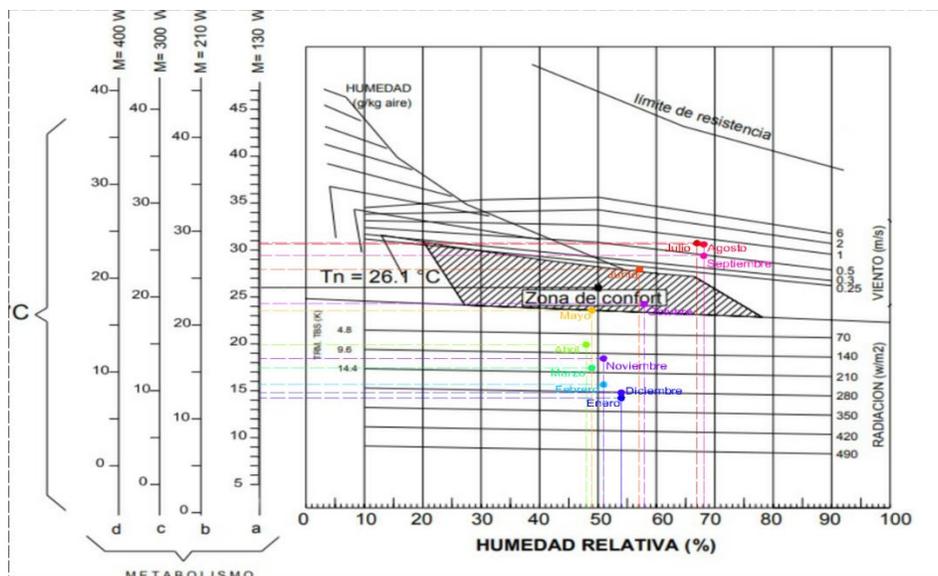


Ilustración 13. Diagrama de Olgay para Hermosillo, Sonora

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** podemos observar como en todos los meses se observa una delta muy grande de temperatura y humedad relativa entre las normales máximas y mínimas, propias de los climas cálidos áridos. Únicamente el 20.84% del año se presentan condiciones de confort térmico de acuerdo a Givoni. Por la oscilación observada podemos deducir que únicamente hacer uso de estrategias pasivas en esta localidad no va a ser suficiente para lograr condiciones de confort todo el año.

Cuajimalpa, CDMX.

Los datos de la alcaldía de Cuajimalpa, se tomaron de la estación meteorológica número 00009030 correspondiente a La Venta Cuajimalpa. Esta estación se encuentra a 2777 msnm y está a una latitud 19°20'00" N y longitud 099°18'00" W. Dicha estación cuenta con 35 años de datos tomados.

La clasificación del tipo de clima presente en la alcaldía de Cuajimalpa es $Cb'(w2)(w)ig$. La cual significa que se trata de un clima semifrío, con verano fresco y largo, con una temperatura media anual normal de 11.2°C. Con temperaturas medias mensuales mínimas y

máximas en enero y mayo respectivamente, de 8.4°C y 13.4°C. Subhúmedo de alta humedad con 1302.2ml de precipitación media anual, el 75% de ésta presentándose en verano. Presenta un 3.81% de precipitación invernal, con un comportamiento isotermal al presentar una diferencia de temperaturas de 5°C. Presenta marcha de Ganges al presentarse la temperatura máxima antes de junio.

Datos relevantes del clima de la ciudad de acuerdo a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.:**

- La temperatura máxima normal anual alcanza los 17.3°C
- La temperatura media anual es de 11.2 °C
- La temperatura mínima normal anual es de 5°C
- La precipitación normal anual es de 1,302.2 ml, presentándose mayor número de ml de precipitación en junio, julio, agosto y septiembre.
- Los vientos dominantes son en dirección norte, con una velocidad media anual de 2m/s.
- 3.81% de lluvia en invierno.
- Oscilación térmica de 5°C

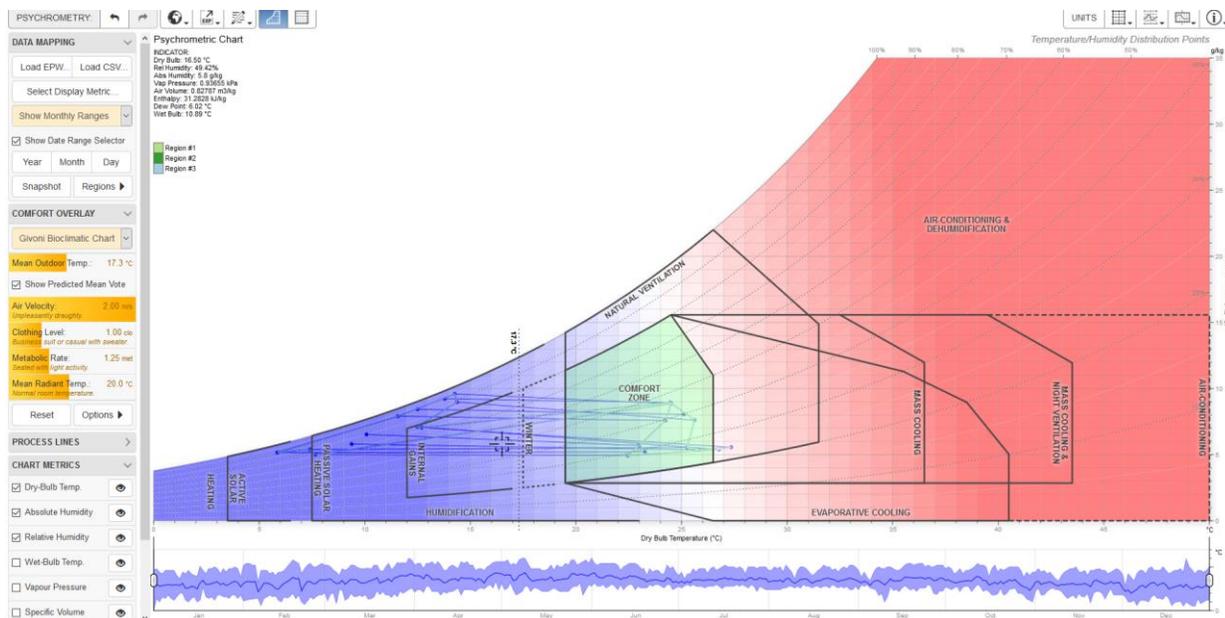


Ilustración 14. Carta psicrométrica de Cuajimalpa, CDMX. Tipo Givoni.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** podemos apreciar como únicamente el 27.5% del año se tienen condiciones de confort térmico. En los meses de abril y mayo hace falta enfriamiento a través de programas de ventilación natural y en los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre y enero se requiere de calefacción.

Mérida, Yucatán.

La clasificación climática de Mérida Yucatán Enriqueta García es el $Ax'(wo)(i)g$. Lo cual significa que es un clima cálido subhúmedo (el más seco de los subhúmedos) con lluvias en verano, con una temperatura media anual normal de 26.7°C. Con temperaturas medias mensuales mínimas y máximas en enero y mayo respectivamente, de 23.8°C y 28.9°C. La precipitación media anual es de 1,019.3ml y se presenta el 73% en los meses de junio a octubre. Presenta un 13% de precipitación invernal, con un comportamiento isotermal al presentar una diferencia de temperaturas de 5°C. Presenta marcha de Ganges al presentarse la temperatura máxima antes de junio.

Los datos para este municipio fueron tomados de la estación 00031043 de la CONAGUA en Mérida, Yucatán. Dicha estación cuenta con 45 años de datos registrados.

Datos relevantes del clima de la ciudad:

- La temperatura máxima normal anual alcanza los 33.4°C
- La temperatura media anual es de 26.7 °C
- La temperatura mínima normal anual es de 20°C
- La precipitación normal anual es de 1,019.3 ml, presentándose mayor número de ml de precipitación de junio a octubre.
- Los vientos dominantes son en dirección Suroeste, con una velocidad media anual de 4 m/s.
- 13% de lluvia en invierno.
- Oscilación térmica de 5.1°C

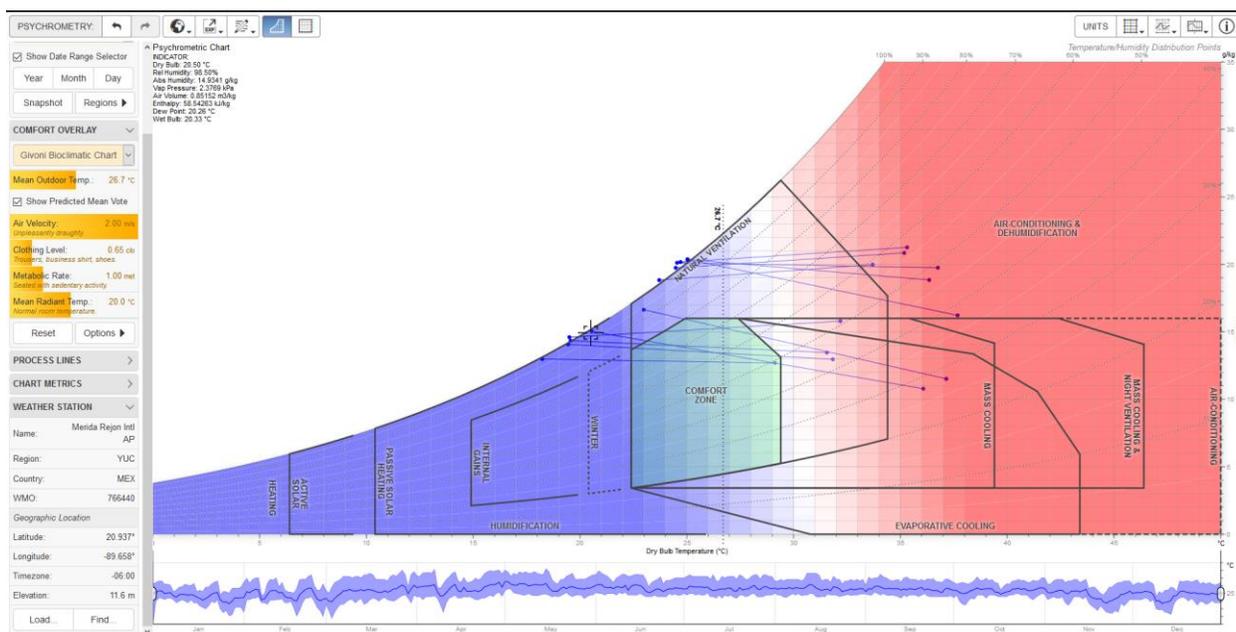


Ilustración 15. Carta psicométrica de Mérida, Yucatán con diagrama de Givoni.

De acuerdo con la Ilustración 15. Carta psicométrica de Mérida, Yucatán con diagrama de Givoni., únicamente el 11.02% del año se presentan condiciones de confort térmico en este municipio, donde no solo se requiere de enfriamiento la mayor parte del año, sino que requiere de des-humidificación del aire.

4.2 Determinación del proyecto de vivienda y envolvente

Posteriormente, para la ejecución de la simulación, se realizó la elección del tipo de vivienda y el desarrollo de un proyecto de arquitectónico de la misma. Como tipo de vivienda se optó por el tipo de vivienda: “*Vivienda Popular Hasta 158.*” La Comisión Nacional de Vivienda la define como las viviendas con una superficie construida en promedio 50 m² costo promedio de 118 a 200 UMAs y que cuentan con 1 baño, cocina, estancia, comedor, de 1 a 2 recámaras y 1 cajón de estacionamiento. (CONAVI, 2021). Este tipo de vivienda tuvo un 51% de prevalencia en la oferta nacional de vivienda para el año 2019. Más adelante en este capítulo se explicará a detalle el análisis climatológico de los 3 municipios y la determinación y características del proyecto de vivienda creado para la simulación.

Cabe mencionar que el mismo proyecto de vivienda será usado en los 3 municipios y tendrá dos versiones, la versión tradicional que no cumple con lo estipulado en la NOM 020 ENER 2011 y la que si la cumple. En cada uno de los municipios se hará esta comparación de ganancia térmica y toneladas de refrigeración o calefacción requeridas entre la versión tradicional del proyecto de vivienda y la versión modificada del proyecto de vivienda para dar cumplimiento a la norma.

Para determinar si el proyecto de vivienda tradicional pasa o no la norma y que se requiere modificar se hará uso de la herramienta de cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011 de la CONUEE.

Con este proyecto de vivienda (en sus dos versiones; Tradicional y con cumplimiento de la NOM) ya modelado en 3D, se puede pasar al **tercer punto necesario para la simulación: La creación y calibrado del Modelo Energético.**

Este modelo energético servirá para hacer la simulación energética en el motor de simulación **EnergyPlus**. A la par se hará también una simulación energética manual, en Microsoft Excel, usando las formulas del programa Transys, para cerciorarnos que la simulación

energética por computadora vaya por el camino adecuado. Estas simulaciones por EnergyPlus y por método manual se harán para los tres municipios. Comparando las ganancias térmicas, horas de confort, y tamaño de los equipos de AC del proyecto de vivienda en su versión cuando no cumple la norma y cuando si la cumple.

Se realizó un proyecto arquitectónico original de una vivienda de 60 m² con características similares a las que se encuentran en el mercado inmobiliario nacional para viviendas en conjuntos habitacionales horizontales.

Esta vivienda se proyectó de 60 m² para estar dentro del Segmento de vivienda: *“Vivienda Popular Hasta 158.”* que designa la Comisión Nacional de Vivienda a las viviendas con una superficie construida en promedio 50 m² costo promedio de 118 a 200 UMAs y que cuentan con 1 baño, cocina, estancia, comedor, de 1 a 2 recámaras y 1 cajón de estacionamiento. (CONAVI, 2021). Se eligió este segmento de vivienda ya que tiene un 51% de prevalencia en la oferta nacional de vivienda, para el año 2019 a 2020 en el Sistema de Información e Indicadores de Vivienda. (CONAVI, 2019)



Ilustración 16. Registro de vivienda de la CONAVI para el año 2019-2020. El segmento “Popular hasta 158” es el más alto a nivel nacional.

Para la determinación de los materiales base para este proyecto de vivienda de 60 m² se tomó como base la *Metodología de cálculo de rezago habitacional* de la CONAVI, en el cual se establecen los materiales regulares de una vivienda que no está en estado de rezago ni hacinamiento.

$mat_pared_i =$	1	Material de desecho
	2	Lámina de cartón
	3	Lámina de asbesto o metálica
	4	Carrizo, bambú o palma
	5	Embarro o bajareque
	6	Madera
	7	Adobe
	8	Tabique, ladrillo, block, piedra, cantera, cemento o concreto

$mat_techos_i =$	1	Material de desecho
	2	Lámina de cartón
	3	Lámina metálica
	4	Lámina de asbesto
	4	Lámina de fibrocemento ondulada (techo fijo)
	5	Palma o paja
	6	Madera o tejamanil
	7	Terrado con vigería
	8	Teja
	9	Losa de concreto o viguetas con bovedilla
10		

$mat_pisos_i =$	1	Tierra
	2	Cemento firme
	3	Madera, mosaico u otro recubrimiento

Ilustración 17. Materiales para determinación del rezago en la vivienda 2008-2018 de la Metodología del cálculo del rezago habitacional por CONAVI.

Como se puede apreciar en la Ilustración 17. Materiales para determinación del rezago en la vivienda 2008-2018, se tomaron en cuenta los materiales con los niveles más altos en cuanto a nivel de calidad en la vivienda para el proyecto arquitectónico de este trabajo de investigación. Se eligieron muros de mampostería, piso de loseta con entre piso de losa de concreto.

Para la parte de la instalación eléctrica y las cargas térmicas de la vivienda se utilizaron datos estadísticos nacionales de usos de energía, electrodomésticos y ocupantes por vivienda recopilados de la Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (INEGI, 2018).

Los datos relevantes usados de esta encuesta para retomar en el proyecto de vivienda fueron los siguientes:

DATOS ESTADISTICOS ENCEVI 2018 PARA CALIBRACIÓN DE MODELO ENERGÉTICO	
CONCEPTOS	DATOS
NUMERO PROMEDIO DE HABITANTES POR VIVIENDA	4 Habitantes.
NUMERO DE FOCOS PROMEDIO POR VIVIENDA	10 a 11 focos. 8.6% Viviendas tienen este numero.
TIPO DE FOCOS USADOS EN PROMEDIO	COMPACTAS FLUORESCENTES usados en el 71.6% de las viviendas.
Numero de focos en Cocina	2 focos
Numero de focos en Sala comedor	3 o mas focos
Numero de focos en Baño	1 foco
Numero de focos en Recamara	2 focos
Numero de focos en Otras áreas	1 focos
ELECTRODOMESTICOS MAS USADOS Y TIEMPO DE USO	-
Microondas	10 min al dia
Licuadaora	10 min al dia
Batidora	10 min al dia
Cafetera	10 min al dia
Tostador	10 min al dia
UNIDAD DE AC MAS USADA EN EL PAIS	Mini split de encendido / apagado
UNIDAD DE CALEFACCION MAS USADA EN EL PAIS	Calefactor eléctrico
AISLAMIENTO TERMICO EN VIVIENDA POR REGION	
Region calida extrema	15% tiene aislamiento termico
Region templada	1.5% con aislamiento térmico
Region tropical	1.5% con aislamiento térmico
TIPO DE AISLAMIENTO EN EL 15% DE VIVIENDAS CON AISLAMIENTO EN REGION CALIDA	Aislamiento en Techo 89.6%

Ilustración 18. Datos estadísticos relevantes para el proyecto arquitectónico y el calibrado de modelo energético de la ENCEVI 2018 realizada por el INEGI.

Con estos datos se procedió a realizar el proyecto arquitectónico de la vivienda. Se modeló en 3D en el programa REVIT 2019 de Autodesk la vivienda de interés social de esta tesis.

La vivienda se proyectó como parte de un conjunto horizontal de vivienda orientado de norte a sur y está distribuida en dos plantas. Por tema de orientación y que su supone la vivienda tiene viviendas contiguas al este y oeste, no se consideran ventanas en estas orientaciones.

Este mismo proyecto será analizado en los municipios de Cuajimalpa, Mérida y Hermosillo. En cada ciudad se verá si el proyecto de vivienda cumple o no con la NOM 020 ENER 2011, usando la herramienta de cumplimiento de dicha norma creado por la CONUEE y se simulará tanto el escenario donde no se cumple la norma como el escenario donde si se cumple la norma para poder cuantificar los consumos y poderlos comparar.

Cuando el proyecto de vivienda no pase la norma, se harán cambios a nivel de elección de materiales y sistemas de construcción para poderla pasar, creándose así el escenario donde sí se cumple la norma. **Cabe mencionar que no es el alcance de este trabajo de investigación el simular y determinar la eficiencia térmica de soluciones pasivas arquitectónicas fuera de la ventilación natural.** La simulación y cálculo de ahorro energético de soluciones pasivas arquitectónicas podría ser una futura línea de investigación que emane de este trabajo de tesis. Lo que sí es del alcance de este trabajo de investigación es demostrar que la NOM 020 ENER 2011 no es intrusiva, condicionante o limitante del quehacer arquitectónico ni de la creatividad del arquitecto y que puede generar ahorros financieros y energéticos importantes para el sector de la vivienda en México.

4.3 Envolverte arquitectónica y modelo energético.

Proyecto arquitectónico. Envolverte.

El proyecto arquitectónico realizado en REVIT 2019 se muestra a continuación:

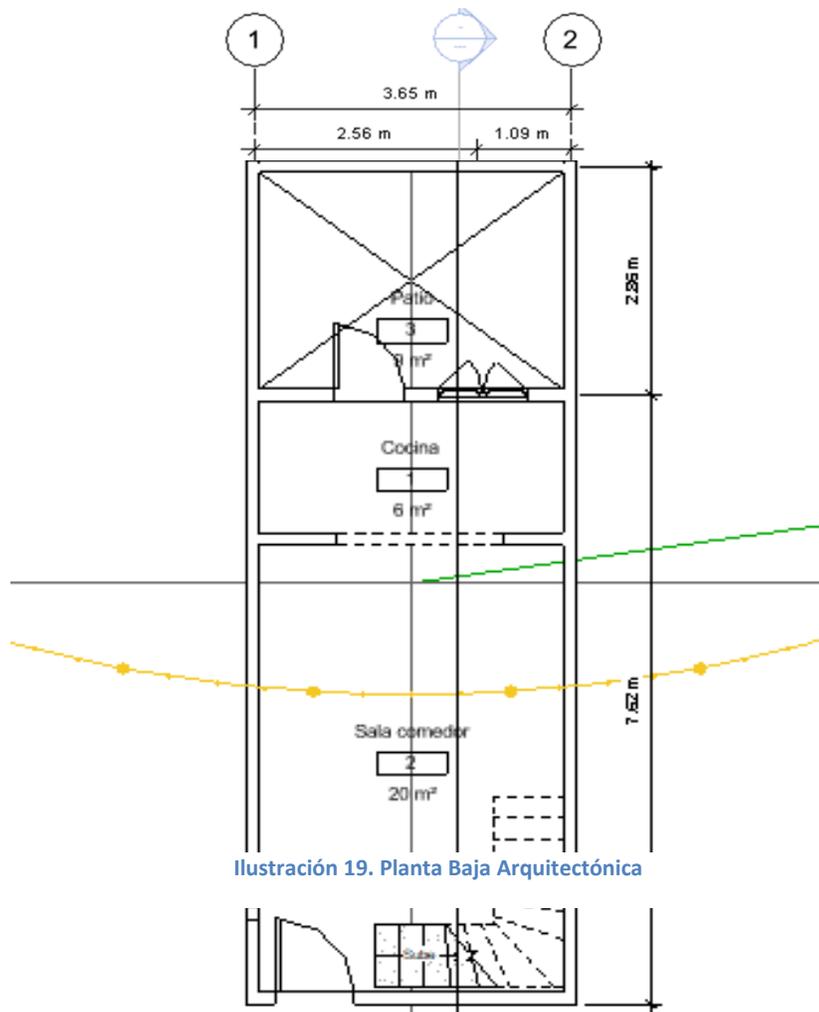


Ilustración 19. Planta Baja Arquitectónica

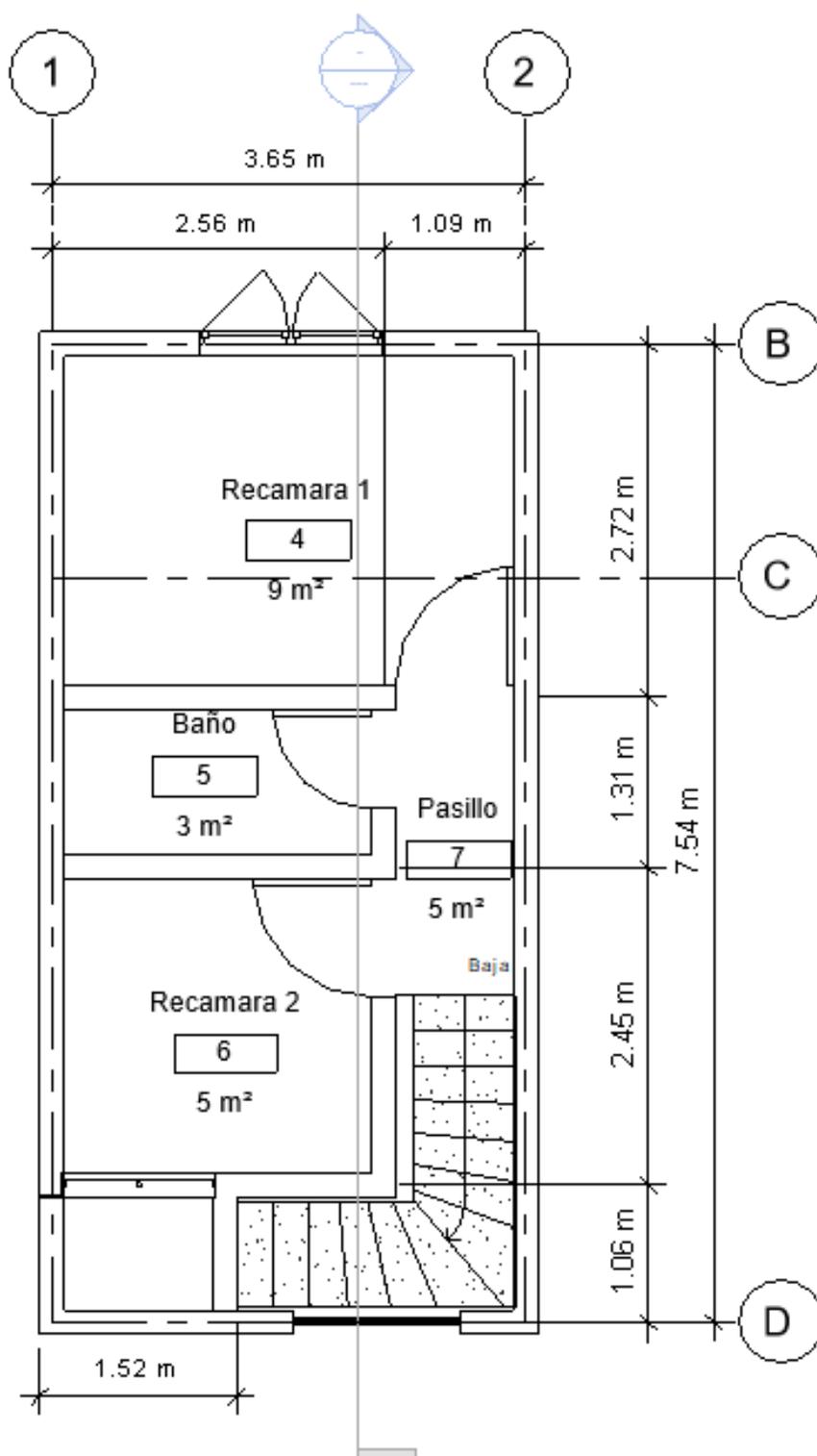


Ilustración 20. Planta Alta arquitectónica.

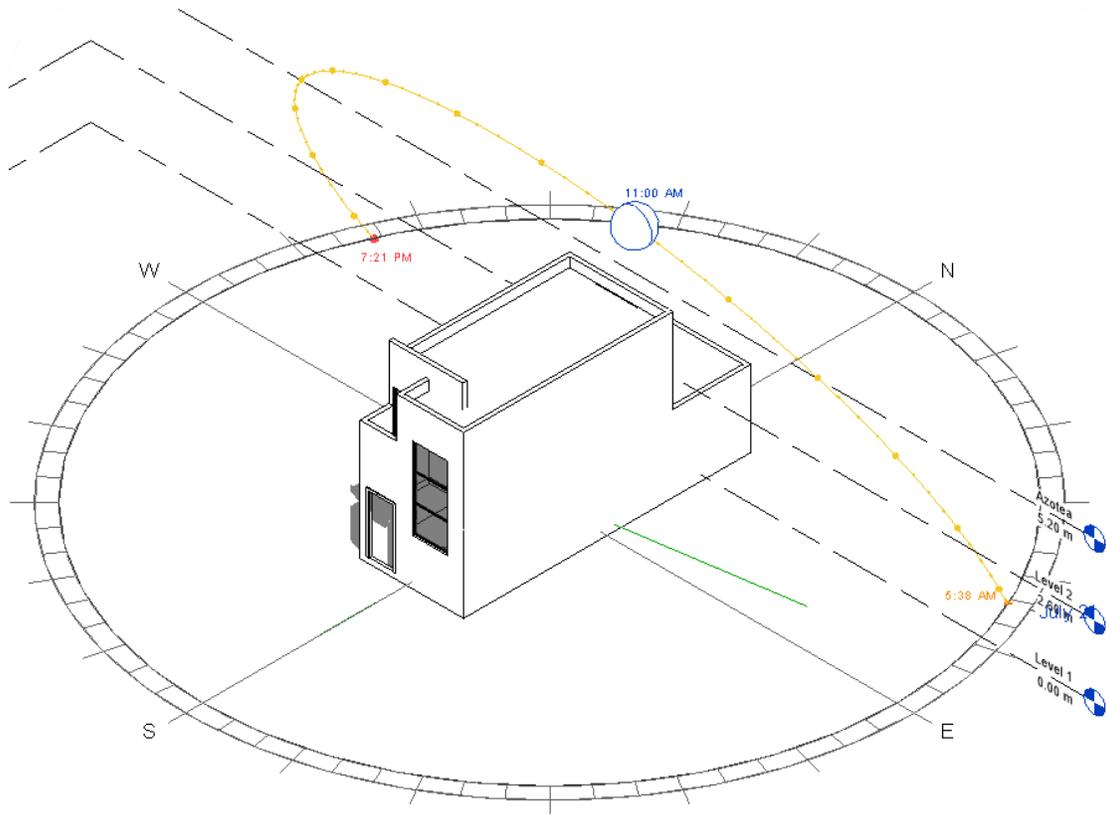


Ilustración 21. Isométrico, fachada este.

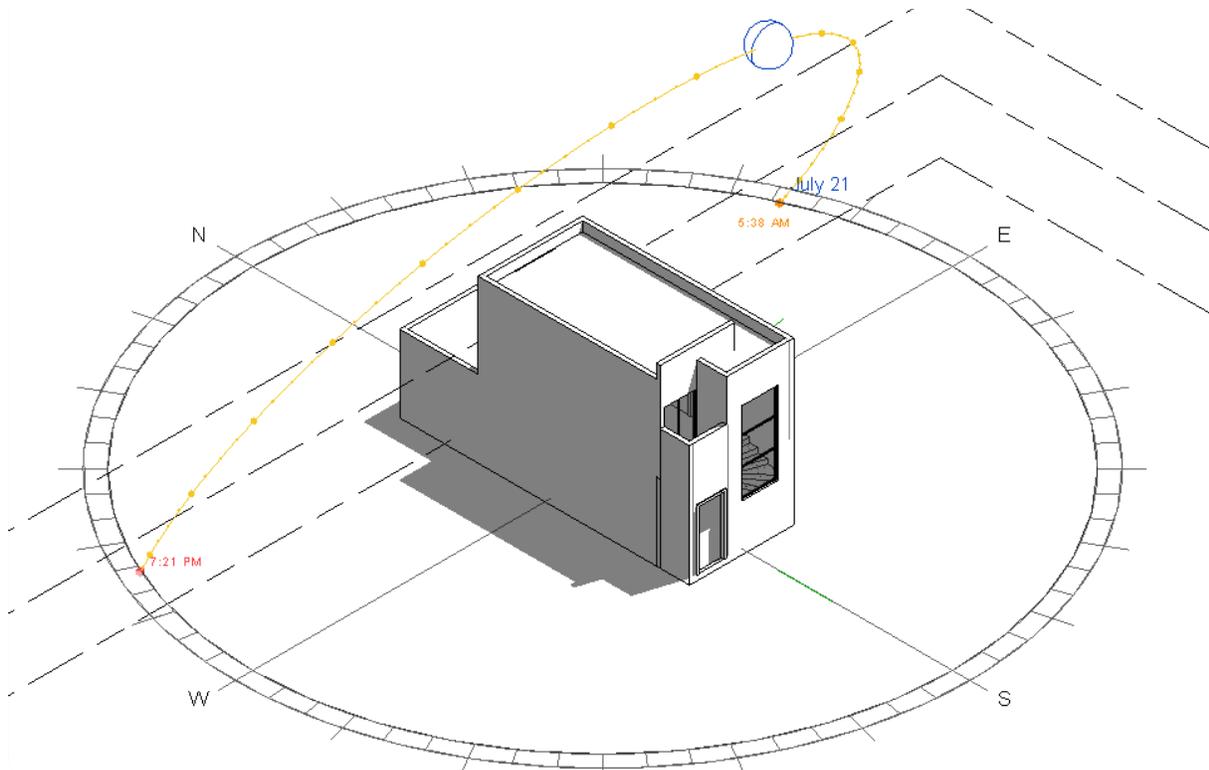


Ilustración 22. Isométrico, Fachada oeste.

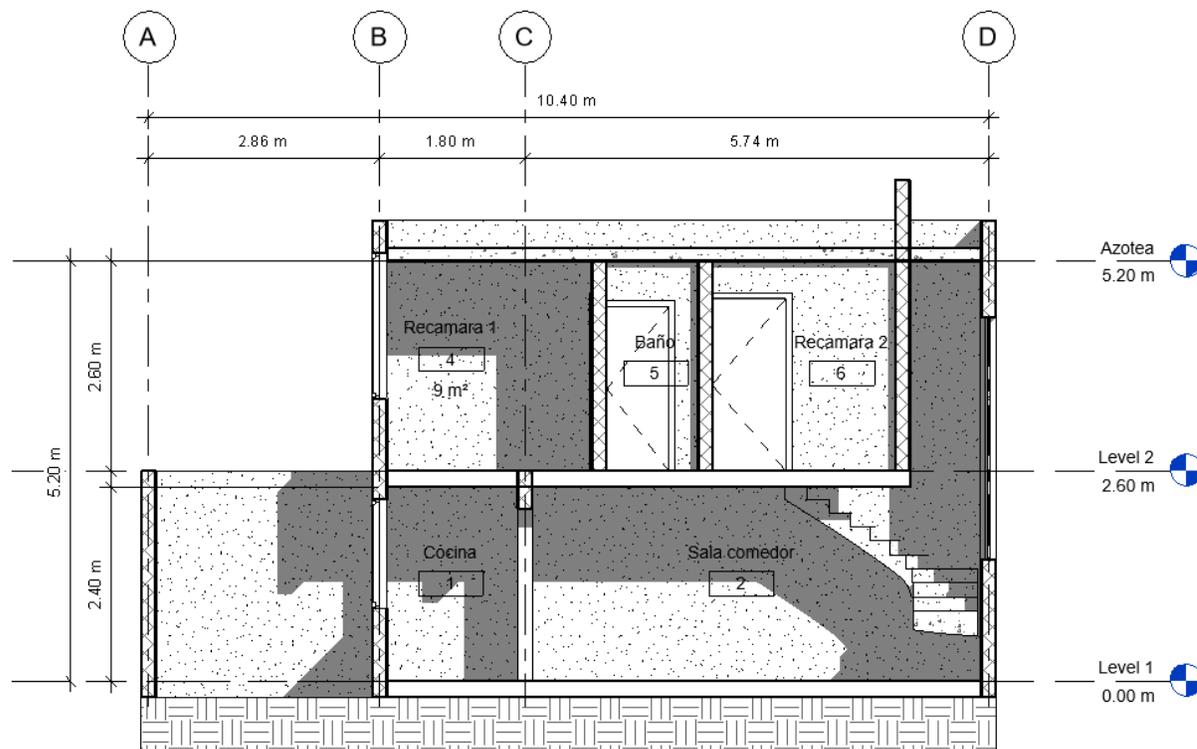


Ilustración 23. Corte de norte a sur, proyecto arquitectónico

Modelo energético (EnergyPlus)

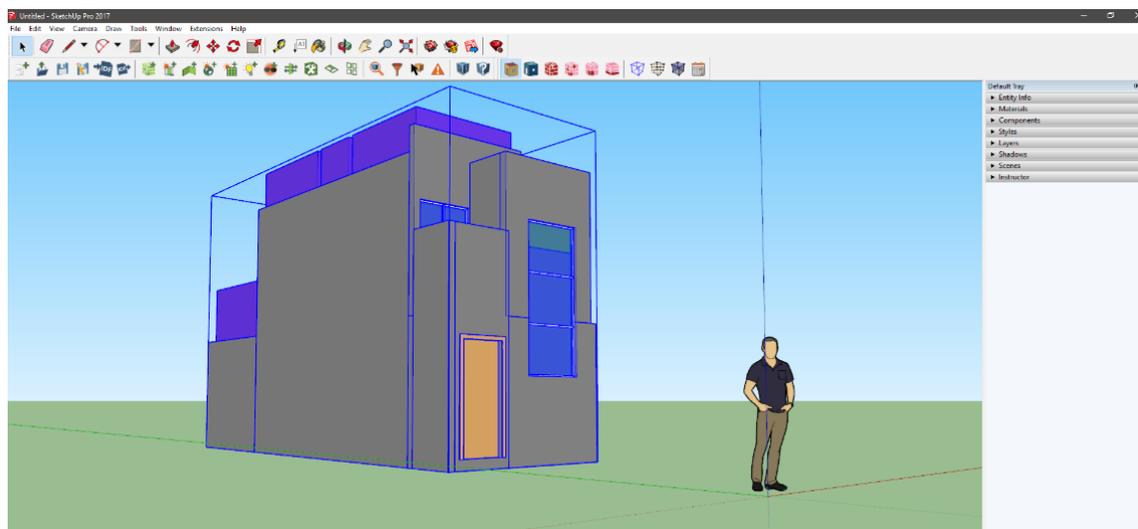


Ilustración 24. Exportación de geometría básica de Revit 2019 a SketchUp y OpenStudio/ EnergyPlus

En la Ilustración 24. Exportación de geometría básica de Revit 2019 a SketchUp y OpenStudio/ EnergyPlus se muestra la geometría básica de la vivienda a analizar. Esta, para poder ser trabajada en

EnergyPlus, se tuvo que importar como IFC a SketchUp con plugin de OpenStudio para poder los tipos de espacio y las zonas térmicas.

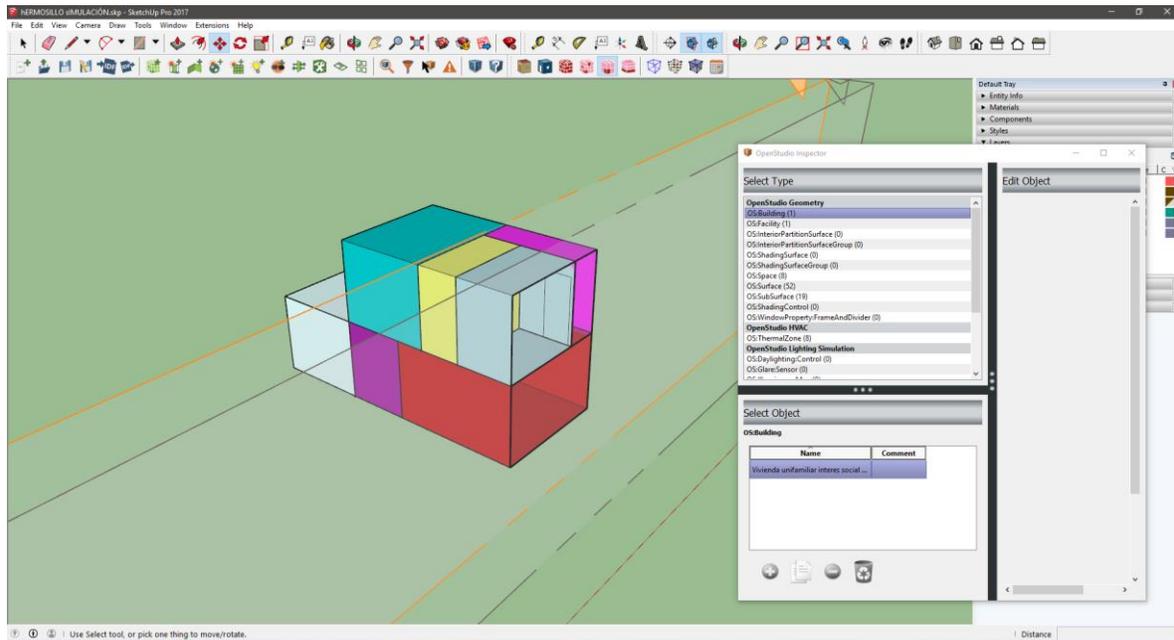


Ilustración 25. Creación de tipos de espacio y zonas térmicas a partir de la geometría básica importada a SketchUp con plugin OpenStudio/EnergyPlus

Más adelante en este documento de investigación se explicará a detalle cómo fue la creación y calibrado de este modelo energético. Hasta aquí se cubre la parte del modelado geométrico y de zonas térmicas. Ilustración 24. Exportación de geometría básica de Revit 2019 a SketchUp y OpenStudio/EnergyPlus

4.4 Elección de motor de simulación energética.

El motor de simulación energética elegido para este tema de investigación es EnergyPlus.

Actualmente en el mercado de los programas de la simulación energética existen varios programas, cada uno con un área de especialización. El más usado actualmente es el programa eQuest, si bien es rápido en su arrojo de resultados estos pueden no ser exactos ni tan realistas como con el motor EnergyPlus.

EnergyPlus cuenta con una mejor simulación de efectos de radiación, los cuales son

fundamentales para un clima como el de Hermosillo o Mérida. EQuest cuenta con una limitante para la simulación de ciertos equipos de aire acondicionado como los de tipo VRF (Variable Refrigerant Flow) y no ha sido tan ágil en la adopción de simulación de sistemas más actuales como los paneles fotovoltaicos.

Las unidades de medida de esta simulación serán: m², m³, kWh, toneladas de refrigeración, moneda nacional MXN.

Los umbrales de medición a emplearse eran los kWh ahorrado con respecto del modelado de control usando reglamento local de Hermosillo sin inclusión de NOM de eficiencia energética.

Este es el listado de equipo que se empleara para la simulación energética

- PC de escritorio con procesador Core I7 4770K, 20GB de RAM, tarjeta gráfica Ge Force GTX 970 y SSD de 250 GB.
- SketchUp PRO 2017 version de 64bits para WINDOWS 10
- OpenStudio v28.8 (con motor Energy Plus) y su plugin para SketchUp.
- Autodesk Revit 2019.
- Excel 2016

4.5 Delimitaciones de la investigación.

Las delimitaciones que tiene este tema de investigación son las siguientes:

Casos de estudio situados en Hermosillo Sonora, Cuajimalpa CDMX y Mérida, Yucatán.

- Aplicado solo a vivienda de interés social de alrededor de 60 m² en conjunto habitacional horizontal.
- Cuantificación de kWh y MXN ahorrados.

- **Solo se analiza la NOM 020 ENER 2011 en los casos de estudio ya que a la fecha es la norma que no cuenta con adopción alguna.**

4.6 Cálculo de ahorro económico y energético en los escenarios.

Para poder realizar estos cálculos de ahorro se realizará la cuantificación de kWh al mes que se dejan de consumir en viviendas de tipo “*Vivienda Popular Hasta 158*” y esto cuánto dinero (MXN) implica en ahorros.

Se usará la metodología de la NOM 020 ENER 2011 en su inciso 7. El planteamiento está acotado a las ganancias y pérdidas de calor en la vivienda al de tres ciudades distintas al usar y no usar la NOM 020 ENER 2011. Con esto se calcula el potencial de ahorro económico a nivel vivienda y a nivel municipio al extrapolar los datos con la oferta de vivienda municipal al 2019.

Los datos con los cuales se hará el cálculo horario de temperatura y humedad horaria por un año serán los datos normales de las estaciones meteorológicas del sistema meteorológico nacional:

- Estación 26066 Palo Verde, Hermosillo, Sonora. Tiene datos de 1951 a 2010.
- Estación 9030 correspondiente a La Venta Cuajimalpa Tiene 35 años de datos.
- Estación 31043 de la CONAGUA en Mérida, Yucatán. Tiene 45 años de datos recolectados.

Al tener más de treinta años de mediciones se mitiga la probabilidad de error en el cálculo de temperatura y humedad horaria.

V.Cálculo y simulación energética de los tres casos de estudio

Para este capítulo se realizó tanto un cálculo como una simulación energética hecha por computadora. La diferencia entre uno y otro es que el cálculo es uno realizado en Excel, usando datos de los dos días más críticos de año; el día más cálido y el día más frío del año. Mientras que la simulación energética hace uso de datos de los 365 días del año y hace uso de EnergyPlus como simulador de eficiencia energética.

La razón de estas dos tareas es la de llevar a cabo dos de los objetivos específicos de este trabajo de investigación:

- Calcular los ahorros energéticos (GWh) y económicos que se habrían ahorrado en tres estados de la republica de haber adoptado la NOM 020 ENER 2011 en el 2019.
- Calcular y simular el consumo energético de los casos de estudio, con y sin cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011, para determinar el porcentaje de ahorro energético y financiero posible.

Tanto el cálculo como la simulación se sitúan en los tres municipios elegidos para los casos de estudio. En el caso del cálculo, el cual al solo usar 48 horas de cálculo, se dividen en simulaciones del día más cálido y día más frío del año para tener una idea general del comportamiento de la vivienda en el año. Por cada uno de estos días más extremos del año tenemos 4 escenarios; Sin ventilación y sin adopción de la norma, Con ventilación y sin adopción de la norma, Sin ventilación y con adopción de la norma y Con ventilación y adopción de la norma para ver cómo se comporta la vivienda en estos supuestos. En total el cálculo tiene 24 escenarios.

En el caso de la simulación igualmente tenemos los tres municipios de los casos de estudio y cada uno de estos tiene 4 escenarios; con HVAC sin cumplir NOM, con HVAC cumpliendo NOM, ventilación natural sin cumplir NOM y ventilación natural cumpliendo NOM. Alcanzando 12

escenarios para la simulación. En total se realizaron 36 escenarios, tanto de cálculo como de simulación, como se puede apreciar en la Ilustración 26.

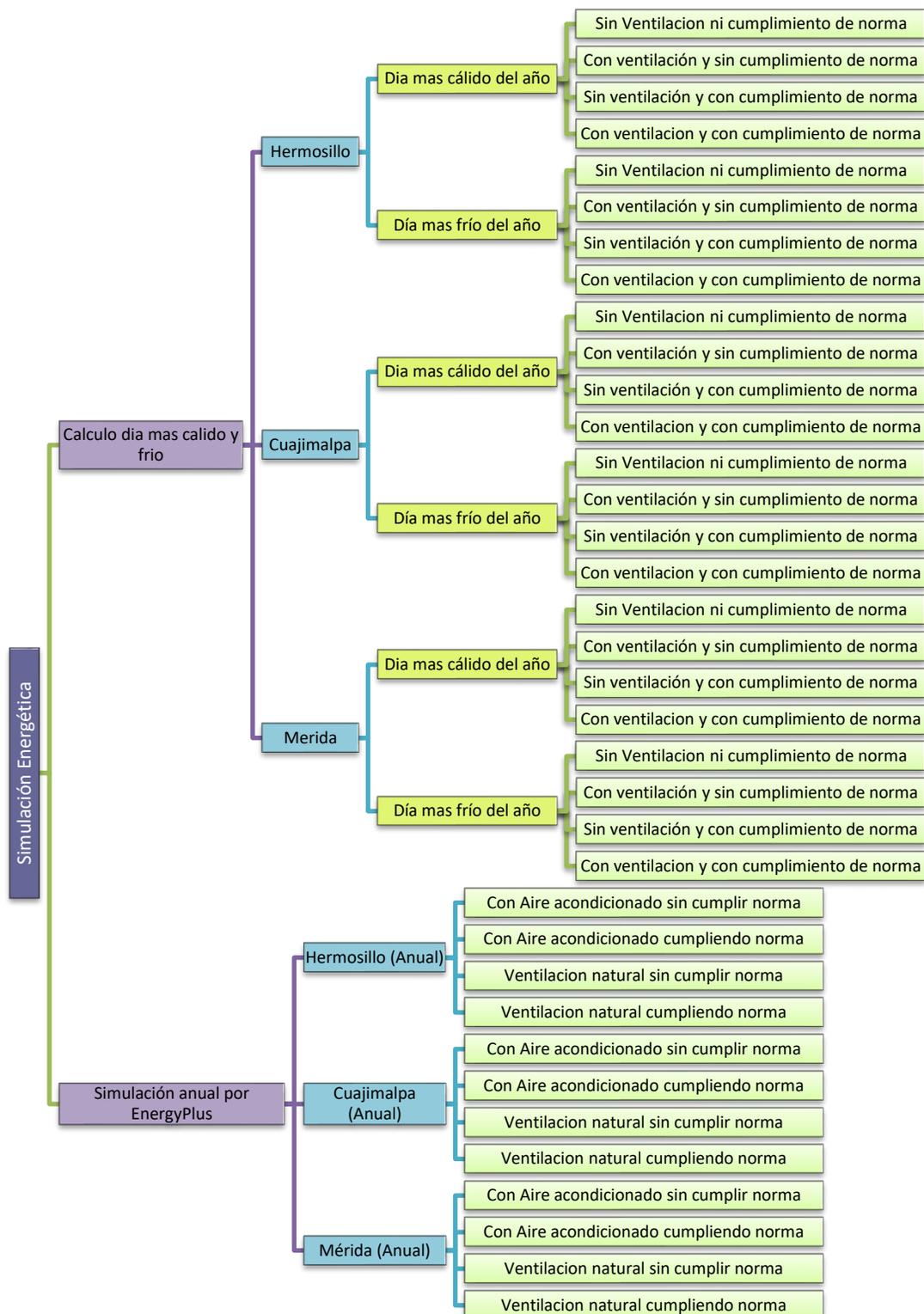


Ilustración 26. Diagrama de casos de estudio y escenarios de simulación energética de día mas cálido y más frío y simulación anual por EnergyPlus

En el caso de cálculo la línea base a tomar serían los escenarios “Con ventilación y sin cumplimiento de la norma” ya que son los más cercano a la realidad. En la simulación por EnergyPlus, esta no es del todo comparable con la simulación manual por la diferencia de datos introducidos (2 días vs 365 días) y sus líneas base serán “Con Aire acondicionado y sin cumplimiento de la norma.”

Una vez teniendo los resultados de estas 36 simulaciones se hará una comparación en cada Municipio entre el proyecto base que no cumpla la norma y el proyecto modificado en materiales que si cumpla la norma. Esto tanto en la simulación manual como en la simulación por EnergyPlus. Con esas comparativas de resultados se determinará el porcentaje de ahorro financiero y energético posible con la implementación de la norma en cada municipio.

A continuación, se presentan de los cálculos manuales que se realizaron para cada caso de estudio.

5.1 Resultados del cálculo del día más cálido y más frío del año de Hermosillo.

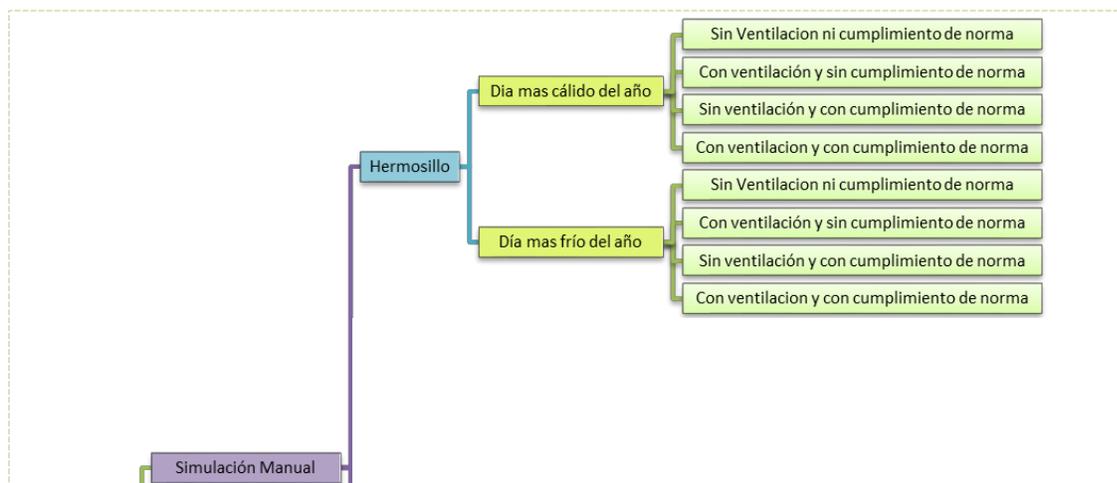
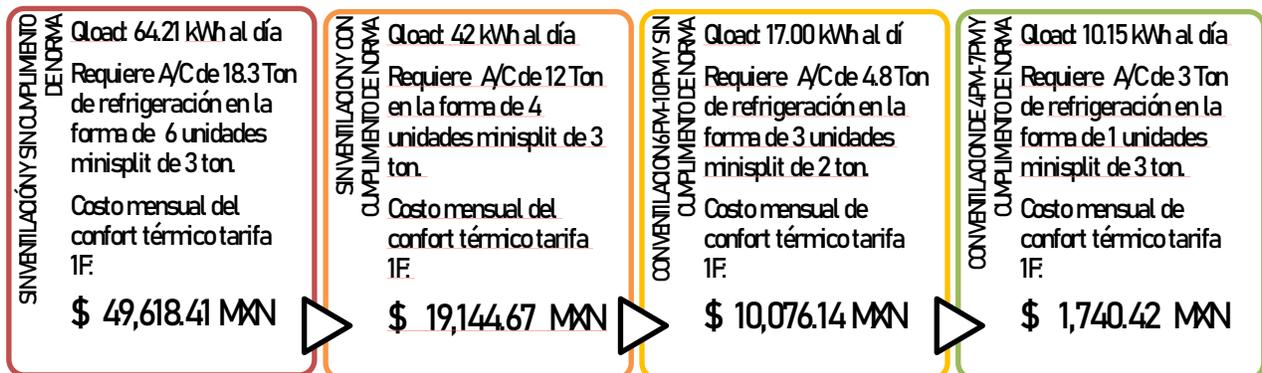


Ilustración 27. Simulaciones manuales de Hermosillo sonora.

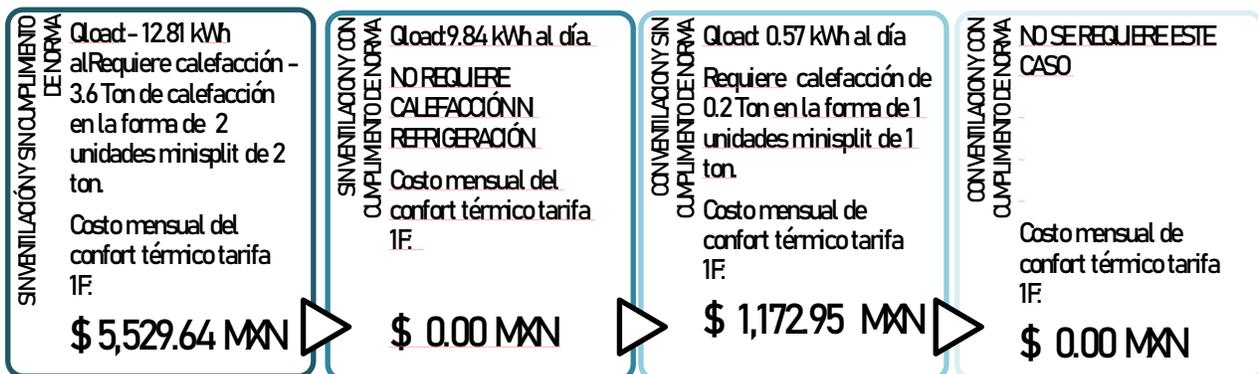
Las simulaciones que se mostrarán a continuación son las realizadas de manera manual para el municipio de Hermosillo, Sonora. Como se puede apreciar en la Ilustración 27, el cálculo para Hermosillo se dividen en escenarios para el día más cálido del año y el día más frío del año. Esto se debe a que por la naturaleza manual de los cálculos solo se tomarán en cuenta las 24

horas más cálidas y las 24 horas más frías del año para determinar las temperaturas más extremas a las cuales puede llegar la vivienda proyectada y así tener una aproximado de como esta se comporta.

Día más cálido.



Día más frío.



Revisar [ANEXO II: Calculo del día más frio y día más cálido de Hermosillo](#) en la página 140 para leer el detalle del cálculo de este caso.

5.2 Resultados del cálculo del día más cálido y más frío del año del caso de estudio Cuajimalpa, CDMX.

Para tener un punto de comparación con los climas de los otros casos de estudio, se tomó la alcaldía de Cuajimalpa como ejemplo de un clima templado.

Se usó el mismo proyecto arquitectónico y la misma orientación para el análisis de este caso de estudio. Este se llevó a cabo de la misma manera que el caso de estudio de Hermosillo.

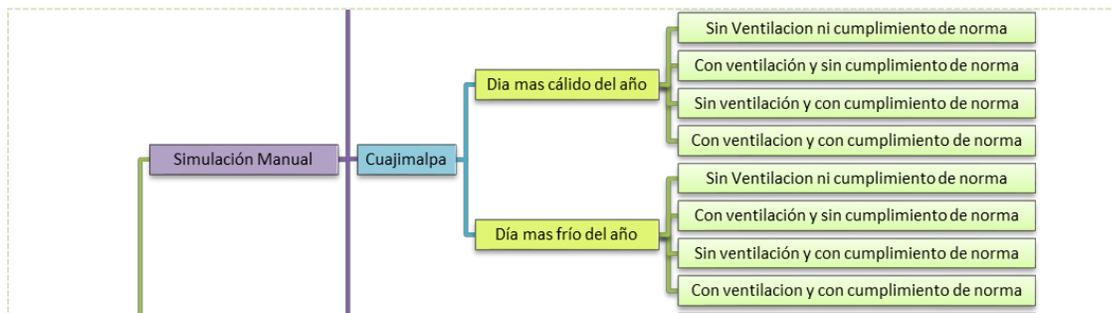


Ilustración 28. Estructura de trabajo para el caso de estudio de Cuajimalpa.

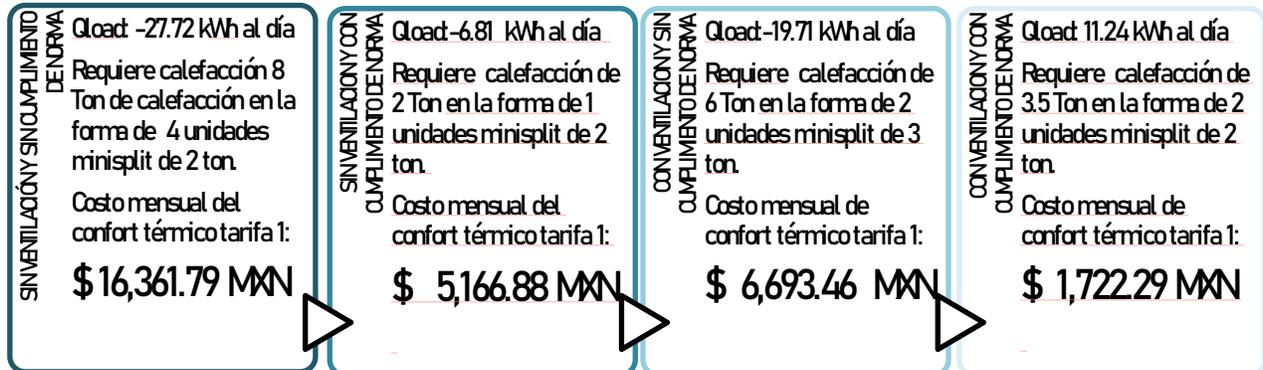
Se harán cálculos manuales para los días más cálido y más frío del año, mismos que cuentan con cuatro escenarios cada uno.

Día más cálido, Cuajimalpa.

SIN VENTILACIÓN Y SIN CUMPLIMIENTO DE NORMA	<p>Qload: -5.69 kWh al día Requiere calefacción de 1.6 Ton en la forma de 1 unidad minisplit de 2 ton por 6 hrs Costo mensual del confort térmico tarifa 1:</p> <p>\$ 1,273.66 MXN</p>	SIN VENTILACIÓN Y CON CUMPLIMIENTO DE NORMA	<p>Qload: 3.18 kWh al día o 96.67 kWh al mes. NO REQUIERE CALEFACCIÓN REFRIGERACIÓN Costo mensual del confort térmico tarifa 1:</p> <p>\$ 0.00 MXN</p>	CON VENTILACIÓN Y SIN CUMPLIMIENTO DE NORMA	<p>Qload: 1.88 kWh al día Requiere A/C de 0.5 Ton de refrigeración en la forma de 1 unidad minisplit de 1 ton. Costo mensual de confort térmico tarifa 1:</p> <p>\$ 522.65 MXN</p>	CON VENTILACIÓN Y CON CUMPLIMIENTO DE NORMA	<p>Qload: 16.18 kWh al día o 491.87 kWh al mes. NO REQUIERE CALEFACCIÓN REFRIGERACIÓN Costo mensual de confort térmico tarifa 1:</p> <p>\$ 0.00 MXN</p>
---	---	---	--	---	---	---	---

Día más frío, Cuajimalpa.

En este caso podemos ver que los gastos de operación fuertes se vienen en los meses fríos, a diferencia de Hermosillo donde funciona, al contrario. Sin embargo, cumpliendo la norma usando los materiales térmicamente eficientes ya citados es posible eliminar la necesidad de calefacción o refrigeración en verano y minimizar el gasto de calefacción en invierno.



Revisar [ANEXO III: Calculo día más frio y día más cálido de Cuajimalpa](#) en la página 155 para leer el detalle del cálculo de este caso.

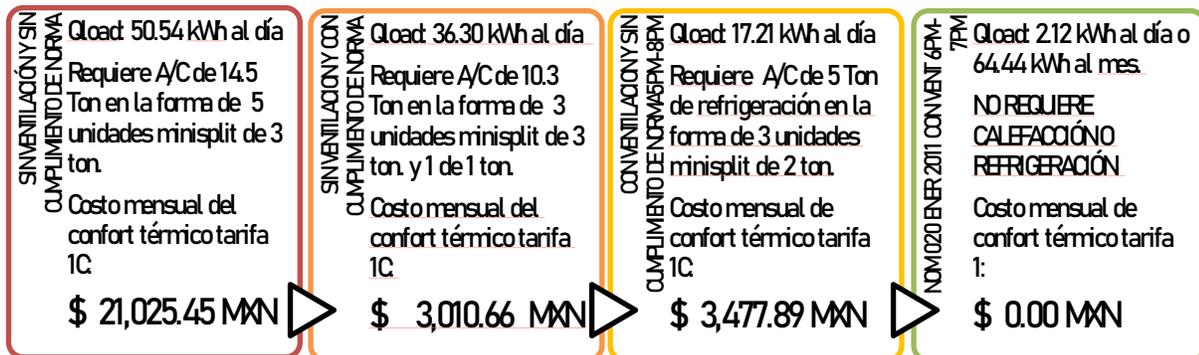
5.3 Resultados del cálculo del día más cálido y más frío del año para Mérida, Yucatán.

Como muestra de los tipos de clima cálidos húmedos de tomo la ciudad de Mérida en Yucatán, para poder comparar este caso con los de los climas cálido árido y templado subhúmedo.

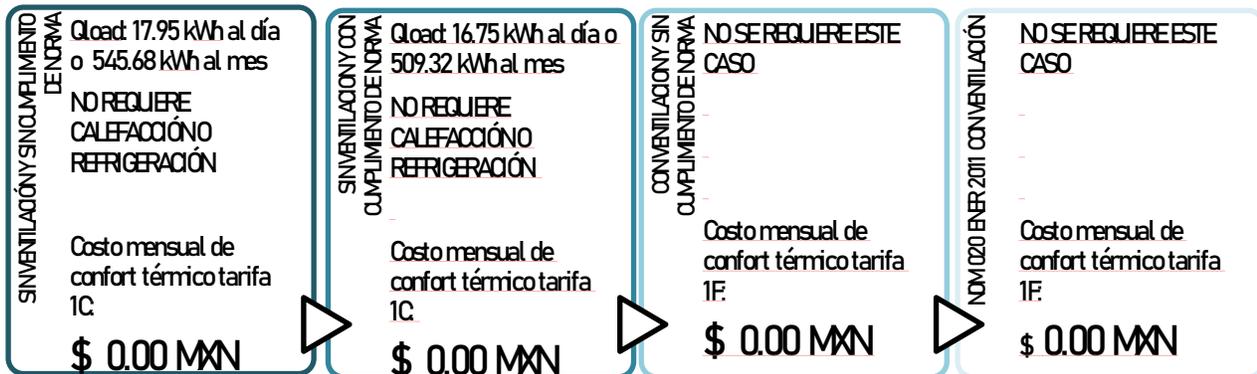
Al igual que los otros dos casos de estudio anteriores se hará uso del mismo proyecto original y las mismas variantes que analizamos en los casos anteriores:



Día más cálido, Mérida.



Día más frío, Mérida.



Revisar [ANEXO IV: Calculo día más frio y día más cálido de Mérida](#) en la página 170 para leer el detalle del cálculo de este caso.

5.4 Resultados de la simulación energética anual con EnergyPlus.

Consideraciones generales.

A demás de las simulaciones manuales por día de diseño en los tres casos de estudio. Se realizaron las correspondientes simulaciones energéticas en el simulador EnergyPlus a través de OpenStudio.

Hay diferencias en el cómo se realizan las simulaciones de este programa a como se realizaron las simulaciones manuales presentadas anteriormente.

Primero, la simulación en EnergyPlus se hace de manera anual y con días de diseño. Eso significa que se calculan las 8,760 horas existentes en un año. Los días de diseño se usan para hacer el cálculo de dimensionamiento del equipo de HVAC requerido.

Segundo, se trata de una simulación más completa y precisa que la manual por que analiza el comportamiento climatológico del sitio durante las 8,760 horas del año, dos días de diseño y utiliza los estándares ASHRAE 55 adaptivo y/o tipo PMV para la determinación de los estándares de confort. Este estándar, entre otros factores, toma en cuenta el índice de arropamiento de los usuarios al interior de la vivienda, lo cual no ocurre con la fórmula de Auliciems usada en la determinación de los rangos de confort de las simulaciones manuales. Esto puede generar cambios importantes en la determinación de horas de refrigeración o calefacción necesarias y sus costos de operación.

Tercero, debido a la forma en que funciona el programa se modelaron los espacios interiores de la vivienda. En la simulación manual se toma todo como un único espacio interior.

Los archivos de clima anuales empleados en el programa son archivos .epw, los cuales se consiguieron de:

[http://climate.onebuilding.org/WMO Region 4 North and Central America/MEX Mexico/index.html](http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_4_North_and_Central_America/MEX_Mexico/index.html)

Se usaron los archivos de clima más cercanos a la región analizada en los casos de estudio y se usaron los días de diseño precargados más parecidos en condiciones a los usados en las simulaciones manuales.

Calibración de modelos.

La calibración de modelos, al tratarse de un modelo de vivienda de interés social analizado en diferentes puntos de la república mexicana, se realizó tomando en cuenta datos estadísticos de usos de energía recopilados en la *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares* (ENCEVI) 2018.

Los datos relevantes usados de esta encuesta para calibrar el modelo fueron los siguientes:

DATOS ESTADÍSTICOS ENCEVI 2018 PARA CALIBRACIÓN DE MODELO ENERGÉTICO	
CONCEPTOS	DATOS
NUMERO PROMEDIO DE HABITANTES POR VIVIENDA	4 Habitantes.
NUMERO DE FOCOS PROMEDIO POR VIVIENDA	10 a 11 focos. 8.6% Viviendas tienen este numero.
TIPO DE FOCOS USADOS EN PROMEDIO	COMPACTAS FLUORESCENTES usados en el 71.6% de las viviendas.
Numero de focos en Cocina	2 focos
Numero de focos en Sala comedor	3 o mas focos
Numero de focos en Baño	1 foco
Numero de focos en Recamara	2 focos
Numero de focos en Otras áreas	1 focos
ELECTRODOMESTICOS MAS USADOS Y TIEMPO DE USO	-
Microondas	10 min al dia
Licudora	10 min al dia
Batidora	10 min al dia
Cafetera	10 min al dia
Tostador	10 min al dia
UNIDAD DE AC MAS USADA EN EL PAIS	Mini split de encendido / apagado
UNIDAD DE CALEFACCION MAS USADA EN EL PAIS	Calefactor eléctrico
AISLAMIENTO TERMICO EN VIVIENDA POR REGION	
Region calida extrema	15% tiene aislamiento termico
Region templada	1.5% con aislamiento térmico
Region tropical	1.5% con aislamiento térmico
TIPO DE AISLAMIENTO EN EL 15% DE VIVIENDAS CON AISLAMIENTO EN REGION CALIDA	Aislamiento en Techo 89.6%

Tabla 7. Datos estadísticos relevantes para el calibrado de modelo energético del ENCEVI 2018.

Todos estos datos se ingresaron en el simulador en forma de *Schedules, loads o materiales*.

Revisar ANEXO VI: Calibración de modelo de acuerdo a datos del ENCEVI 2018, en la página 211 para leer el detalle de la calibración.

Simulación de los casos de estudio por EnergyPlus.

En esta sección de la tesis de investigación se mostrarán los resultados obtenidos de hacer las simulaciones por computadora.

Los casos simulados por este método se dividen de acuerdo a esta estructura ya mostrada con anterioridad para el trabajo de simulación.

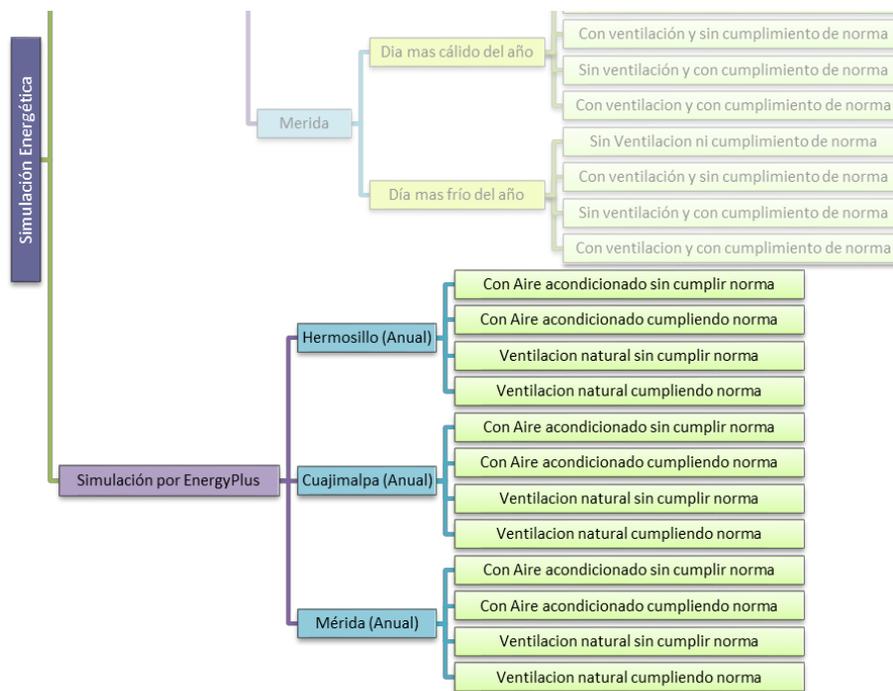
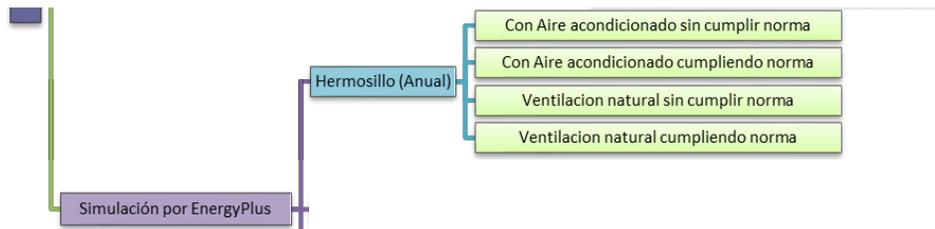


Ilustración 29. Estructura de trabajo para los casos de estudio por simulación por EnergyPlus

Caso de Estudio Hermosillo Sonora.

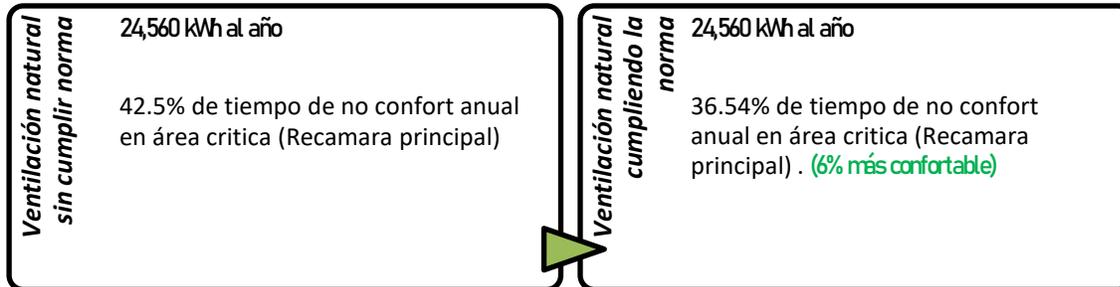


Al igual que en las simulaciones manuales de día más cálido y más frío, en las simulaciones por EnergyPlus y OpenStudio se manejan cuatro escenarios por caso de estudio: Con Aire acondicionado sin cumplir norma, Con aire acondicionado cumpliendo norma, ventilación natural sin cumplir norma y ventilación natural cumpliendo la norma.

Con Aire acondicionado sin cumplir norma	29,356 kWh al año Requiere AC de 5.8 Toneladas de refrigeración Requiere 2.1 Toneladas de calefacción Costo anual del confort térmico de acuerdo al Costo promedio del kWh en tarifa 1F II/2017 CFE (1.35 mxn/kWh): \$39,630.6 MXN	Con Aire acondicionado cumpliendo la norma	20,194.46 kWh al año (31.2% Ahorro) Requiere AC de 2.7 Toneladas de refrigeración Requiere 1.1 Toneladas de calefacción Costo anual del confort térmico de acuerdo al Costo promedio del kWh en tarifa 1F II/2017 (1.35 mxn/kWh): \$27,262.52 MXN (31.2% Ahorro)
---	---	---	---

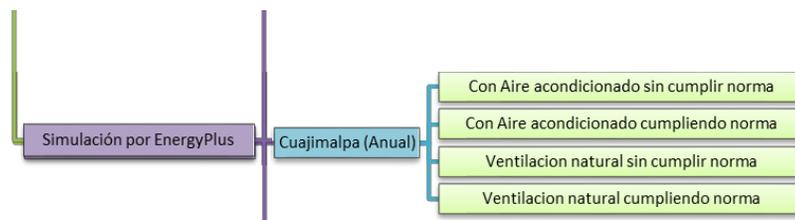
Ventilación natural

Si bien bajan las horas de no confort anuales, el tiempo que pasan las recamaras y la sala en condiciones de no confort sigue siendo elevado. Esto indicaría que para cumplir con el ASHRAE 55-2017 se deben hacer uso de otras medidas diferentes a la ventilación natural programada.

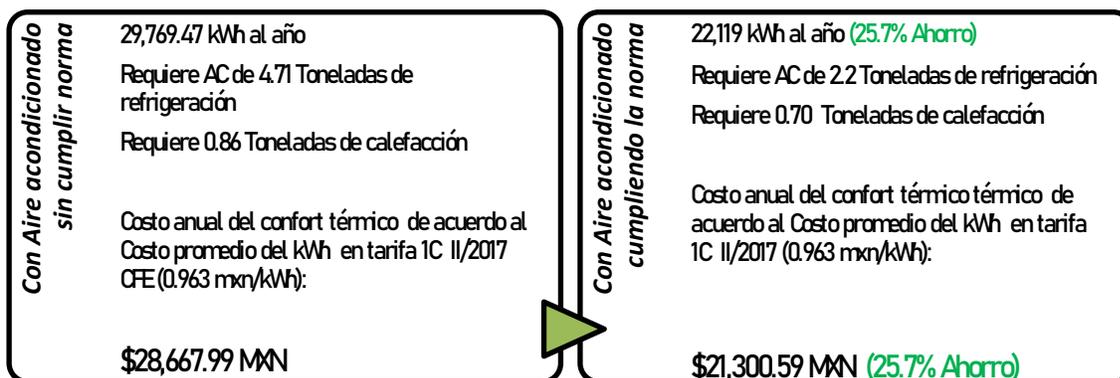


Revisar ANEXO V.2 - Caso de estudio Hermosillo, Sonora. en la página 189 para leer el detalle de la simulación de este caso.

Caso de Estudio Mérida Yucatán.



Al usar la NOM 020 ENER 2011 se reduce el consumo de 107.17 GJ a 79.63 GJ (disminución de 27.54 GJ) y al igual que en el caso de Hermosillo se redujeron los porcentajes de tiempo de no confort. Quedando el porcentaje más alto de 2.51% en la escalera y pasillo. En cuanto a la capacidad del equipo de HVAC, se requieren 2.2 toneladas de refrigeración y 0.7 de calefacción.



Ventilación natural

En el caso de cumplir con la NOM 020 ENER 2011, hay una mejoría marginal en los tiempos de no confort. Lo cual confirma que en los escenarios de ventilación natural requieren no solo de una ventilación natural, sino de una des humidificación activa o pasiva del aire que ingresa a la vivienda en el caso de Mérida. Los resultados de este escenario de ventilación natural con cumplimiento de la norma se presentan a continuación:

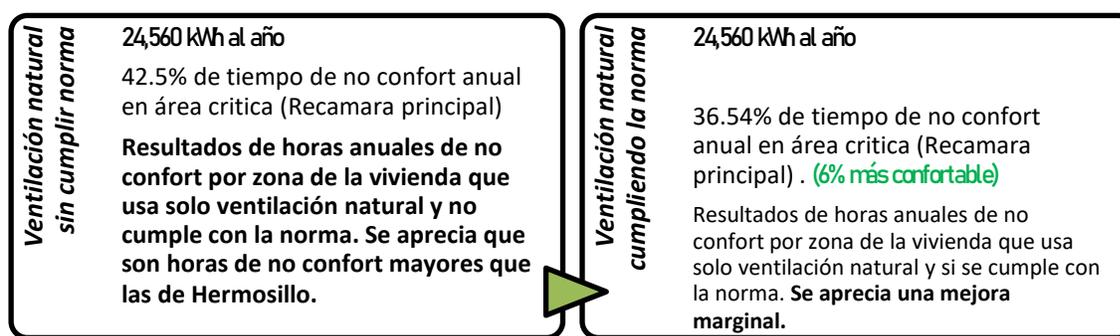


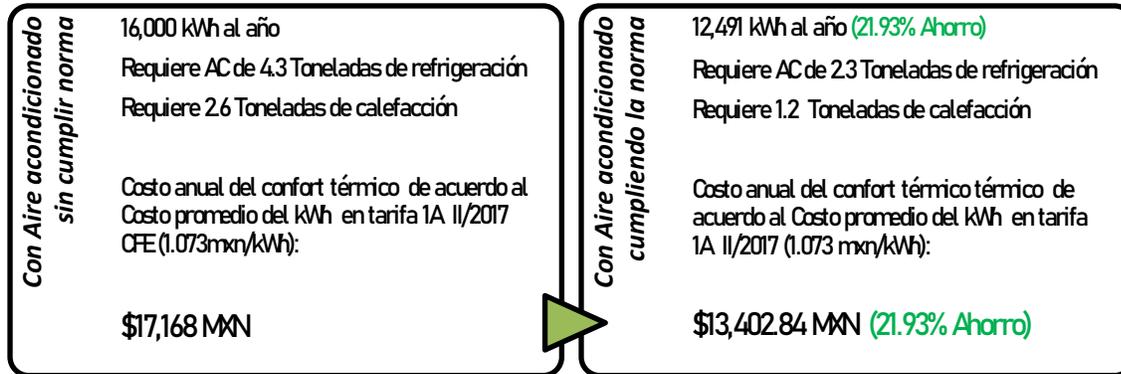
Ilustración 30. Resultados de ventilación natural y cumplimiento o no cumplimiento de la Norma.

Revisar ANEXO V.3 - Caso de estudio Mérida, Yucatán en la página 198 para leer el detalle de la simulación de este caso.

Caso de Estudio Cuajimalpa CDMX.

Al igual que en los otros dos casos anteriores vemos una reducción importante del tamaño de los equipos requeridos de acuerdo a la simulación y los rangos de confort del ASHRAE 55. Pasamos a 2.3 Ton de refrigeración y 1.2 Ton de calefacción.

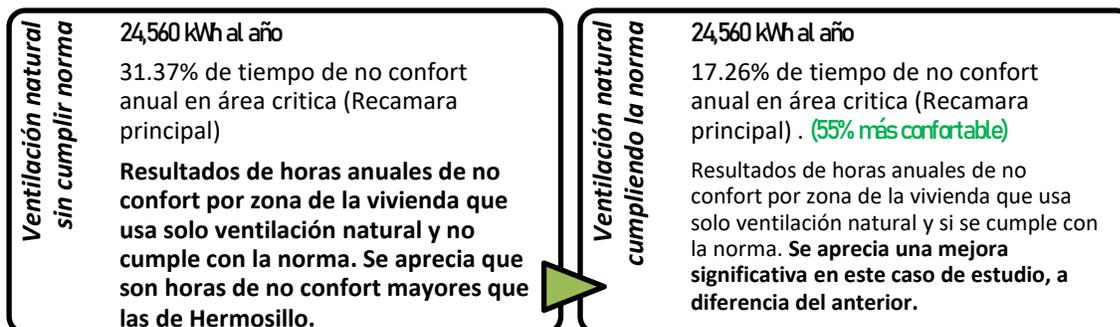
En general en Cuajimalpa difícilmente se usan equipos de calefacción aun cuando la simulación y el estándar indican que si sería útil usarlos para alcanzar los rangos de confort estudiados. Esto podría deberse a que las personas usan niveles de arropamiento superiores a las especificadas en el ASHRAE 55, el cual llega hasta un nivel 1 de arropamiento y a una aclimatación de la población.



Ventilación

Como podemos ver en las horas y porcentajes de no confort de acuerdo al ASHRAE 55, las recamaras son las que sufren mayores tiempos de no confort especialmente cuando el usuario tiene ropa de verano, el tiempo de no confort disminuye al usar ropa de invierno (CLO cercano a 1).

Haciendo uso de la NOM los tiempos sin confort se reducen a menos de 18 % en el más incómodo de los casos. Se observa una reducción general de los tiempos sin confort de casi el 50%.



Revisar ANEXO V.4 - Caso de Estudio Cuajimalpa CDMX. en la página 205 para leer el detalle de la simulación de este caso.

Potenciales de ahorro energético en los estados con caso de estudio.

De acuerdo al *Sistema de Información Energética* estos son los consumos en Giga Watts hora de energía eléctrica de cada estado durante el año 2019.

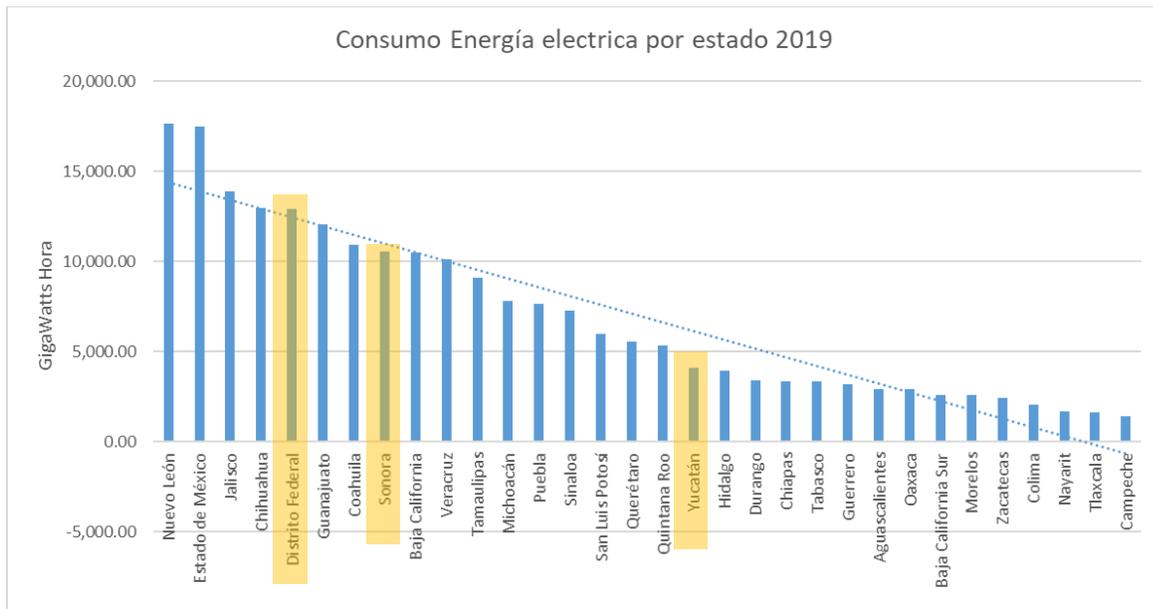


Ilustración 31. Gráfica de consumo anual de energía eléctrica por estado, en Giga Watts para el año 2019 se acuerdo al SIE.

Sistema de Información Energética		
Secretaría de Energía		
Dirección General de Planeación e Información Energéticas		
Consumo de energía eléctrica por entidad federativa		
Total Nacional	GWh	
Año	I/2019	%
Entidad federativa	218,929.60	100.00%
Nuevo León	17,655.40	8.06%
Estado de México	17,489.40	7.99%
Jalisco	13,851.20	6.33%
Chihuahua	12,949.70	5.92%
Distrito Federal	12,910.50	5.90%
Guanajuato	12,033.90	5.50%
Coahuila	10,920.20	4.99%
Sonora	10,553.50	4.82%
Baja California	10,489.80	4.79%
Veracruz	10,112.00	4.62%
Tamaulipas	9,100.70	4.16%
Michoacán	7,807.70	3.57%
Puebla	7,610.50	3.48%
Sinaloa	7,256.10	3.31%
San Luis Potosí	5,982.90	2.73%
Querétaro	5,543.90	2.53%
Quintana Roo	5,297.40	2.42%
Yucatán	4,107.80	1.88%
Hidalgo	3,919.80	1.79%
Durango	3,383.10	1.55%
Chiapas	3,339.70	1.53%
Tabasco	3,336.10	1.52%
Guerrero	3,177.00	1.45%
Aguascalientes	2,911.30	1.33%
Oaxaca	2,900.10	1.32%
Baja California Sur	2,595.90	1.19%
Morelos	2,553.20	1.17%
Zacatecas	2,418.60	1.10%
Colima	2,058.50	0.94%
Nayarit	1,656.00	0.76%
Tlaxcala	1,625.40	0.74%
Campeche	1,388.30	0.63%

Ilustración 32. Tabla de consumo de energía eléctrica por estado para el 2019, en giga watts. (Sistema de Información energética, 2019)

Las entidades federativas donde se llevan a cabo los casos de estudio están marcadas en amarillo en la tabla. Siendo el Distrito Federal el 5° lugar nacional en consumo energético con un 5.9%, Sonora el 8° con el 4.82% y Yucatán el 18° con 1.88% de consumo de energía eléctrica.

De este total de energía eléctrica nacional, el destinado al sector residencial es el siguiente:

Consumo Nacional de energía en los sectores residencial, comercial y público 2019	Petajoules	GWh.
Residencial	748.936	208,037.77
Energía solar	7.885	2,190.27
Leña	247.919	68,866.38
Total de petrolíferos	231.043	64,178.61
Gas licuado	231.043	64,178.61
Querosenos	0	0
Gas seco	29.94	8,316.66
Electricidad	232.148	64,485.55

Tabla 8. Consumo Nacional de Energía en los sectores: Residencial, comercial y público 2019.

La cantidad de petajoules de energía eléctrica destinados al sector residencial en 2019 son 237.148 PJ. Este consumo convertido a Giga Watts hora es de: **64,485.55 GWh¹⁴**. A partir de esta cifra podemos calcular cuántos GWh consume cada uno de los estados en los que tenemos casos de estudio.

El total de consumo nacional de energía eléctrica es de **218,929.60 GWh**, de este total, **64,485.55 GWh** se destinaron al sector residencial, o sea que **el 29.45% se usa en el sector residencial**. Extrapolando estos datos podemos calcular que las ciudades donde tenemos casos de estudio tienen los siguientes consumos de energía eléctrica en el sector residencial:

- **El DF consume 12,910.50 GWh x 29.45% = 3,802.14 GWh**
- **Sonora consume 10,553.50 GWh x 29.45% = 3,108.20 GWh**
- **Yucatán consume 4,107.80 GWh x 29.45% = 1,209.74 GWh**

A continuación, se analizarán las potencialidades de ahorro en energía y en pesos mexicanos que pudieron haber tenido cada uno de los estados y municipios de los casos de estudio.

¹⁴ 1 Petajoule equivale a 277.77 GWh.

Ciudad de México.

Durante el 2019, en el Distrito Federal se registró la construcción de 5,867 viviendas nuevas.

Inventario de Vivienda Al 30 de abril de 2021

Año: 2019 a diciembre Aceptar

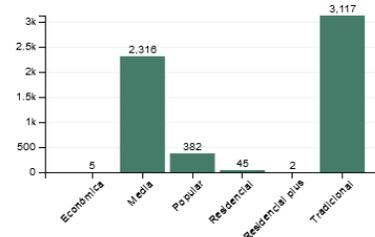
Estado



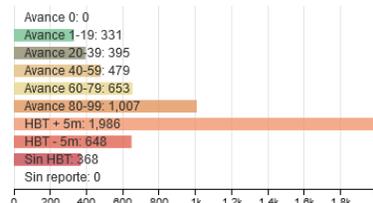
Total (viviendas)

5,867

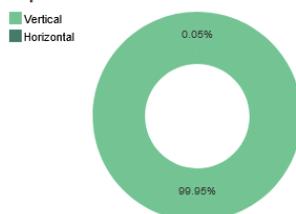
Segmento



Avance de Obra



Tipo de Vivienda



Segmento UMA

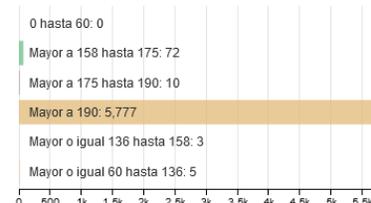


Ilustración 33. Registro de vivienda del 2019 del D.F. Accesado en <https://sniiv.conavi.gob.mx/oferta/index.aspx>

De estas 5,867 viviendas nuevas registradas 3 son de tipo horizontal y el resto de tipo vertical. De estas 5,867 viviendas 382 son de tipo popular. Debido a que la vivienda propuesta en este documento de investigación es de tipo horizontal y estas tienen una presencia prácticamente nula en el Distrito federal, el potencial de ahorro durante el 2019 no sería relevante. Para poder determinar un potencial de ahorro para el Distrito Federal, se debería generar una nueva tesis de investigación con un prototipo de vivienda de tipo vertical (departamento).

Sonora.

En Sonora, durante el 2019 se registraron 6,206 viviendas nuevas en el estado.

Año: 2019 a diciembre Aceptar

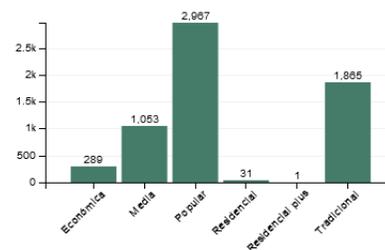
Estado



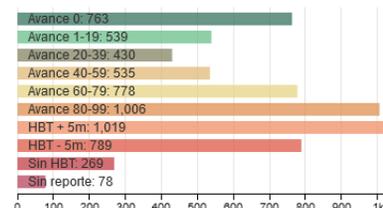
Total (viviendas)

6,206

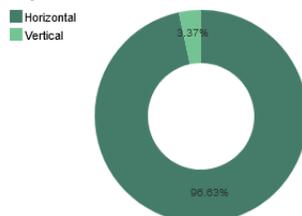
Segmento



Avance de Obra



Tipo de Vivienda



Segmento UMA

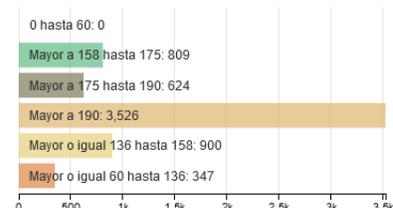


Ilustración 34. Registro de vivienda del 2019 de Sonora. Accesado en <https://sniiv.conavi.gob.mx/oferta/index.aspx>

De estas 6,206 viviendas, el 96% a nivel estatal (5,997 viviendas) son de tipo horizontal. De estas 5,997 viviendas horizontales, 3,170 se encuentran ubicadas en el Municipio de Hermosillo. Si a estas 3,170 viviendas horizontales en Hermosillo le descontamos las viviendas que son de tipo residencial tenemos 3,145 (CONAVI, 2019) viviendas que cumplen con las características generales de la vivienda tipo del caso de estudio de Hermosillo, Sonora.

En el caso de todo Sonora tenemos 5,965 viviendas a nivel estatal que cumplen con las características generales de la vivienda tipo del caso de estudio.

Retomando los resultados de la simulación energética para el caso de Hermosillo, las 3,145 de viviendas similares en el municipio y la tabla de precios medios de energía eléctrica por tarifa anual que tenemos a continuación, podemos calcular el ahorro energético en GWh y pesos mexicanos.

Sin NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	105.69	29,358.36	1,796.05	1,796.05

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	20,283.26	7,212.22		3.00	5.8	2.1

Con NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	72.70	20,194.46	1,199.49	1,235.36

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	9,505.47	3,871.83		3.00	2.70	1.10

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** vemos marcado en amarillo el precio medio del GWh para la tarifa doméstica 1F, que es la que Hermosillo tiene asignada.

Sistema de Información Energética			
Secretaría de Energía			
Descripción		\$/kWh	\$/GWh
Precios medios de energía eléctrica por tarifa anual		I/2017	I/2017
Total Nacional Annual			1.516
Residencial			1.094
1 Doméstico			0.972
1A Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 25°C			0.973
1B Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 28°C			0.961
1C Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 30°C			1.046
1D Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 31°C			1.024
1E Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 32°C			0.937
1F Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 33°C			0.964
DAC Doméstico Alto Consumo			3.888

Ilustración 35. Precios medios de energía eléctrica por tarifa residencial anual para la tarifa 1F. (Sistema de Información energética, 2019)

S O N O R A	Escenario Simulación	Consumo en GWh vivienda caso de estudio	Consumo Monetario vivienda caso de estudio	Porcentaje de Ahorro de GWh vivienda caso de estudio	GWh de viviendas similares Hermosillo	Consumo Monetario viviendas similares Hermosillo	GWh de viviendas similares en Sonora	Consumo Monetario viviendas similares en Sonora
	Sin NOM y con HVAC	0.0294	\$28,341.60	0	92.46	\$89,134,332.00	175.37	\$169,057,644.00
	Con NOM y con HVAC	0.0201	\$19,376.40	-31.63	63.21	\$60,938,778.00	119.90	\$115,580,226.00
	Total de Ahorros Municipales	0.0093	\$8,965.20	31.63%	29.25	\$28,195,554.00	55.47	\$53,477,418.00
	Total viviendas Similares a caso de estudio	3,145	5,965					
	Hermosillo	Todo Sonora						

Ilustración 36. Ahorros municipales posibles de adoptar la NOM 020 ENER 2011 en los reglamentos de construcción de Hermosillo Sonora.

En total, de haber estado implementada la NOM 020 ENER 2011 durante 2019, el municipio de **Hermosillo habría ahorrado aproximadamente 29.25 GWh de consumo eléctrico, lo cual habría significado un ahorro de \$28,195,554.00 MXN.** Este ahorro municipal representa un 0.94% del total del consumo eléctrico estatal de Sonora. A nivel estatal el ahorro aproximado habría sido de 55.47 GWh, equivalente a **\$53,477,418.00 MXN, lo cual equivale a un 1.78%.** Si bien estos porcentajes pueden parecer bajos, estos son únicamente por las viviendas nuevas ofrecidas durante el año 2017. Estos porcentajes de ahorro se irían concatenando con los de años subsecuentes de tener adoptada y aplicada la NOM 020 ENER 2011.

Yucatán.

Inventario de Vivienda Al 30 de abril de 2021

Año: 2019 a diciembre Aceptar

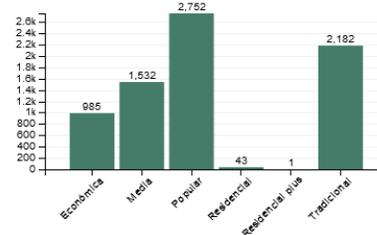
Estado



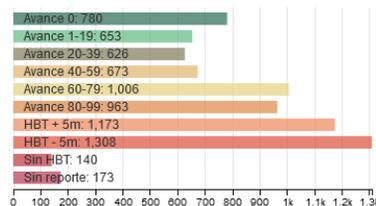
Total (viviendas)

7,495

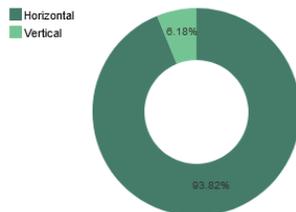
Segmento



Avance de Obra



Tipo de Vivienda



Segmento UMA

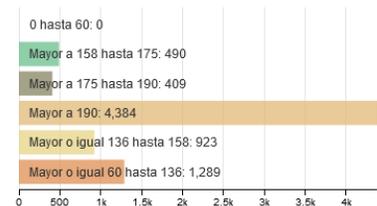


Ilustración 37. Registro de vivienda del 2019 de Yucatán. Accedido en <https://sniiv.conavi.gob.mx/oferta/index.aspx>

En Yucatán, durante el 2019 se registraron 7,495 viviendas nuevas en el estado. De estas viviendas nuevas el 93.82% son de tipo horizontal como la propuesta en el caso de estudio, o sea 7,032. Descontando las viviendas horizontales de tipo residencial, tenemos 6,988 viviendas similares al caso de estudio a nivel estatal. De estas 6,988 viviendas similares al caso de estudio en el estado, tenemos 5,052 en el municipio de Mérida.

Como en el análisis previo de Sonora, tomaremos los resultados de la simulación energética anual de Mérida, las 5,052 de viviendas similares en el municipio y la tabla de precios medios de energía eléctrica por tarifa anual que tenemos a continuación, para calcular el ahorro energético en GWh y pesos mexicanos.

Sin NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	107.17	29,769.47	1,821.13	1,821.13

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	16,558.39	3,041.66		3.00	4.71	0.86

Con NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	79.63	22,119.46	1,313.95	1,353.24

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	7,572.81	2,395.98		3.00	2.2	0.7

En la figura 66 vemos marcado en amarillo el precio medio del GWh para la tarifa doméstica 1C, que es la que Mérida tiene asignada.

Sistema de Información Energética			
Secretaría de Energía			
Descripción		\$/kWh	\$/GWh
Precios medios de energía eléctrica por tarifa anual		I/2017	I/2017
Total Nacional Annual		1.516	1,516,000.00
Residencial		1.094	1,094,000.00
1 Doméstico		0.972	972,000.00
1A Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 25°C		0.973	973,000.00
1B Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 28°C		0.961	961,000.00
1C Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 30°C		1.046	1,046,000.00
1D Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 31°C		1.024	1,024,000.00
1E Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 32°C		0.937	937,000.00
1F Doméstico para localidades con temp. media mínima en verano de 33°C		0.964	964,000.00
DAC Doméstico Alto Consumo		3.888	3,888,000.00

Ilustración 38. Precios medios de energía eléctrica por tarifa residencial anual para la tarifa 1C. (Sistema de Información energética, 2019)

YUCATÁN	Escenario Simulación	Consumo en GWh vivienda caso de estudio	Consumo Monetario vivienda caso de estudio	Porcentaje de Ahorro de GWh vivienda caso de estudio	GWh de viviendas similares Mérida	Consumo Monetario viviendas similares Mérida	GWh de viviendas similares en Yucatán	Consumo Monetario viviendas similares en Yucatán
	Sin NOM y con HVAC	0.0294	\$30,752.40	0	148.53	\$155,361,124.80	205.45	\$214,897,771.20
	Con NOM y con HVAC	0.0201	\$21,024.60	-31.63	101.55	\$106,216,279.20	140.46	\$146,919,904.80
	Total de Ahorros Municipales	0.0093	\$9,727.80	31.63%	46.98	\$49,144,845.60	64.99	\$67,977,866.40
	Total viviendas Similares a caso de estudio	5,052	6,988					
		Mérida	Yucatán					

Ilustración 39. Ahorros municipales posibles de adoptar la NOM 020 ENER 2011 en los reglamentos de construcción de Yucatán Mérida.

En total, de haber estado implementada la NOM 020 ENER 2011 durante 2019, el municipio de Mérida habría ahorrado aproximadamente 46.98 GWh de consumo eléctrico, lo cual habría significado

un ahorro de \$49,144,845.60 MXN. Este ahorro municipal representa un 3.88% del total del consumo eléctrico estatal de Yucatán. A nivel **estatal el ahorro aproximado habría sido de 64.99 GWh**, equivalente a **\$67,977,866.40 MXN, lo cual equivale a un 5.37%** del consumo estatal anual. Estos porcentajes son más altos debido a que se construyó un número mayor de viviendas similares al caso de estudio. Al igual que en el análisis de Sonora estos porcentajes de ahorro se irían concatenando con los de años subsecuentes de tener adoptada y aplicada la NOM 020 ENER 2011.

Discusión y resultados.

En este apartado del presente trabajo de investigación se comentarán los resultados obtenidos en las dos partes de esta tesis: Mapeo y simulación.

I. Discusión del mapeo de estados y municipios.

Habiendo realizado un análisis municipio por municipio y estado por estado de cómo estaban las condiciones de los reglamentos de construcción, es de llamar la atención que solamente el 40% del terreno nacional este cubierto por reglamentos. Si bien existe un libro de construcciones en los códigos administrativos de los municipios, este aborda temas básicos de la tramitología, características de las edificaciones y requisitos de los permisos para que las autoridades locales otorguen licencias de construcción, entre otros trámites relacionados con el quehacer arquitectónico. No se compara con el detalle técnico y de proyecto al que pueden llegar reglamentos estatales como los de la ciudad de México y sus Normas Técnicas Complementarias. Aunado a una capacitación renovada y replanteada para las normas 008 y 0020 se tendría también que hacer un empuje para que los municipios o en su defecto los estados generen sus reglamentos de construcción, que estos sean revisados cada 5 años y que se integren las NOM oficiales pertinentes a la eficiencia energética y otros temas relacionados con la construcción.

Cuando se ve que en décadas únicamente se tiene un 40% del territorio nacional con reglamentos de construcción ya no se ve tan descabellado ese porcentaje del 5% de adopción tras veinte y diez años respectivamente de la publicación de las normas NOM 008 ENER 2001 y NOM 020 ENER 2011.

Una estrategia de incrementar este porcentaje de adopción podría ser un proyecto a nivel nacional de creación y revisión de reglamentos de construcción. Si pudiera generarse algún tipo de incentivo federal para los municipios adoptantes se podría incluso estar abordando la barrera de la falta de voluntad política para la adopción.

Otra estrategia posible sería que la CFE solicitara e certificado de cumplimiento de la NOM 008 ENER 2011 Y NOM 020 ENER 2011 para generar contratos de conexión a la red de energía

eléctrica. Como se ha hecho con otras normas. Sin embargo, analizar estas posibilidades serían líneas futuras de investigación sobre este tema.

II. Discusión de resultados simulación energética manual y por EnergyPlus.

Después de demostrar al gremio y a los posibles usuarios de vivienda que la NOM 020 ENER 2011 no es difícil de cumplir, no es disruptiva desde el punto de vista de proyecto arquitectónico, ni implica la elección de materiales difíciles de conseguir en el mercado mexicano o que estos sean de muy alto costo.

Discusión del caso de estudio de Hermosillo, Sonora.

Podemos constatar que efectivamente el consumo mensual de energía en la vivienda proyectada es mayor al promedio de consumo de viviendas similares en el resto de la república, que es de 180 kWh al mes.

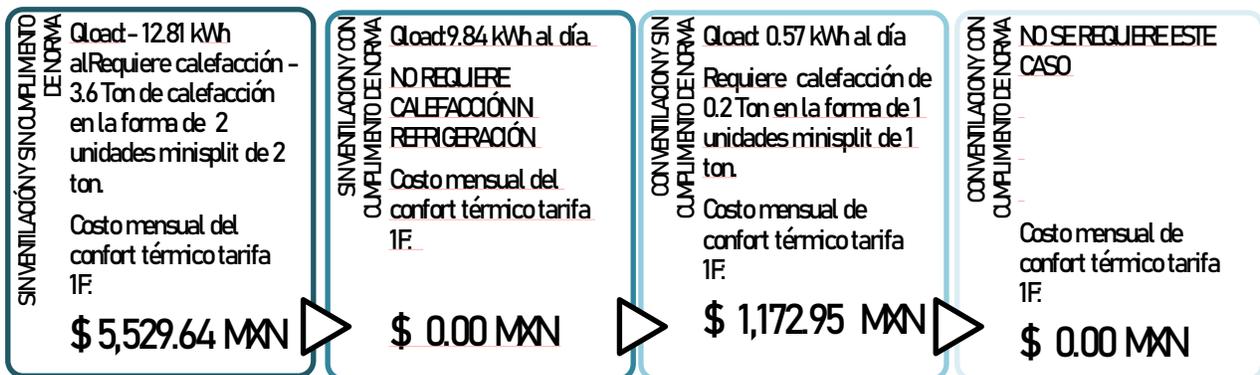
En las temperaturas podemos constatar que los materiales empleados comúnmente en la construcción de vivienda de interés social en la zona norte no son los más efectivos térmicamente. No disminuyen las temperaturas al interior lo suficiente como para que estas estén dentro de la zona de confort durante el día, ya sea en verano o invierno.

En las figuras siguientes podemos ver la comparación de los casos presentados y el último caso de comparación que será la ganancia térmica cumpliendo la NOM 020 ENER 2011. La cual, para el caso de Hermosillo, no es difícil de cumplir. De estar un 108.4% arriba de la línea base (máxima ganancia térmica permitida) establecida por la norma, podemos llegar a estar un 14.2% por debajo de la misma solo con el cambio de especificación en los materiales opacos, puertas y colocando vidrios con película de control solar.

Día más cálido.



Día más frío.



Simulación Anual

Sin NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	105.69	29,358.36	1,796.05	1,796.05

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m3/s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	20,283.26	7,212.22		3.00	5.8	2.1

Con NOM y con HVAC.

CONSUMO					TAMAÑO HVAC						
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]		Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
Total Site Energy	72.70	20,194.46	1,199.49	1,235.36	TOTAL	9,505.47	3,871.83		3.00	2.70	1.10

Podemos ver que los resultados coinciden entre la simulación manual y la simulación anual en la sección de tamaño del equipo de aire acondicionado. Usando NOM y HVAC tenemos un tamaño similar de 3 toneladas de refrigeración. En el caso de la calefacción no hay coincidencias en el tamaño de los equipos, incluso la simulación arroja que hay un mayor requerimiento de calefacción que el cálculo manual.

HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	728.33	729.5	728	8.31%
THERMAL ZONE: COCINA	1667.5	1796	1366.5	15.60%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2313.5	2507.17	1889.5	21.57%
THERMAL ZONE: PATIO	1453.33	1460	1453.33	16.59%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	4222.33	4368	3516.67	40.14%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4347	4441.33	3721.33	42.48%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	3961.5	3971.33	3246.5	37.06%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%

NAT VENT SIN NOM

HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
THERMAL ZONE: COCINA	1642.67	1767.17	1319.83	15.07%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2199	2317.33	1630.67	18.61%
THERMAL ZONE: PATIO	1453.33	1460	1453.33	16.59%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	4095.17	4146.67	3226.67	36.83%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4047	4168.5	3201	36.54%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	3907.67	3866	3108.5	35.49%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%

NAT VENT CON NOM

En la derecha está el caso de ventilación con NOM y a la izquierda sin NOM. No hay una gran diferencia en las horas de no confort entre los dos escenarios, esto puede explicarse por la poca humedad del aire, para alcanzar niveles de confort dentro del ASHRAE 55.

En conclusión, para el caso de Hermosillo es que para temas de manejo de confort durante los meses más cálidos el tamaño de los equipos requeridos para esta vivienda puede reducirse a cerca del 50% si se usa la NOM 020 ENER 2011. En cuanto al consumo, este se puede reducir en un 31.21%.



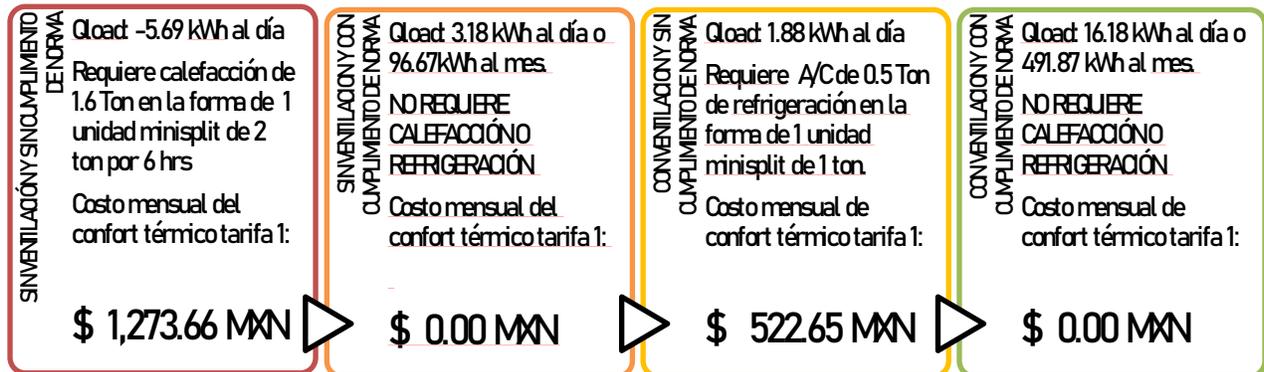
Conclusiones del caso de estudio de Cuajimalpa, CDMX.

En Cuajimalpa, casi de manera sorpresiva, el proyecto original pasa la NOM 020 ENER 2011, quedando un 5.2% por debajo de la línea base. Esta ganancia de calor se puede mejorar hasta llegar a estar un 81.1% si se usan los materiales térmicamente eficientes de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Como el tabique de barro es un material usado con una frecuencia similar al bloque de concreto, se analizó si usando este material en vez del bloque de concreto en el proyecto original igualmente se podría pasar a norma. Los resultados de la herramienta de cumplimiento de la CONUEE indican que no, en este clima tiene un mejor comportamiento térmico el bloque de concreto que el tabique de barro. Con tabique de barro el proyecto de vivienda está un 17% por arriba de la línea base.

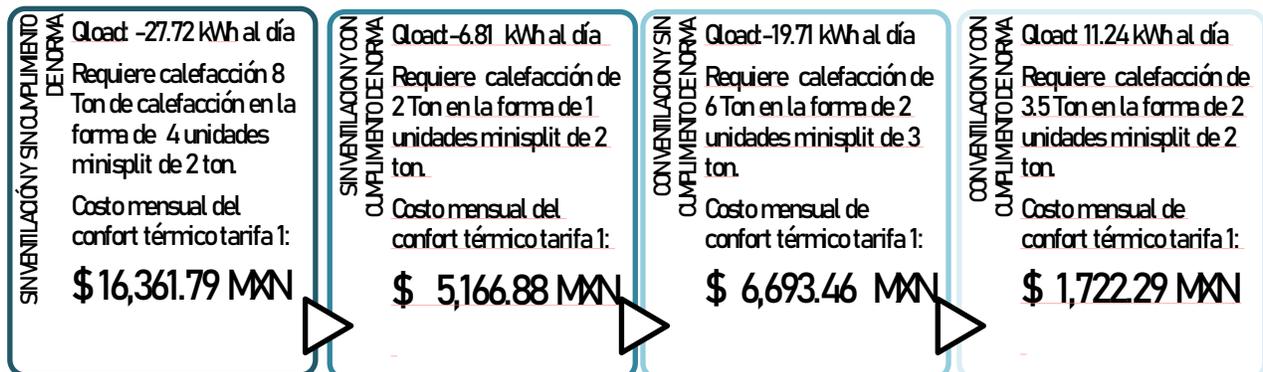
En las figuras a continuación veremos cuál fue el consumo y costo de operación de este caso de estudio en sus 4 variantes durante el día más cálido y el más frío del año en el cálculo manual.

Día más cálido, Cuajimalpa.



Día más frío, Cuajimalpa.

En este caso podemos ver que los gastos de operación fuertes se vienen en los meses fríos, a diferencia de Hermosillo donde funciona, al contrario. Sin embargo, cumpliendo la norma usando los materiales térmicamente eficientes ya citados es posible eliminar la necesidad de calefacción o refrigeración en verano y minimizar el gasto de calefacción en invierno.



Simulación Anual

Sin NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	57.60	16,000.01	978.86	978.86

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	15,063.43	9,212.43		3.00	4.3	2.6

Con NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	44.97	12,491.68	741.94	764.13

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	8,069.21	4,070.60		3.00	2.3	1.2

Los resultados de calefacción entre la simulación manual y la simulación anual, en la sección de tamaño del equipo de aire acondicionado, son distintos. El resultado mínimo en el cálculo manual es de 2 toneladas de calefacción usando la NOM, mientras que en la simulación anual es de 1.2 toneladas en el mismo caso. Se puede notar que los requerimientos de calefacción son mayores para el cálculo manual y la fórmula de Auliciems que del ASHRAE 55 y la simulación anual en este caso en particular.

En el caso de la refrigeración, los resultados también son muy distintos entre el cálculo manual y la simulación por EnergyPlus. Mientras que el cálculo manual arroja que no es necesario el uso de refrigeración si se usa la NOM 020 ENER 2011, la simulación anual arroja que se requieren 2.3 toneladas de refrigeración igualmente usando la NOM.

En este caso podemos ver que el ASHRAE 55 funciona en rangos “más fríos” (menos calefacción y más refrigeración) y que no necesariamente la gente local hace uso de equipos ni de calefacción ni de refrigeración debido a la aclimatación de la población a esta zona.

Entre los resultados de la misma simulación anual, si se percibe mucha diferencia ente los tamaños de equipo de calefacción y refrigeración requerido, hay una reducción de un 46.1% en calefacción y 53.5% en refrigeración si se emplea la NOM 020 ENER 2011.

Sin usar equipos de refrigeración o calefacción tenemos estos datos usando únicamente ventilación natural:

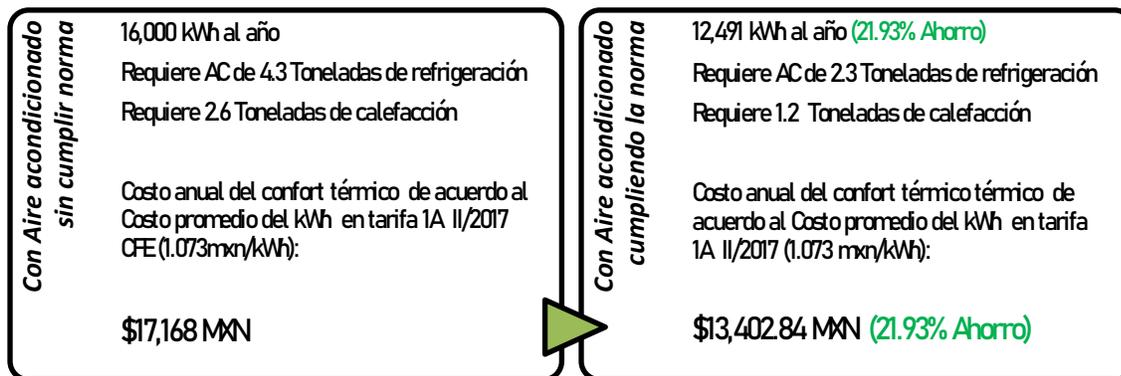
HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
THERMAL ZONE: COCINA	1011	1810.5	757.67	8.65%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	1875.33	2614.33	1528.67	17.45%
THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	3438.67	4142	2518.33	28.75%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	3688.67	4071.83	2748.17	31.37%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	2540.33	3532.5	1533.83	17.51%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
Facility	6007.67	7625.67	5079.83	57.99%

NAT VENT SIN NOM

HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
THERMAL ZONE: COCINA	886	1773.67	609.5	6.96%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	1522.5	2196.5	851.67	9.72%
THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	2923.5	3321.5	1449.17	16.54%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	2718.33	3573	1514.17	17.29%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	2268.83	3033.17	964.83	11.01%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
Facility	5455.67	6959.67	3854.17	44.00%

NAT VENT CON NOM

En la derecha está el caso de ventilación con NOM y a la izquierda sin NOM. En este caso de estudio si se ve una diferencia en las horas de no confort entre los dos escenarios donde el escenario con NOM tiene un 44% de no confort a diferencia del casi 60% del escenario sin NOM.



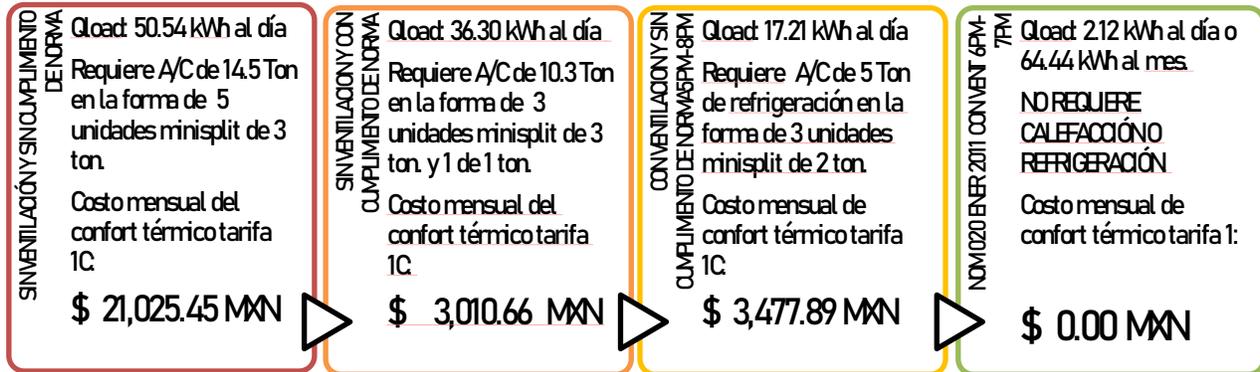
Conclusiones del caso de estudio de Mérida, Yucatán.

En el caso de Mérida, los materiales originales proyectados hacen que la vivienda no pase la norma. Está un 98% por encima de la línea base.

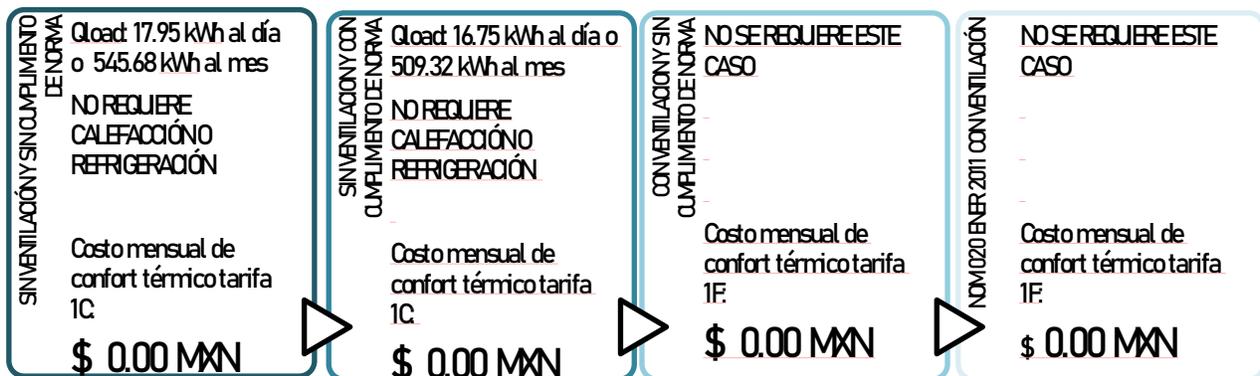
Si se usan los materiales eficientes para dar cumplimiento a la norma llegamos a estar un 30.1% por debajo de la línea base. Aquí, el uso del tabique de barro en vez de block de concreto no hace que la vivienda pase a norma, pero si se desempeña de mejor manera que el block de concreto.

En la figura siguiente se ven los resultados de consumo y costo energético por variante del caso.

Día más cálido, Mérida.



Día más frío, Mérida.



Simulación Anual

Sin NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	107.17	29,769.47	1,821.13	1,821.13

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	16,558.39	3,041.66		3.00	4.71	0.86

Con NOM y con HVAC.

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	79.63	22,119.46	1,313.95	1,353.24

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m3/s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
TOTAL	7,572.81	2,395.98		3.00	2.2	0.7

Los resultados de calefacción entre la simulación manual y la simulación anual, en la sección de tamaño del equipo de aire acondicionado, no difieren mucho en este caso de estudio. El resultado mínimo en el cálculo manual es de 0 toneladas de calefacción mientras que en la simulación anual es de 0.7 toneladas, las cuales pueden ser prescindibles para la gente local.

En el caso de la refrigeración, los resultados también son muy distintos entre el cálculo manual y la simulación por EnergyPlus. Mientras que el cálculo manual arroja que no es necesario el uso de refrigeración si se usa la NOM 020 ENER 2011, la simulación anual arroja que se requieren 2.2 toneladas de refrigeración igualmente usando la NOM.

Entre los resultados de la misma simulación anual, no se percibe mucha diferencia entre los tamaños de equipo de calefacción y refrigeración requerido, hay una reducción de un 18.6% en calefacción, pero si en refrigeración bajando un 53.3% si se emplea la NOM 020 ENER 2011.

Sin usar equipos de refrigeración o calefacción tenemos estos datos usando únicamente ventilación natural:

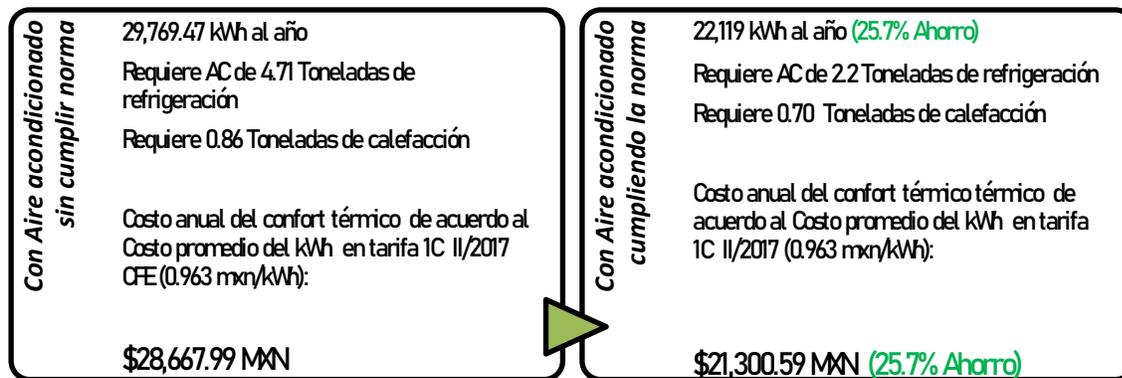
NAT VENT SIN NOM	HRS SIN CONFORT				
		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
	THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
	THERMAL ZONE: COCINA	2044.67	2121.33	1991.17	22.73%
	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2846.67	3042	2800.67	31.97%
	THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
	THERMAL ZONE: RECAMARA B	4961.67	5132	4824.17	55.07%
	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4955.17	5120.83	4818	55.00%
	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	4712.33	4699.33	4515	51.54%
	THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
Facility	8000.67	8218.5	7809.5	89.15%	

NAT VENT CON NOM	HRS SIN CONFORT				
		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
	THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
	THERMAL ZONE: COCINA	2049.83	2106	1983	22.64%
	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2864.83	2967	2759.83	31.50%
	THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
	THERMAL ZONE: RECAMARA B	5026.17	4993.5	4771.5	54.47%
	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4905.67	5056.17	4729.33	53.99%
	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	4763.17	4626.17	4506.33	51.44%
	THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
Facility	8087	8121	7787.67	88.90%	

Ilustración 40. Comparación de horas que las áreas de la vivienda se encuentran fuera del rango de confort usando solo ventilación natural.

En la ventilación natural sin uso de equipos de climatización no hay una diferencia relevante en los tiempos de no confort que se presenta en la utilización o no de la NOM 020 ENER 2011.

Para que realmente se noten los beneficios de la NOM hay que utilizar un equipo mecánico, aunque sea de des-humidificación de aire para poder ver una diferencia significativa en el confort.



Conclusiones y recomendaciones

La adopción de NOM 008 ENER 2001 y NOM 020 ENER 2011 asciende a menos del 5%, por lo cual podemos decir que es casi nula para las dos normas en el territorio nacional.

Aun siendo las NOM de naturaleza obligatoria a nivel federal, al no ser adoptadas en los reglamentos locales quedan en una laguna legal que fomenta su desconocimiento y falta aplicación. Ha habido un trabajo importante y constante por parte de la CONUEE de fomentar la adopción de estas dos normas en los reglamentos de construcción. Sin embargo, la manera en la que está estipulado el artículo 115 de la constitución ha imposibilitado el crear un solo reglamento para todo el país o para que los estados puedan englobar a los municipios en un solo reglamento de construcción estatal.

Al haber realizado los cálculos y la simulación energética y comprobado que en viviendas de características similares a las del caso de estudio se puede tener más de un 20% de ahorro energético a nivel vivienda y más del 5% de ahorro energético a nivel estatal. La conclusión es que la adopción de la NOM 020 ENER 2011 en los reglamentos estatales y municipales si tiene justificación y sus ahorros si son relevantes para un sector energético con déficit en la producción nacional de energéticos (gas) para las plantas termo eléctricas generadoras de energía eléctrica.

Las barreras a la adopción de las NOM que tienen que ver con la desinformación que existe sobre las mismas pueden ser atacadas desde el quehacer arquitectónico y académico a través de demostraciones de beneficio económico a los comités locales y usuarios de vivienda local en el caso de la NOM 020 ENER 2011. Se tiene el conocimiento que se hizo una campaña de capacitación para la NOM 008 EMER 2001, sin que esto viera un empuje significativo en el número de municipios adoptantes de dicha norma. Por lo que se recomienda reestructurar y continuar dichas campañas de capacitación, tanto para la NOM 008 ENER 2001 como para la NOM 020 ENER 2011.

Conclusiones Generales.

Como se ha expuesto en este documento de investigación, aún si México no se sumó desde las décadas de los setentas y ochentas a los esfuerzos de regulación de eficiencia energética en las edificaciones, esto no significa que no haya habido un avance importante a la fecha.

México cuenta con dos NOM que regulan específicamente las ganancias y pérdidas de calor permitidas de una vivienda o edificio no residencial (NOM 020 ENER 2011 y NOM 008 ENER 2001). Estas normas, en vista de la decreciente capacidad de autonomía energética que presenta el país desde hace diez años, se vuelven aún más relevantes tanto en el ámbito gubernamental, de la industria de la construcción y del usuario final que es el que paga las facturas energéticas mes con mes.

Varios esfuerzos han existido a través de los años por parte de la CONUEE y la SENER por promover tanto la existencia de normas de eficiencia energética, como de la adopción de las mismas en los reglamentos locales y estatales de construcción.

Como se ha visto en ese documento, dichos esfuerzos de integrar las normas 020 y 008 en los reglamentos no ha rendido frutos. Esto debido a la pulverización de los esfuerzos de una institución nacional en 2,446 municipios sin contar con incentivos que promuevan el interés de

los actores políticos municipales, los constructores locales y los usuarios finales, como ocurrió en otros programas o normas de estas instituciones.

Para poder asegurar una adopción mayor se tendría que dar mayores facultades a la CONUEE o la SENER para poder sancionar o revisar el cumplimiento de estas normas para que al constructor se le entregue una licencia de construcción. En su defecto tendría que venir un impulso desde el usuario final y los gremios arquitectónicos e ingenieriles por el tratar de incluir esas normas aún si no hay quien obligue su uso, desde un interés de ahorro en su factura eléctrica por temas de climatización del ambiente interior para el usuario final.

Como se vio en este trabajo de investigación, los potenciales de ahorro energético para el usuario final pueden ir hasta cerca del 40% en viviendas similares a las de los casos de estudio presentados. Eso es algo muy significativo en un país que cada vez ve más disminuida su seguridad y autonomía energética y donde la demanda máxima del sector energético del país se rige por el uso del aire acondicionado.

Posibles líneas de investigación abiertas en este tema de investigación podrían ser el cumplimiento de los estándares ASHRAE y NOM 020 ENER 2011 usando únicamente medidas pasivas desde el diseño arquitectónico. Ya que la finalidad de este tema de investigación ha sido probar que la norma puede ser poco intrusiva en el proceso del quehacer arquitectónico.

Cercana a la publicación de esta tesis se estará publicando en el Diario oficial de la nación la actualización de la NOM 020 ENER de su versión del 2011 a la del 2016. La finalidad de esta actualización ha sido hacer menos astringente la nueva versión de la norma con respecto a la del 2011.

Comentarios finales.

Como podemos ver en los números presentados, adoptar y aplicar la NOM 020ENER 2011 en los reglamentos estatales y municipales tiene sentido, especialmente en el largo plazo, ya que los potenciales ahorros energéticos y económicos se van incrementando conforme el inventario de vivienda energéticamente eficiente, de acuerdo a la NOM, crece. Ahorros que rondan el 20%-

30% en consumo energético de las viviendas y costos económicos. Esto es especialmente beneficioso para la economía de la población de estas zonas.

En cuanto a las formas de cálculo presentadas en esta tesis, podemos constatar el grado de confiabilidad de la simulación energética, con datos climáticos y cálculo de 1 año, contra el cálculo manual que nos brinda una información más limitada a 24 horas de información para un día cálido y un día frío.

Anexos.

i) **ANEXO I: Matriz de estados y municipios.**

Ver archivo de Excel.

ii) ANEXO II: Calculo del día más frío y día más cálido de Hermosillo

Para iniciar este cálculo iniciaremos por analizar si el proyecto original pasa sin cambios en sus materiales la Norma.

Análisis de la NOM 020 ENER 2011 en el proyecto de vivienda

De acuerdo con la herramienta de cumplimiento de la CONUEE para la NOM 020 ENER 2011, el modelo de vivienda ubicado en la ciudad de Hermosillo **no** cumple con la norma.

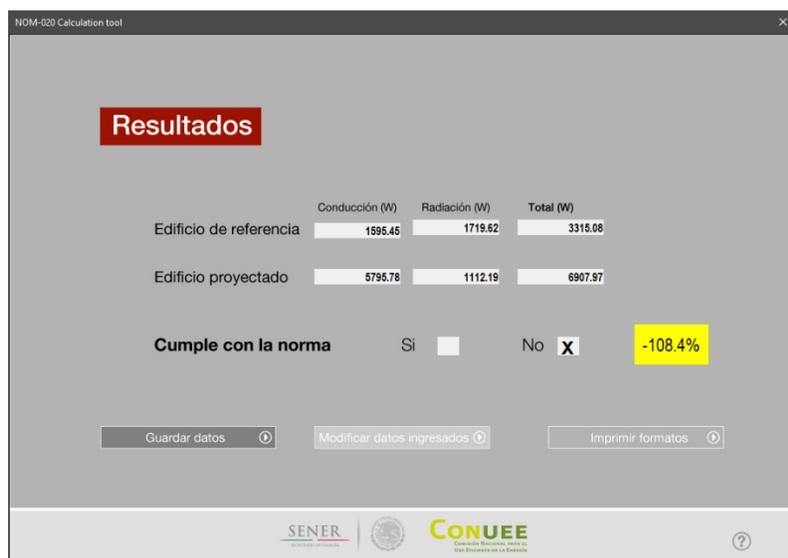


Ilustración 41. Resultados del caso de estudio de Hermosillo con la herramienta de la CONUEE para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011.

Está ganando una cantidad de calor mucho mayor a la permitida por la línea base que establece la norma.

En la Tabla 9 podemos ver los materiales proyectados en la vivienda, así como sus propiedades de conductividad térmica. Fue con estos materiales con los que se hizo el cálculo con la herramienta de cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES				
UBICACIÓN	MATERIAL	ESPESOR	COND. TÉRMICA	
MUROS EXTERIORES	BLOQUE DE CONCRETO HUECO	0.150	1.110	
MUROS EXTERIORES	APLANADO CEMENTO ARENA EXTERIOR	0.019	0.720	
MUROS EXTERIORES	APLANADO CEMENTO ARENA INTERIOR	0.019	0.720	
MUROS EXTERIORES	PINTURA BLANCA	0.001	0.290	
VENTANAS	VIDRIO CLARO	0.006	1.160	
TECHO	MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE ASFALTICA	0.005	0.170	
TECHO	CONCRETO ARMADO	0.150	1.740	
CIELO RASO	APLANADO DE YESO	0.017	0.630	

Tabla 9. Materiales originales proyectados de la vivienda de interés social.

Como se ha mencionado con anterioridad, los cambios que tendrían que realizarse al proyecto de vivienda para poder pasar la NOM 020 ENER 2011 no son sustanciales. Basta con hacer un cambio en el sistema constructivo propuesto para las losas de azotea y entrepiso, agregar una capa de poliuretano expandido de una pulgada de espesor a los muros, usar vidrio laminado con película de control solar.

En la Ilustración 42 se enlistan los cambios de materiales propuestos para que el proyecto de vivienda pase la norma, así como sus conductividades térmicas.

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES				
UBICACIÓN	MATERIAL	ESPESOR	COND. TÉRMICA	
MUROS EXTERIORES	BLOQUE DE CONCRETO HUECO	0.150	1.110	
MUROS EXTERIORES	EPS CERTIFICADO	0.050	0.034	
MUROS EXTERIORES	APLANADO CEMENTO ARENA EXTERIOR	0.019	0.720	
MUROS EXTERIORES	APLANADO CEMENTO ARENA INTERIOR	0.019	0.720	
MUROS EXTERIORES	PINTURA BLANCA	0.001	0.290	
VENTANAS	VIDRIO EFICIENT-E VITROMART	0.006	-	
TECHO	MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE ASFALTICA	0.003	0.170	
TECHO	CONCRETO ARMADO COMPR	0.050	1.740	
TECHO	EPS CERTIFICADO	0.050	0.034	
TECHO	APLANADO CAL YESO	0.010	0.698	
TECHO	VIGUETA DE CONCRETO ARMADO	0.100	1.740	
TECHO	BOVEDILLA DE EPS	0.100	0.034	

Ilustración 42. Materiales a usar para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011.

La conductividad térmica del vidrio de control solar no viene dada como tal por el fabricante, sin embargo, este da el Valor U a utilizar en el cálculo, el cual es de 3.49.

Usando estos materiales, si pasamos la NOM 020 ENER 2011 y estamos un 14.2% por debajo de la línea base establecida por la norma.

Resultados

	Conducción (W)	Radiación (W)	Total (W)
Edificio de referencia	1595.45	1719.62	3315.08
Edificio proyectado	2509.54	333.66	2843.20

Cumple con la norma Si No **14.2%**

Guardar datos | Modificar datos ingresados | Imprimir formatos

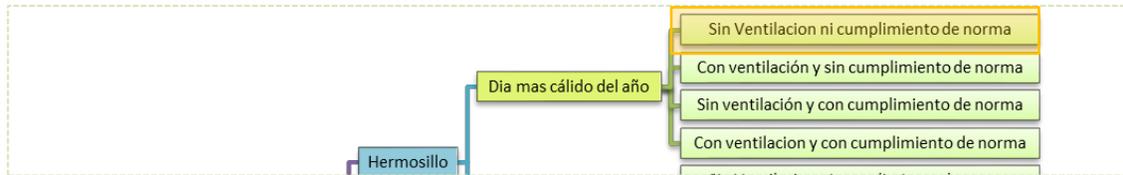
SENER | CONUEE

Ilustración 43. Cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011 con el cambio de materiales.

Contando ya con las características del proyecto de vivienda como fue planteado originalmente y con los materiales con los que este si pasa la norma se procedió a hacer un cálculo manual (usando las fórmulas del programa Transys) para determinar su ganancia de calor. Para este cálculo se determinaron el día más cálido y más frío del año, los cuales son el 21 de julio y 21 de enero respectivamente.

Día más Cálido.

Sin ventilación ni cumplimiento de la norma



De este día más cálido del año se hizo el cálculo del escenario más crítico que pudiera tener la vivienda, donde esta no pasa la norma y donde no se abren las ventanas durante el día. Estos fueron los resultados: La diferencial entre la temperatura maxima exterior y la maxima interior es de 4.07°C.

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.1	23.50
	9:00 AM	30.2	24.22
	10:00 AM	33.2	25.21
	11:00 AM	35.7	26.40
	12:00 PM	37.4	27.60
	1:00 PM	38.3	28.79
	2:00 PM	38.4	30.25
	3:00 PM	37.9	31.61
	4:00 PM	37	32.77
	5:00 PM	35.8	33.56
	6:00 PM	34.4	34.09
	7:00 PM	33	34.32
	8:00 PM	31.6	34.33
	9:00 PM	30.3	34.21
	10:00 PM	29.2	34.00
	11:00 PM	28.2	33.71
	12:00 AM	27.3	33.35
	1:00 AM	26.5	32.92
	2:00 AM	25.9	32.46
	3:00 AM	25.4	31.99
	4:00 AM	24.9	31.52
	5:00 AM	24.6	31.05
	6:00 AM	23.5	30.60
	7:00 AM	24.7	30.17
	Rango confort	30.68	23.68
	Qload total	64,206.67 Wh	64.21 kWh/dia 1,952.52 kWh/me

64.21 kWh	Qload total Del Dia		
219,082.27 BTU	5.2M DE ALTURA		
18.3 TON REF	SIN ABRIR VENTANAS		
REQUIERE 6 UNIDADES A/C DE 3 TON: 12PM A 7AM . 19H/DIA			
61.56 kW	577.8 hr/mes	\$ 99,236.82	
35,568.75 kWh/mes	1.395	Costo promedio del kWh en tarifa 1F II/2017 CFE	
49,618.41 MXN AL MES			
MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw

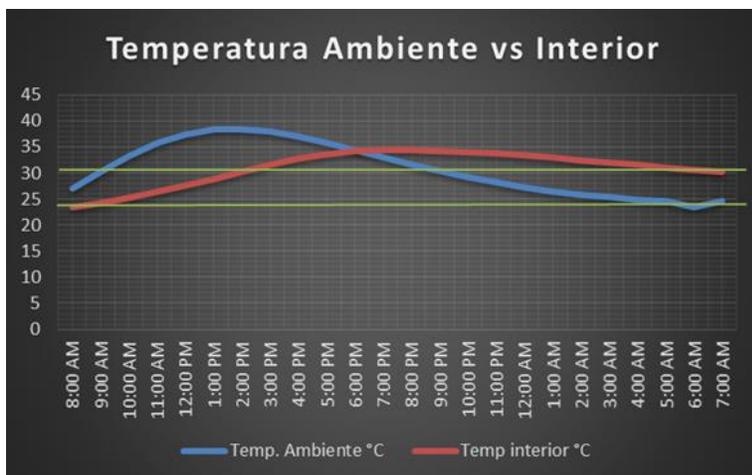
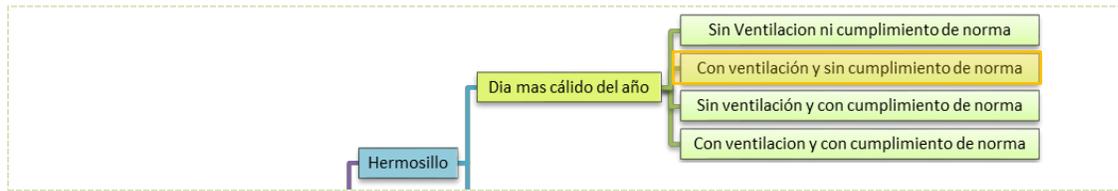


Ilustración 44. Grafica de temperaturas caso sin ventilación Hermosillo.

Como podemos ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la temperatura al interior de la vivienda (rojo) sale del rango de confort (líneas horizontales verdes) desde las 2 pm. Si bien los materiales proyectados amortiguan la oscilación térmica que tenemos en el exterior, estos no son lo

suficientemente retardantes como para hacer que la temperatura interior esté dentro de los rangos de confort. Obligando a que el usuario requiera de varios equipos de aire acondicionado tipo mini Split que sumen un total de 18.4 toneladas de refrigeración, cuyo funcionamiento mensual costaría \$49,618.41 MXN. El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.395 MXN, el cual es el promedio de del segundo bimestre del 2017 (Secretaría de Energía, 2017).

Con ventilación y sin cumplimiento de norma



En un caso más apegado a la realidad, la vivienda contaría con un programa de ventilación fijo. En este segundo análisis se programó una ventilación de 6 pm a 10 pm. Esto con la finalidad de disipar calor de manera eficiente y pasiva.

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.1	23.50
	9:00 AM	30.2	24.22
	10:00 AM	33.2	25.21
	11:00 AM	35.7	26.40
	12:00 PM	37.4	27.60
	1:00 PM	38.3	28.79
	2:00 PM	38.4	30.25
	3:00 PM	37.9	31.61
	4:00 PM	37	32.77
	5:00 PM	35.8	33.56
	6:00 PM	34.4	34.09
	7:00 PM	33	33.95
	8:00 PM	31.6	32.08
	9:00 PM	30.3	28.60
	10:00 PM	29.2	24.98
	11:00 PM	28.2	25.25
	12:00 AM	27.3	25.41
	1:00 AM	26.5	25.47
	2:00 AM	25.9	25.48
	3:00 AM	25.4	25.44
	4:00 AM	24.9	25.37
	5:00 AM	24.6	25.28
	6:00 AM	23.5	25.19
	7:00 AM	24.7	25.09
	Rango confort	30.68	23.68
	Qload total	16,954.24 Wh	16.95 kWh/dia 515.58 kWh/me

Los resultados de ganancia térmica con el programa de ventilación fueron los siguientes:

17.00	kWh	Qload total Del Dia	
57,850.26	BTU	5.2M DE ALTURA	
4.8	TON REF	VENTILACION 6-10PM	
REQUIERE 3 UNIDAD A/C DE 2TON LAS 10 AM A LAS 10 PM: 12 H/DIA			\$ 20,152.28
19.80	KW	364.8	hr/mes
7,223.04 kWh/mes			1.395 Costo promedio del kWh en tarifa 1F II/2017 CFE
10,076.14		MXN AL MES	

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw

La temperatura máxima interior se redujo 4.31 grados Celsius con respecto a la temperatura máxima exterior. Las temperaturas mínimas se mantienen iguales en ambos casos.

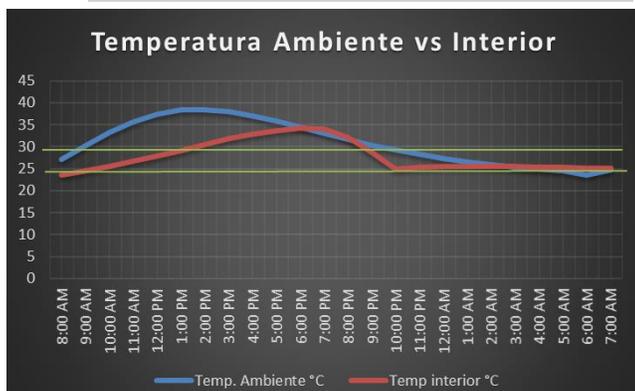


Ilustración 45. Grafica de caso Hermosillo con plan de ventilación

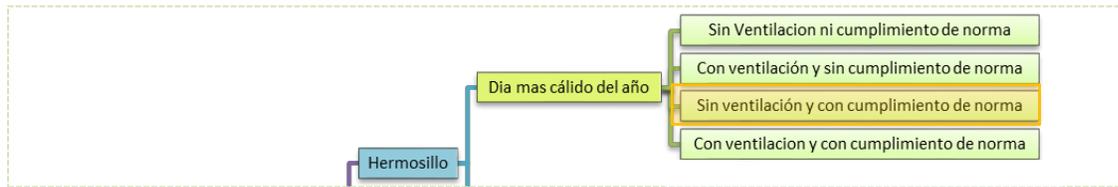
En esta grafica del caso de la ventilación podemos ver como en el momento que inicia la ventilación a las 6 pm, la ganancia térmica durante esas horas disminuye drásticamente, lo cual genera una menor necesidad de soluciones mecánicas de climatización interior. En este caso, de 18.4 Toneladas de refrigeración en el caso pasado,

bajamos a 5 Toneladas de refrigeración y bajamos de \$49,618.41 MXN a \$10,076.14 MXN al mes en costos. El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.395 MXN, el cual es el promedio de del segundo bimestre del 2017 (Secretaria de Energía, 2017).

Se puede notar una gran diferencia entre el primer escenario y este, donde vamos de 18.3 toneladas de refrigeración a 4.8 toneladas. **La diferencia entre ese escenario anterior y este es únicamente la ventilación y las horas en las que esta ventilación programada ocurre.** En el cálculo manual, debido que se trabaja únicamente con 24 horas de información, podemos generar una gran variación en la temperatura de confort cuando hacemos uso de la ventilación. Programándola únicamente cuando la temperatura exterior es menor a la interior y aprovechando la dirección reportada del viento en dicho cálculo. Cuando no hacemos uso de la ventilación natural el cálculo manual parece indicar una concentración de calor al interior de la vivienda debido a la orientación del ventanal de la fachada principal.

Esta diferencia tan grande en el resultado de las toneladas de refrigeración entre el escenario extremo sin ventilación y este que cuenta con ventilación programada puede ser causada por la información limitada de 24 horas de cálculo de datos térmicos.

Sin ventilación y con cumplimiento de norma.



Con el cambio de materiales y sin programa de ventilación tenemos los resultados siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.1	24.68
	9:00 AM	30.2	25.33
	10:00 AM	33.2	25.79
	11:00 AM	35.7	26.41
	12:00 PM	37.4	27.02
	1:00 PM	38.3	28.26
	2:00 PM	38.4	29.24
	3:00 PM	37.9	30.14
	4:00 PM	37	30.91
	5:00 PM	35.8	31.40
	6:00 PM	34.4	31.77
	7:00 PM	33	32.02
	8:00 PM	31.6	32.16
	9:00 PM	30.3	32.22
	10:00 PM	29.2	32.21
	11:00 PM	28.2	32.15
	12:00 AM	27.3	32.02
	1:00 AM	26.5	31.83
	2:00 AM	25.9	31.62
	3:00 AM	25.4	31.39
	4:00 AM	24.9	31.16
	5:00 AM	24.6	30.92
	6:00 AM	23.5	30.69
	7:00 AM	24.7	30.48
	Rango confort		30.68 - 23.68
	Qload total	41,944.13 Wh	41.94 kWh/dia 1,275.52 kWh/mes

42.00 kWh	Qload total Del Dia
143,119.32 BTU	5.2M DE ALTURA
12.0 TON REF	SIN ABRIR VENTANAS
REQUIERE 4 UNIDADES A/C DE 3 TON: 2PM A 7PM . 11H/DIA	
41.04 kW	334.4 hr/mes
13,723.78 kWh/mes	1.395 Costo promedio del kWh en tarifa 1F II/2017 CFE
19,144.67 MXN AL MES	
	\$ 38,289.34 AL BIMESTRE

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw

En este caso donde cambiamos los materiales

por los necesarios para pasar la NOM 020

ENER 2011 tenemos que de la temperatura

máxima exterior a la máxima interior hay una

diferencia de 6.18°C. Lo cual significa que se

está aplanando la curva de ganancia de calor.

En este caso ya no requerimos de 18 toneladas

de refrigeración, si no de 12 toneladas. Lo cual

es un 33.33% de reducción en la ganancia de

calor, únicamente por el cambio de materiales.

En la gráfica podemos apreciar que la

temperatura interior está mucho más cerca de

mantenerse dentro del rango de confort, lo

cual se refleja en un menor requerimiento de

aire acondicionado y un menor costo de

operación.

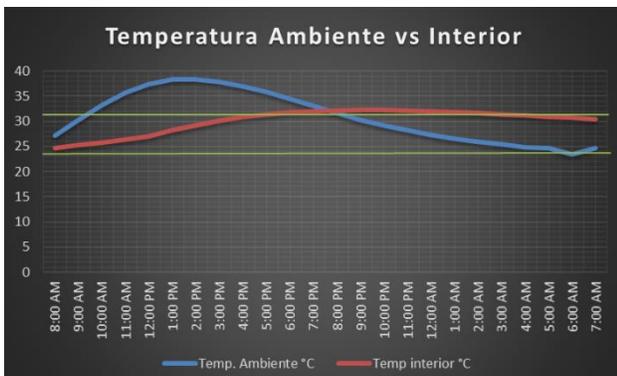
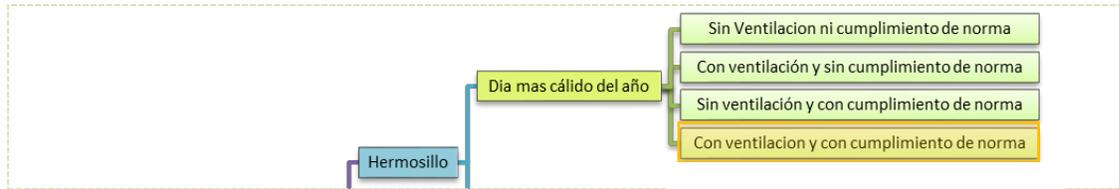


Ilustración 46. Gráfica de caso Hermosillo con cambio de materiales para cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 y sin ventilación.

Con ventilación y con cumplimiento de norma.



A continuación, si combinamos el cambio de materiales con un programa de ventilación obtenemos los resultados siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.1	24.68
	9:00 AM	30.2	25.33
	10:00 AM	33.2	25.79
	11:00 AM	35.7	26.41
	12:00 PM	37.4	27.02
	1:00 PM	38.3	28.26
	2:00 PM	38.4	29.24
	3:00 PM	37.9	30.14
	4:00 PM	37	30.91
	5:00 PM	35.8	31.40
	6:00 PM	34.4	31.77
	7:00 PM	33	32.02
	8:00 PM	31.6	30.44
	9:00 PM	30.3	26.54
	10:00 PM	29.2	26.67
	11:00 PM	28.2	26.74
	12:00 AM	27.3	26.75
	1:00 AM	26.5	26.69
	2:00 AM	25.9	26.60
	3:00 AM	25.4	26.50
	4:00 AM	24.9	26.39
	5:00 AM	24.6	26.27
	6:00 AM	23.5	26.15
	7:00 AM	24.7	26.05
	Rango confort	30.68	23.68
	Qload total	10,149.95 Wh	10.15 kWh/dia 308.66 kWh/mes

10.15 kWh	Qload total Del Dia	
34,633.06 BTU	5.2M DE ALTURA	
3.0 TON REF	VENTILACION 7-8PM	
REQUIERE 1 UNIDAD A/C DE 3 TON LAS 4PM A LAS 7 PM: 4 H/DIA		\$ 3,480.85
10.26 KW	121.6 hr/mes	AL BIMESTRE
1,247.62 kWh/mes	1.395 Costo promedio del kWh en tarifa 1F II/2017 CFE	
1,740.42 MXN AL MES		

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw

Aquí la diferencial entre las temperaturas máximas exterior e interior es de 6.38°C, la más alta entre las modificaciones al caso de estudio de Hermosillo, Sonora.

También tenemos el requerimiento de toneladas de refrigeración más bajo, llegando este a las 3 toneladas de refrigeración si ventilamos de las 7pm a las 8 pm.

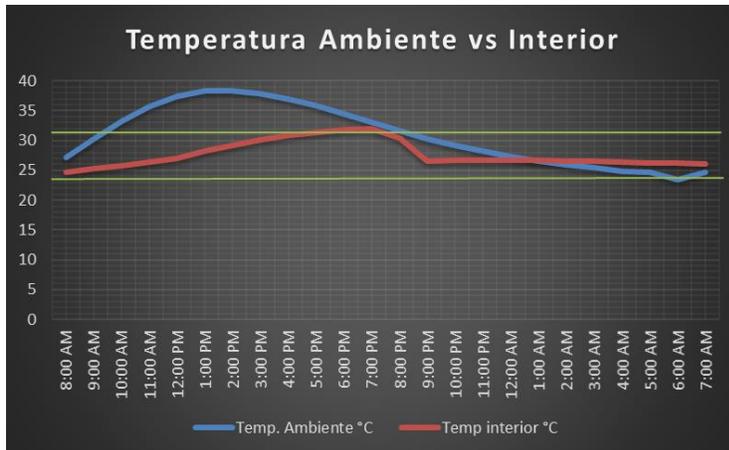


Ilustración 47. Gráfica de caso Hermosillo con cambio de materiales para cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 con ventilación.

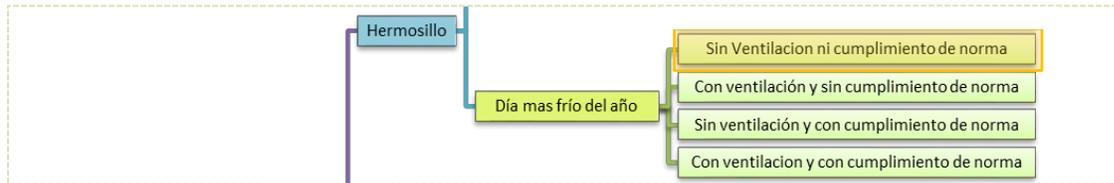
Lo cual nos arroja también el costo de operación más bajo de los analizados en este caso de estudio, de \$1,740.42 MXN al mes. El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.395 MXN, el cual es el promedio de del segundo bimestre del 2017 (Secretaría de Energía, 2017).

La utilidad de hacer el cambio de materiales en el proyecto ubicado en Hermosillo Sonora durante el verano es evidente, sobre todo si se le complementa con un programa de ventilación como el propuesto.

Día más frío.

Para el análisis del día más frío se tomó el 21 de enero. Se analizarán las mismas variantes que en el día más cálido (sin ventilación, con ventilación, cumpliendo NOM 020 ENER 2011 sin ventilación y cumpliendo dicha NOM con ventilación).

Sin ventilación y ni cumplimiento de norma.



En el primer escenario (caso sin ventilación y sin cumplimiento de NOM 020 ENER 2011) tenemos los siguientes resultados en el cálculo manual:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C	
INICIAL	8:00 AM	5.4	16.77	
	9:00 AM	7.4	16.39	
	10:00 AM	10.9	16.11	
	11:00 AM	15	16.54	
	12:00 PM	18.7	16.95	
	1:00 PM	21.5	17.79	
	2:00 PM	23.2	19.06	
	3:00 PM	23.7	20.28	
	4:00 PM	23.2	21.30	
	5:00 PM	22.1	21.71	
	6:00 PM	20.5	21.89	
	7:00 PM	18.6	21.95	
	8:00 PM	16.7	21.85	
	9:00 PM	14.9	21.63	
	10:00 PM	13.2	21.32	
	11:00 PM	11.7	20.93	
	12:00 AM	10.3	20.42	
	1:00 AM	9.2	19.85	
	2:00 AM	8.3	19.24	
	3:00 AM	7.6	18.61	
	4:00 AM	7	17.98	
	5:00 AM	6.5	17.34	
	6:00 AM	6.1	16.71	
	7:00 AM	4.9	16.10	
	Rango confort		25.50	18.50
	Qload total	-12813.66 Wh		-12.81 kWh/dia -389.66 kWh/mes

-12.81 kWh	Qload total Del Dia	
-43722.04 BTU	5.2M DE ALTURA	
-3.6 TON REF	SIN ABRIR VENTANAS	
REQUIERE 2 UNIDADES DE 2TON CALEFACCIÓN 18 HRS		
13.20 kW	304.0 hr/mes	\$ 11,059.28
4,012.80 kWh/mes	1.378 Costo promedio del kWh en tarifa 1F I/2017 CFE	AL BIMESTRE
5,529.64 MXN AL MES		

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

Durante el mes de enero, en esta variante del caso Hermosillo puede apreciarse que le diferencia entre las temperaturas máximas exterior e interior es de 1.75°C, sin embargo, podemos ver una diferencia importante entre las temperaturas mínimas en exterior e interior, siendo esta de 11.2 grados. Lo cual significa que los materiales originalmente

proyectados para la vivienda, funcionan mejor como aislantes térmicos en condiciones de frío que en condiciones de calor.

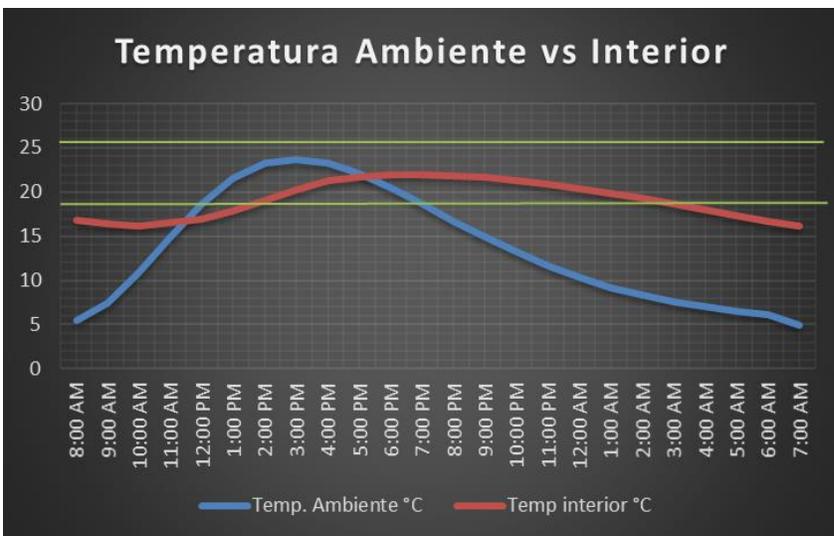


Ilustración 48. Grafica del día más frío en Hermosillo sin ventilación ni cumplimiento de NOM 020 ENER 2011.

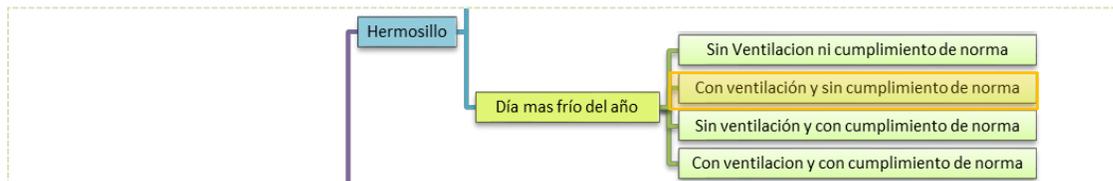
En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se aprecia como la línea roja que representa la temperatura interior es más plana que la línea azul e la temperatura exterior. Si bien los materiales originales están cumpliendo una función de aislamiento térmico en

condiciones de frío, estas no son suficientes para alcanzar el rango de la temperatura de confort calculada para esa fecha, la cual está entre 25.5°C y 18.5°C (líneas verdes en la gráfica).

La ganancia de calor que tenemos en el cálculo de esta variante es negativa, lo cual indica que requerimos de calefacción en vez de refrigeración, entonces para llegar a una temperatura de confort requerimos de casi 13 toneladas de "calefacción" lo cual nos genera un costo de operación mensual de \$5,529.64 MXN, generados por el funcionamiento de 2 unidades de aire acondicionado con calefacción de 2 toneladas cada uno. El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.378 MXN, el cual es el promedio de del primer bimestre del 2017 (Secretaría de Energía, 2017).

Puede aumentarse la ganancia de calor y bajar la necesidad de calefacción si al proyecto original se le implementa un programa de ventilación. Esta tendría que ser de las 12pm a las 3 pm, que las horas en las que hay más radiación solar.

Con ventilación y sin cumplimiento de norma



Los resultados de implementa el programa e ventilación serían los siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	5.4	16.77
	9:00 AM	7.4	16.39
	10:00 AM	10.9	16.11
	11:00 AM	15	16.54
	12:00 PM	18.7	16.95
	1:00 PM	21.5	18.92
	2:00 PM	23.2	21.83
	3:00 PM	23.7	24.28
	4:00 PM	23.2	25.05
	5:00 PM	22.1	25.23
	6:00 PM	20.5	25.19
	7:00 PM	18.6	25.04
	8:00 PM	16.7	24.75
	9:00 PM	14.9	24.36
	10:00 PM	13.2	23.88
	11:00 PM	11.7	23.32
	12:00 AM	10.3	22.67
	1:00 AM	9.2	21.96
	2:00 AM	8.3	21.22
	3:00 AM	7.6	20.47
	4:00 AM	7	19.72
	5:00 AM	6.5	18.97
	6:00 AM	6.1	18.24
	7:00 AM	4.9	17.54
	Rango confort		25.50 18.50
	Qload total	567.53 Wh	0.57 kWh/dia 17.26 kWh/mes

0.57	kWh	Qload total Del Dia	
1,936.50	BTU	5.2M DE ALTURA	
0.2	TON REF	VENTILACION 12PM-3PM	
REQUIERE 1 UNIDAD DE 1 TON CALENTAR 10 HRS AL DIA			\$ 2,345.91
3.50	KW	243.2 hr/mes	AL BIMESTRE
851.20	KWh/mes	1.378 Costo promedio del kWh en tarifa 1F I/2017 CFE	
1,172.95 MXN AL MES			

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

Aquí mantenemos una diferencial de temperaturas interior y exterior mínimas de 11.2°C y una diferencial de 1.53°C en las temperaturas máxima de exterior e interior.

La climatización en este caso con ventilación sube de -13 toneladas de calefacción a 0.2 toneladas de refrigeración. Esto significa que con la ventilación de 3 horas se gana

suficiente calor como para estar casi en cero toneladas de refrigeración requerida. Sin embargo, esto no significa que con la ventilación se elimine la necesidad de calefacción en esta variante.

De acuerdo con la figura 19, aún hay 8 horas del día que requieren de calefacción para entrar en el rango de confort.

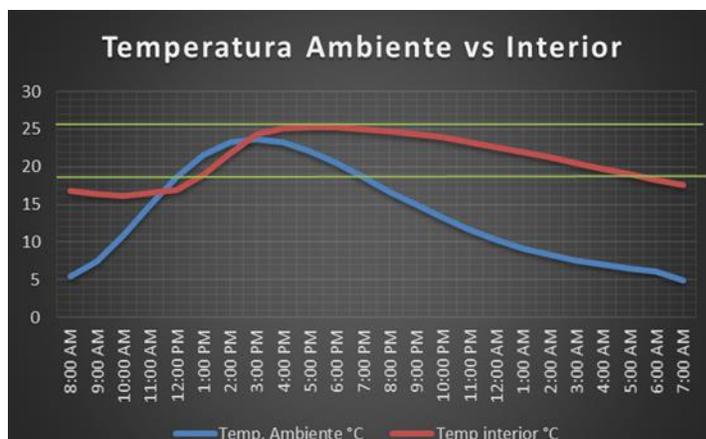
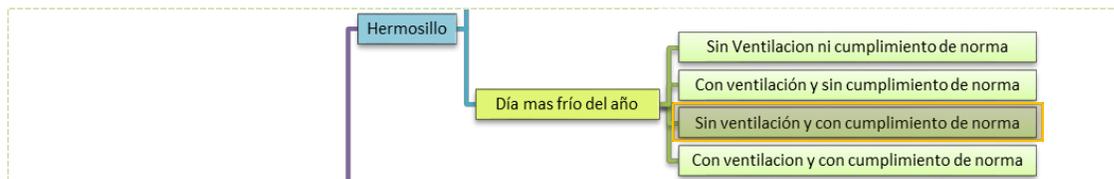


Ilustración 49. Grafica de caso Hermosillo día más frío sin cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 pero con plan de ventilación de 12pm a 3 pm.

Para cubrir la demanda de calefacción de estas 8 horas restantes se requiere un equipo de aire acondicionado con calefacción tipo minisplit de una tonelada de refrigeración o calefacción. Lo cual nos genera un costo mensual de operación de \$1,172.95 MXN. El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.378 MXN, el cual es el promedio de del primer bimestre del 2017 (Secretaria de Energía, 2017)

Sin ventilación y con cumplimiento de norma



En el escenario donde se cambian los materiales para cumplir con la NOM 020 ENER 2011 y no se tiene ventilación, se obtuvieron los siguientes resultados:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	5.4	19.50
	9:00 AM	7.4	19.46
	10:00 AM	10.9	19.27
	11:00 AM	15	19.36
	12:00 PM	18.7	19.47
	1:00 PM	21.5	20.18
	2:00 PM	23.2	21.15
	3:00 PM	23.7	22.06
	4:00 PM	23.2	22.82
	5:00 PM	22.1	23.03
	6:00 PM	20.5	23.18
	7:00 PM	18.6	23.27
	8:00 PM	16.7	23.30
	9:00 PM	14.9	23.28
	10:00 PM	13.2	23.21
	11:00 PM	11.7	23.11
	12:00 AM	10.3	22.92
	1:00 AM	9.2	22.67
	2:00 AM	8.3	22.40
	3:00 AM	7.6	22.12
	4:00 AM	7	21.82
	5:00 AM	6.5	21.51
	6:00 AM	6.1	21.20
	7:00 AM	4.9	20.89
	Rango confort	18.50	25.50
	Qload total	9838.88 Wh	9.84 kWh/dia 299.20 kWh/mes

9.84 kWh	Qload total Del Dia
33,571.65 BTU	5.2M DE ALTURA
2.8 TON REF	SIN ABRIR VENTANAS
NO REQUIERE CALEFACCION	
0.00 kW	0.0 hr/mes
- kWh/mes	1.817 Costo promedio del kWh en tarifa 1F I/2017 CFE
- MXN AL MES	AL BIMESTRE

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

En esta variante la diferencial entre temperaturas mínimas exterior e interior es de 14.37°C y la diferencial entre las máximas exterior e interior es de 0.4°C.

En este caso se elimina la necesidad de calefacción, quedando las 24 horas del día dentro del rango de confort (18.5°C a 25.50°C)

Esto significa que hemos eliminado el gasto de operación por calefacción en el día más frío del año al cumplir con la NOM 020 ENER 2011.

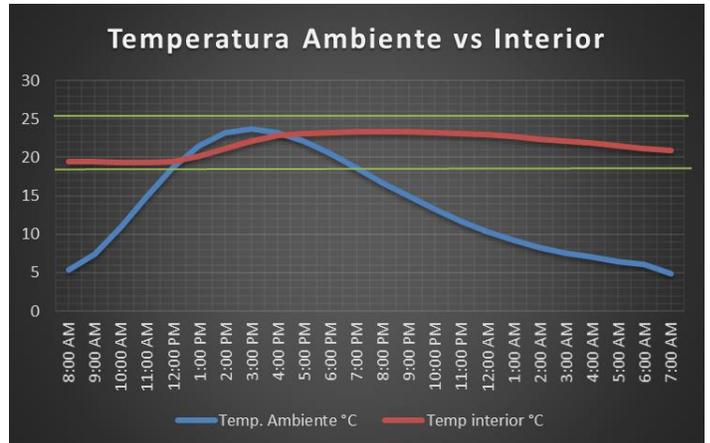
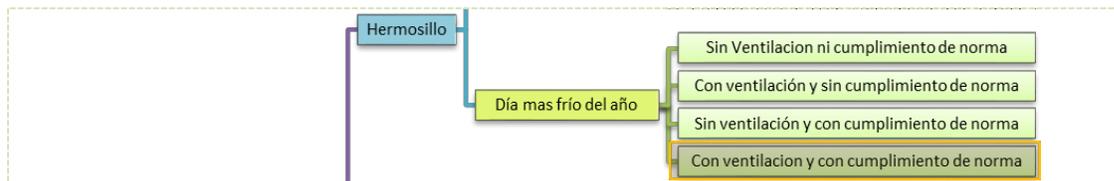


Ilustración 50. Gráfica de caso Hermosillo donde al cumplir con la NOM 020 ENER 2011 se elimina la necesidad de calefacción.

Con ventilación y con cumplimiento de norma



Debido a los resultados del escenario *Sin ventilación y con cumplimiento de norma*, donde al mantener las ventanas cerradas mientras se generaban condiciones de confort térmico al interior de la vivienda, se decidió no correr esta simulación manual ya que al hacerlo se requeriría de calefacción mecánica la cual generaría un gasto que se puede evitar al no abrir las ventanas durante el día.

iii) ANEXO III: Cálculo día más frío y día más cálido de Cuajimalpa

Análisis de la NOM 020 ENER 2011 en el proyecto de vivienda

De acuerdo con la herramienta de cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011 de la CONUEE, se obtuvo que el proyecto de vivienda de interés social original si cumple con la norma, sin necesidad de cambiar materiales.



Ilustración 51. Caso Cuajimalpa, proyecto original pasa la NOM 020 ENER 2011.

Los materiales empleados para el análisis de cumplimiento fueron los originales:

PROPIEDADES TÉRMICAS DE LOS MATERIALES				
UBICACIÓN	MATERIAL		ESPESOR	COND. TÉRMICA
MUROS EXTERIORES	BLOQUE DE CONCRETO HUECO		0.150	1.110
MUROS EXTERIORES	APLANADO CEMENTO ARENA EXTERIOR		0.019	0.720
MUROS EXTERIORES	APLANADO CEMENTO ARENA INTERIOR		0.019	0.720
MUROS EXTERIORES	PINTURA BLANCA		0.001	0.290
VENTANAS	VIDRIO CLARO		0.006	1.160
TECHO	MEMBRANA IMPERMEABILIZANTE ASFALTICA		0.005	0.170
TECHO	CONCRETO ARMADO		0.150	1.740
CIELO RASO	APLANADO DE YESO		0.017	0.630

Tabla 10. Materiales originales. En el caso Cuajimalpa son suficientes para cumplir la norma.

Tanto el block de concreto como el ladrillo de barro recocido don los materiales más empleados para la construcción de muros en el país, para 1990 el 70% de las viviendas censadas en México contaban con estos materiales. Sin embargo, desde el punto de vista térmico, el tabique recocido tiene un peor desempeño en este caso de estudio que el block de concreto.

Si sustituimos el block de concreto de 12 cm por tabique recocido de 11 cm de espesor en los materiales originales de la vivienda, esta **no** pasaría la NOM 020 ENER 2011.

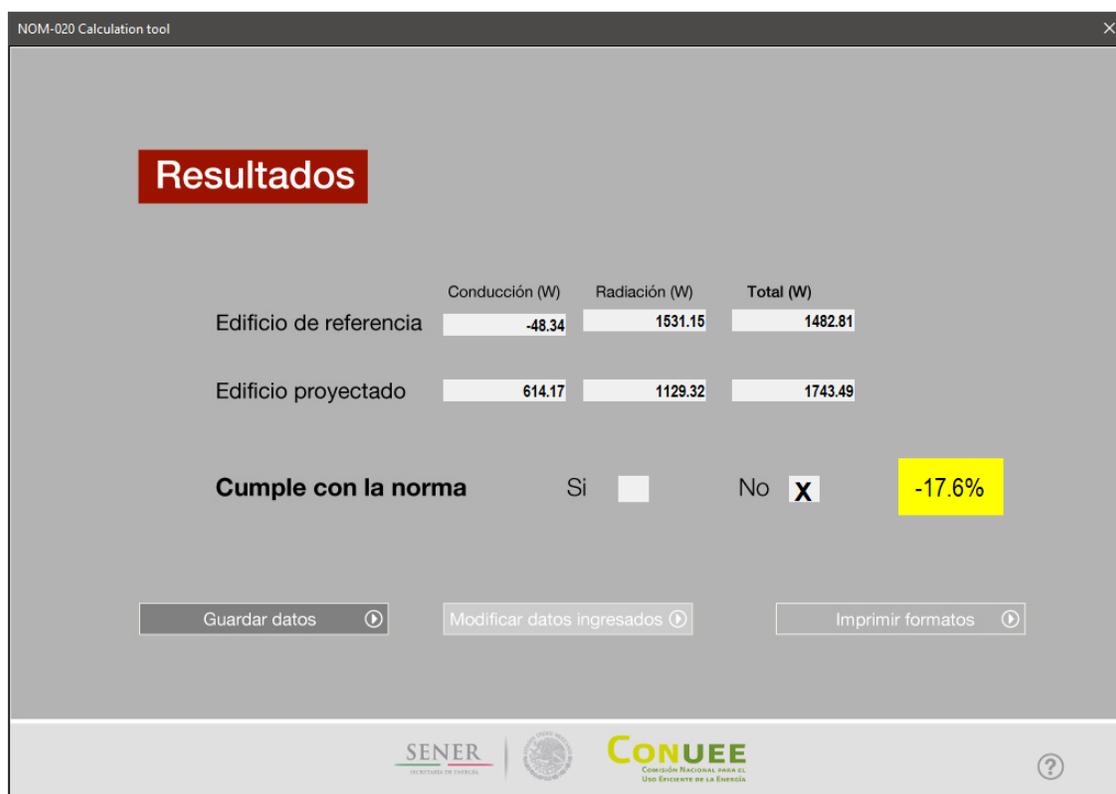


Ilustración 52. Análisis de caso Cuajimalpa sustituyendo block por tabique. Usando tabique NO se pasa la norma.

Con el simple hecho de cambiar el block de concreto de 12 cm por tabique recocido de 11 cm hace que el proyecto de vivienda este un 17.6% por encima de la línea base estipulada por la NOM 020 ENERN 2011. Por lo cual el tabique no es tomado en cuenta para los cambios a materiales más térmicamente eficientes para cumplir con la norma para este caso.

Usando los materiales eficientes de la Ilustración 42 si pasamos la norma con una menor ganancia térmica.

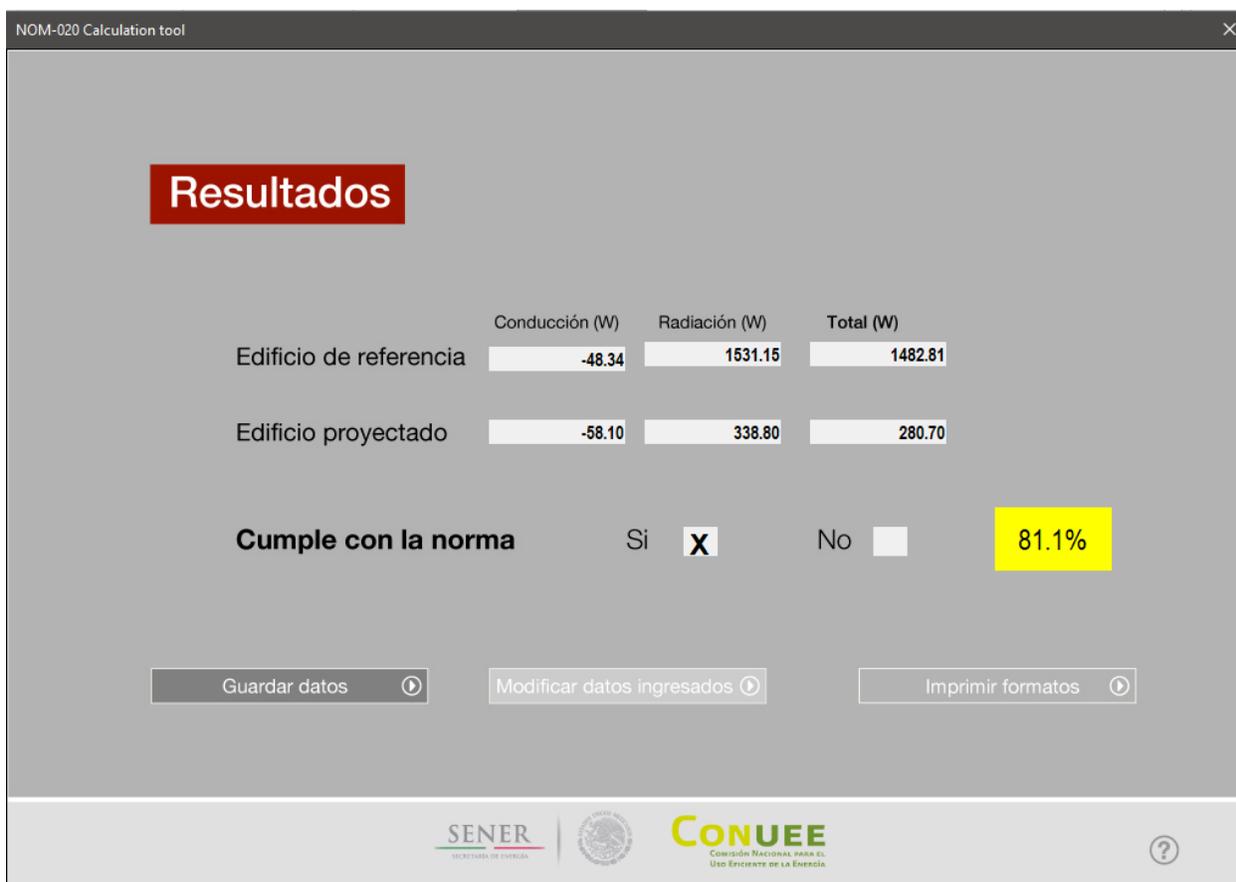


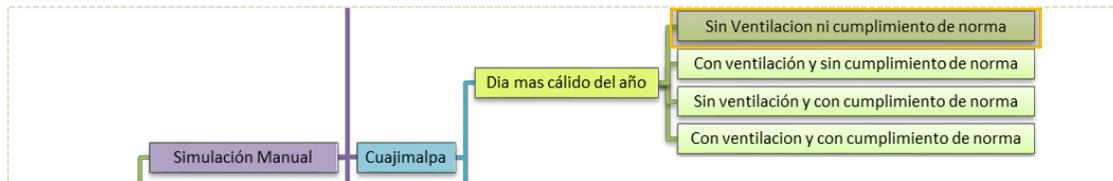
Ilustración 53. Cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 en caso Cuajimalpa con materiales eficientes.

En las figuras a continuación veremos cuál fue el consumo y costo de operación de este caso de estudio en sus 4 variantes durante el día más cálido y el más frío del año en el cálculo manual.

Día más Cálido.

El día más cálido elegido para el caso de Cuajimalpa fue el 21 de mayo ya que las normales climatológicas de la estación 0009030 en La Venta Cuajimalpa marcan que las temperaturas más altas se dan en el mes de mayo y no en el mes de julio como en Hermosillo.

Sin ventilación ni cumplimiento de norma



En el primero de los escenarios, sin cumplimiento de la norma y sin ventilación, tenemos los resultados siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C	
INICIAL	8:00 AM	13.9	17.25	
	9:00 AM	16.8	17.76	
	10:00 AM	19.2	18.31	
	11:00 AM	20.9	18.98	
	12:00 PM	21.7	19.68	
	1:00 PM	21.8	20.62	
	2:00 PM	21.4	21.41	
	3:00 PM	20.6	22.17	
	4:00 PM	19.6	22.83	
	5:00 PM	18.4	23.10	
	6:00 PM	17.2	23.16	
	7:00 PM	16.1	22.89	
	8:00 PM	15.1	22.35	
	9:00 PM	14.1	21.92	
	10:00 PM	13.3	21.44	
	11:00 PM	12.5	20.94	
	12:00 AM	11.9	20.39	
	1:00 AM	11.4	19.84	
	2:00 AM	11	19.29	
	3:00 AM	10.6	18.75	
	4:00 AM	10.3	18.23	
	5:00 AM	10.1	17.72	
	6:00 AM	9.4	17.24	
	7:00 AM	11.1	16.79	
	Rango confort		25.25	18.25
	Qload total	-5692.03 Wh		-5.69 kWh/día -173.09 kWh/mes

-5.69 kWh	Qload total Del Día		
-19,422.03 BTU	5.2M DE ALTURA		
-1.6 TON REF	SIN ABRIR VENTANAS		
REQUIERE 1 UNIDAD CALEFACCIÓN 2 TON POR 6 HRS. 4AM-10AM			
6.60 kW	182.4 hr/mes		\$ 2,547.33
1,203.84 kWh/mes	1.058	Costo promedio kWh en tarifa 1 III/2017	AL BIMESTRE
1,273.66 MXN AL MES			
MODELO MINISPLIT 3 TON		53VSQ364A FIX	CARRIER 10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON		53FXC243A FIX	CARRIER 6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON		53VSQ123A FIX	CARRIER 3.5 Kw

En la tabla de temperaturas horarias podemos ver que la diferencia entre la temperatura máxima exterior e interior es de 1.36°C y la diferencia entre las mínimas exterior e interior es de 7.39°C. A diferencia de Hermosillo, las temperaturas de Cuajimalpa durante mayo tienden a ser más frías que el rango del confort

establecido de 18.25°C a 25.25°C. Como en los casos del día frío de Hermosillo, tenemos una Qload negativa, la cual indica que la vivienda pierde calor al exterior y requerimos de calefacción, no de refrigeración en el mes más cálido.

El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.058 MXN, el cual es el promedio de del tercer bimestre del 2017 (Secretaria de Energía, 2017)

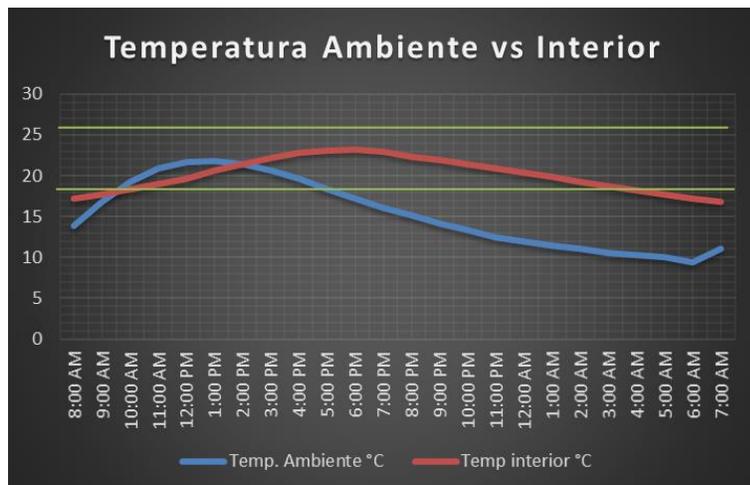


Ilustración 54. Grafica de temperatura caso Cuajimalpa, temperatura interior está mayor mente dentro de la zona de confort.

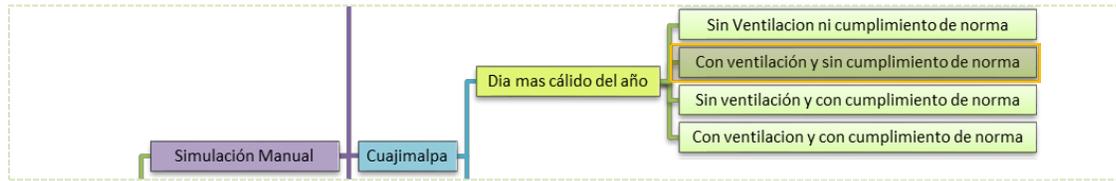
De acuerdo con la herramienta de cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011 de la CONUEE el proyecto original de la vivienda de interés social propuesta en este tema de investigación si pasa la norma, y esto se ve reflejado en que 18 horas de 24 están dentro del rango de confort calculado.

Los materiales originales están cumpliendo de manera suficiente su función de regulación térmica. Como habíamos visto en el día más frío del cado de Hermosillo, los materiales originales funcionan de manera más eficiente en climas templados o fríos que en los cálidos.

Para este caso se requiere una unidad tipo mini Split con calefacción de 2 toneladas de refrigeración operando 6 horas, lo cual nos arroja un costo mensual de operación de \$1,273.66

Si agregamos un programa de ventilación a este caso de materiales originales (que si pasan la norma) podemos incrementar el número de horas dentro del rango de confort calculado y mejorar los costos de operación de la vivienda.

Con ventilación y sin cumplimiento de norma



Los resultados de implementar un programa de ventilación en la vivienda, sin cumplir con la norma, son los siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	13.9	17.25
	9:00 AM	16.8	17.76
	10:00 AM	19.2	18.31
	11:00 AM	20.9	18.98
	12:00 PM	21.7	21.89
	1:00 PM	21.8	23.20
	2:00 PM	21.4	23.83
	3:00 PM	20.6	24.44
	4:00 PM	19.6	24.96
	5:00 PM	18.4	25.09
	6:00 PM	17.2	25.02
	7:00 PM	16.1	24.64
	8:00 PM	15.1	23.99
	9:00 PM	14.1	23.46
	10:00 PM	13.3	22.89
	11:00 PM	12.5	22.30
	12:00 AM	11.9	21.66
	1:00 AM	11.4	21.03
	2:00 AM	11	20.41
	3:00 AM	10.6	19.80
	4:00 AM	10.3	19.21
	5:00 AM	10.1	18.64
	6:00 AM	9.4	18.11
	7:00 AM	11.1	17.61
	Rango confort	25.25	18.25
	Qload total	1876.27 Wh	1.88 kWh/día 57.06 kWh/mes

1.88	kWh	Qload total Del Día
6,402.08	BTU	5.2M DE ALTURA
0.5	TON REF	VENTILACION 11AM-1PM
REQUIERE 1 UNIDAD CALEFACCIÓN 1 TON POR 5 HRS AL DIA		\$ 1,045.30
3.25	KW	152.0 hr/mes
494.00	KWh/mes	Costo promedio kWh en tarifa 1 III/2017
522.65	MXN AL MES	

MODELO MINISPLIT 3 TON		53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON		53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON		53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

Con el programa de ventilación de 11 am a 1 pm la diferencia entre las máximas de temperatura interior y exterior es de 4.01°C y la diferencia entre las temperaturas mínimas interior y exterior es de 7.88°C, en ambas diferenciales incrementamos el número de grados.

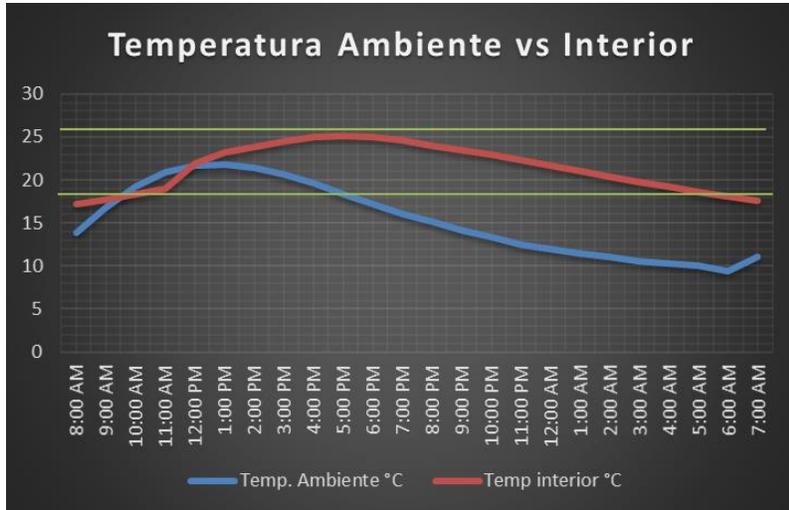


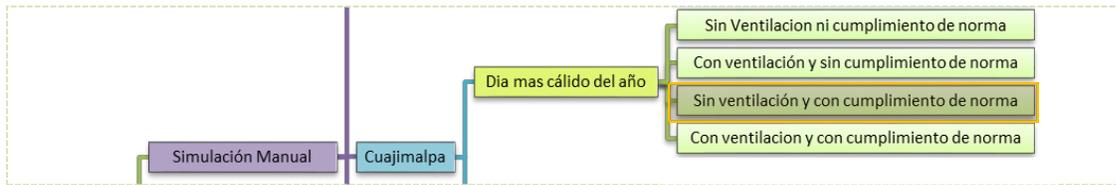
Ilustración 55. Grafica de caso Cuajimalpa, materiales originales con programa de ventilación.

tipo minisplit de 2 toneladas a una unidad de una tonelada que funcionará durante 5 horas. Lo cual reduce los costos mensuales de operación de \$1,273.66 a \$522.65 MXN

La Qload pasa de ser negativa (-5.69kWh a 1.88kWh) lo cual significa que con el programa de ventilación estamos ingresando una mayor cantidad de calor a la vivienda, lo que genera un decremento en la necesidad de calefacción mecánica.

Pasamos de requerir una unidad de calefacción – refrigeración

Sin ventilación y con cumplimiento de norma



Si cambiamos los materiales originales por los materiales certificados que usamos en la **¡Error!**
No se encuentra el origen de la referencia., sin aplicar un programa de ventilación,

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	13.9	18.25
	9:00 AM	16.8	18.66
	10:00 AM	19.2	18.87
	11:00 AM	20.9	19.14
	12:00 PM	21.7	19.46
	1:00 PM	21.8	19.73
	2:00 PM	21.4	20.25
	3:00 PM	20.6	20.76
	4:00 PM	19.6	21.24
	5:00 PM	18.4	21.37
	6:00 PM	17.2	21.47
	7:00 PM	16.1	21.43
	8:00 PM	15.1	21.14
	9:00 PM	14.1	21.01
	10:00 PM	13.3	20.86
	11:00 PM	12.5	20.67
	12:00 AM	11.9	20.43
	1:00 AM	11.4	20.18
	2:00 AM	11	19.93
	3:00 AM	10.6	19.68
	4:00 AM	10.3	19.43
	5:00 AM	10.1	19.18
	6:00 AM	9.4	18.94
	7:00 AM	11.1	18.72
	Rango confort		25.25 18.25
	Qload total	3180.48 Wh	3.18 kWh/dia 96.72 kWh/mes

3.18 kWh	Qload total Del Dia
10,852.25 BTU	5.2M DE ALTURA
0.9 TON REF	SIN ABRIR VENTANAS
NO REQUIERE ENFRIAMIENTO O CALEFACCIÓN	
0.00 kW	0.0 hr/mes
- kWh/mes	1.058 Costo promedio kWh en tarifa 1 III/2017
- MXN AL MES	AL BIMESTRE

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

obtendríamos los siguientes resultados:

La diferencia entre las temperaturas máximas interior y exterior es de 0.33°C y la diferencia entre más mínimas interior y exterior es de 8.85°C.

La Q load de esta variante con materiales térmicamente eficientes sin ventilación es de 3.18kWh. En la figura 27, se aprecia que las 24 horas del día calculado se

encuentran dentro del rango de confort. Lo cual elimina la necesidad de refrigerar o calentar el interior de la vivienda. Esto significa que nuestro gasto mensual de climatización e reduce a \$0.00 pesos.

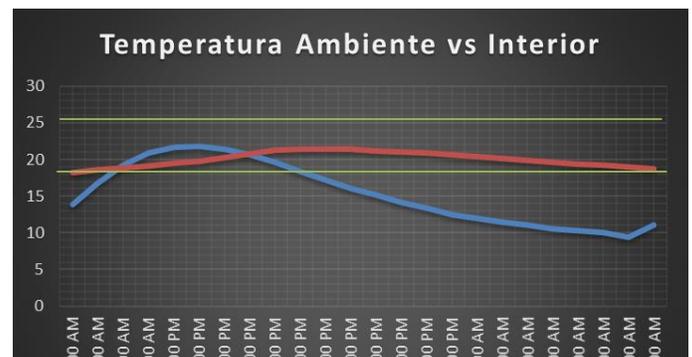
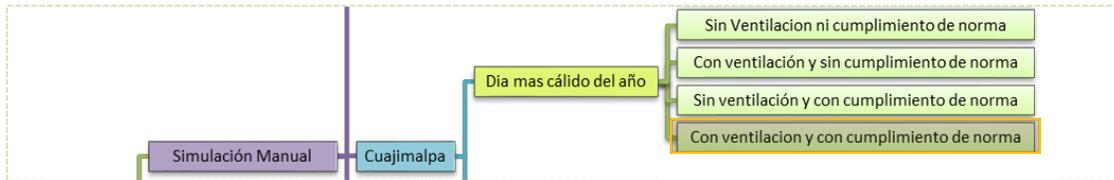


Ilustración 56. Gráfica de temperaturas caso Cuajimalpa con materiales térmicamente eficientes. No hay necesidad de calefacción o refrigeración.

Con ventilación y con cumplimiento de norma



Si agregamos un programa de ventilación, podemos incrementar las temperaturas interiores sin salir del rango de confort y sin tener que pagar por concepto de climatización interior.

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	13.9	18.25
	9:00 AM	16.8	18.66
	10:00 AM	19.2	18.87
	11:00 AM	20.9	19.14
	12:00 PM	21.7	22.37
	1:00 PM	21.8	22.57
	2:00 PM	21.4	23.02
	3:00 PM	20.6	23.46
	4:00 PM	19.6	23.88
	5:00 PM	18.4	23.94
	6:00 PM	17.2	23.97
	7:00 PM	16.1	23.88
	8:00 PM	15.1	23.52
	9:00 PM	14.1	23.34
	10:00 PM	13.3	23.12
	11:00 PM	12.5	22.89
	12:00 AM	11.9	22.59
	1:00 AM	11.4	22.29
	2:00 AM	11	21.98
	3:00 AM	10.6	21.68
	4:00 AM	10.3	21.38
	5:00 AM	10.1	21.08
	6:00 AM	9.4	20.80
	7:00 AM	11.1	20.53
	Rango confort		25.25 18.25
	Qload total	16183.32 Wh	16.18 kWh/dia 492.13 kWh/mes

16.18 kWh	Qload total Del Dia
55,219.79 BTU	5.2M DE ALTURA
4.6 TON REF	CON VENTILACION DE 11AM A 1PM
NO REQUIERE ENFRIAMIENTO O CALEFACION	
0.00 kW	0.0 hr/mes
- kWh/mes	1.058 Costo promedio kWh en tarifa 1 III/2017
- MXN AL MES	AL BIMESTRE

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

La qload en esta variante subió de 3.18kWh a 16.18kWh, la más alta en los escenarios del caso Cuajimalpa.

Las temperaturas interiores y exteriores continúan estando dentro del rango de confort calculado durante todo el día del cálculo.

Aumentamos la ganancia de calor al interior de la vivienda ventilando de las 11am a la 1 pm y al igual que el escenario anterior, eliminamos el costo de operación por climatización interior.

El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.058 MXN, el cual es el promedio de del tercer bimestre del 2017 (Secretaria de Energía, 2017).

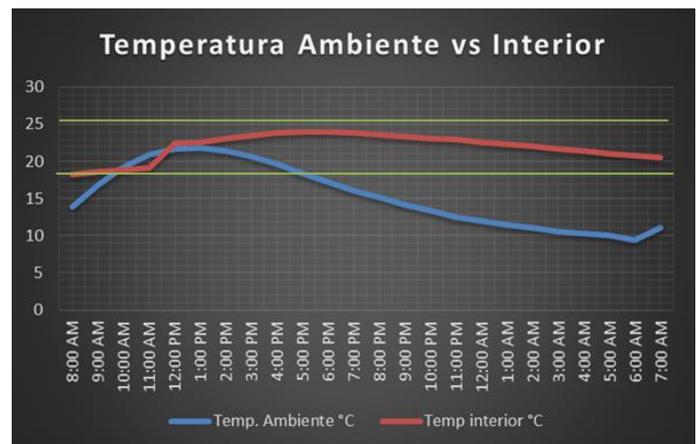
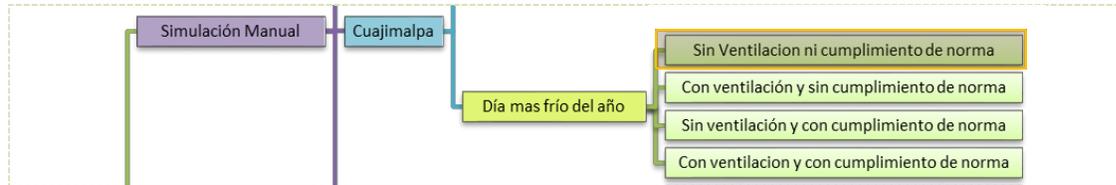


Ilustración 57. Gráfica de caso Cuajimalpa con materiales térmicamente eficientes y plan de ventilación.

Día más Frío.

Las temperaturas mínimas del año se registran en el mes de enero, igual que en el caso de Hermosillo. Por lo tanto, el día elegido para el cálculo del día más frío en Cuajimalpa fue el 21 de enero.

Sin ventilación ni cumplimiento de norma



Los resultados para el escenario de materiales originales sin ventilación son:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	6.6	14.70
	9:00 AM	9.5	14.56
	10:00 AM	12.5	14.46
	11:00 AM	15	14.52
	12:00 PM	16.7	14.68
	1:00 PM	17.5	15.16
	2:00 PM	17.6	15.61
	3:00 PM	17.2	16.12
	4:00 PM	16.4	16.63
	5:00 PM	15.3	16.94
	6:00 PM	14.1	17.01
	7:00 PM	12.9	16.95
	8:00 PM	11.7	16.78
	9:00 PM	10.7	16.53
	10:00 PM	9.7	16.23
	11:00 PM	8.8	15.87
	12:00 AM	8.1	15.44
	1:00 AM	7.5	15.00
	2:00 AM	6.9	14.54
	3:00 AM	6.5	14.08
	4:00 AM	6.1	13.62
	5:00 AM	5.9	13.17
	6:00 AM	5.6	12.73
	7:00 AM	4.9	12.31
	Rango confort	23.70	16.70
	Qload total	-27719.34 Wh	-27.72 kWh/dia -842.95 kWh/mes

calor. Sin embargo, no es suficiente para mantener la temperatura interior dentro de los rangos de confort, requiriendo de 8 toneladas de calefacción.

-27.72 kWh	Qload total Del Dia
-94,582.31 BTU	5.2M DE ALTURA
-8.0 TON REF (CALEF)	SIN ABRIR VENTANAS
REQUIERE 4 UNIDADES A/C DE 2 TON: 19H/DIA 8AM-4PM, 10PM-8AM	
26.40 kW	577.6 hr/mes
15,248.64 KWh/mes	1.073 Costo promedio kWh en tarifa 1 I/2017
16,361.79 MXN AL MES	\$ 32,723.58 AL BIMESTRE

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

Como vimos en el día más frío del caso Hermosillo, los materiales originales del proyecto de vivienda de interés social tiene un mejor desempeño térmico en condiciones de frío que en condiciones de

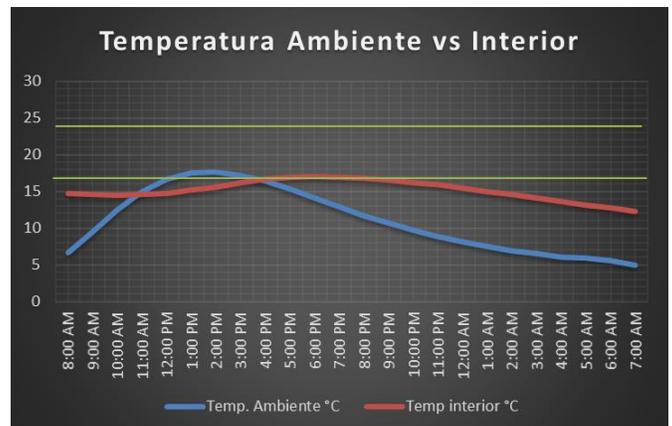
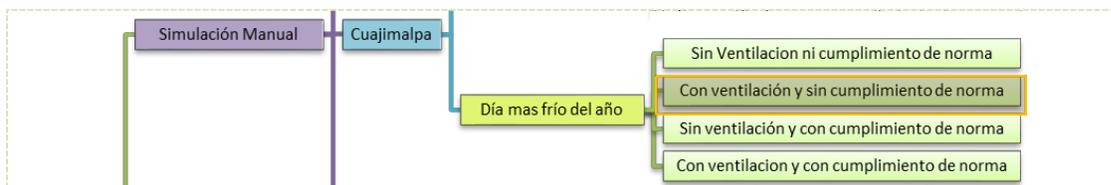


Ilustración 58. Grafica de caso Cuajimalpa, día más frío materiales originales sin ventilación.

La diferencia entre las temperaturas máximas al interior y exterior es de 0.59°C y la diferencia entre las mínimas exterior e interior es de 8.41°C . Si bien la curva de las temperaturas interiores es mucho más plana que la de las temperaturas exteriores, la mayor parte del día de cálculo se mantiene por debajo del rango de confort. Para poder generar condiciones de confort térmico al interior de la vivienda en este caso hay que hacer uso de cuatro unidades de dos toneladas de refrigeración-calefacción por 19 horas al día. Significando esto un costo de operación mensual de \$32,723.58 por concepto de calefacción.

Con ventilación y sin cumplimiento de norma



	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	6.6	14.70
	9:00 AM	9.5	14.56
	10:00 AM	12.5	14.46
	11:00 AM	15	14.52
	12:00 PM	16.7	14.69
	1:00 PM	17.5	16.30
	2:00 PM	17.6	17.66
	3:00 PM	17.2	18.52
	4:00 PM	16.4	18.87
	5:00 PM	15.3	19.05
	6:00 PM	14.1	18.99
	7:00 PM	12.9	18.80
	8:00 PM	11.7	18.51
	9:00 PM	10.7	18.16
	10:00 PM	9.7	17.75
	11:00 PM	8.8	17.30
	12:00 AM	8.1	16.79
	1:00 AM	7.5	16.26
	2:00 AM	6.9	15.73
	3:00 AM	6.5	15.19
	4:00 AM	6.1	14.66
	5:00 AM	5.9	14.14
	6:00 AM	5.6	13.65
	7:00 AM	4.9	13.17
	Rango confort		23.70 16.70
	Qload total	-19707.94 Wh	-19.71 kWh/dia -599.32 kWh/mes

-19.71 kWh	Qload total Del Dia	
-67,246.30 BTU	5.2M DE ALTURA	
-6.0 TON REF	VENTILACION 11AM-2PM	
REQUIERE 2 UNIDAD CALEFACCION 3 TON POR 10 HRS.		
20.52 kW	304.0 hr/mes	\$ 13,386.92
6,238.08 kWh/mes	1.073 Costo promedio kWh en tarifa 1 I/2017	AL BIMESTRE
6,693.46 MXN AL MES		

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

Implementar un programa de ventilación de 11 am a 2 pm arroja los siguientes resultados:

Implementando el programa tenemos una diferencial entre las temperaturas máximas de 1.45°C y una diferencia entre las mínimas de 8.27°C .

Con el programa de ventilación de 11 am a 2 pm se incrementa la ganancia de calor al interior de la vivienda de -27.72kWh a -19.71kWh, reduciendo las toneladas de calefacción requeridas de 8 toneladas a 6 toneladas.

Como se puede apreciar en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, al implementar el programa de ventilación genera que 11 horas el día estén dentro del rango de confort. Lo que reduce los costos mensuales de operación por climatización de la vivienda a \$13,386.92 pesos. El costo del kWh usado en el cálculo es de 1.073 MXN, el cual es el promedio de del primer bimestre del 2017 (Secretaria de Energía, 2017)

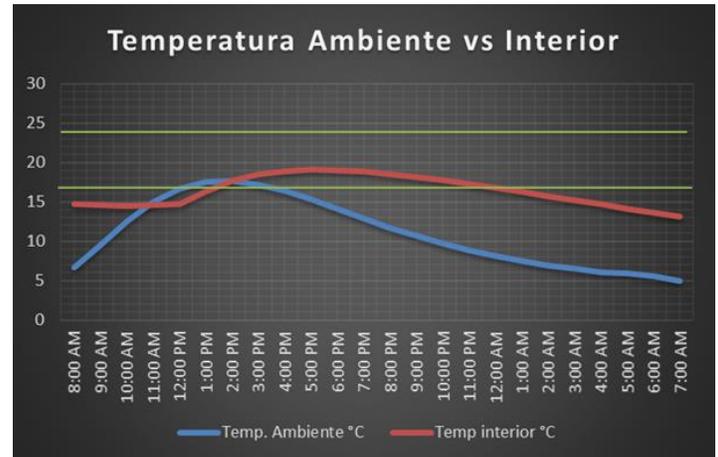
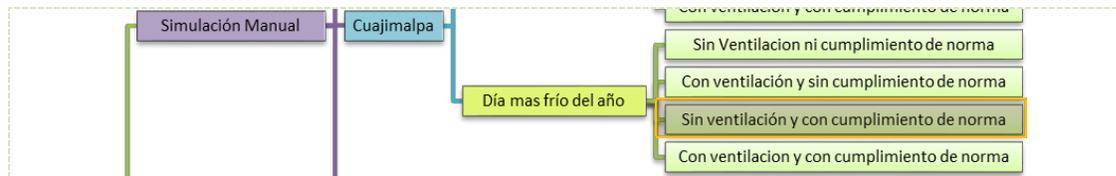


Ilustración 59. Grafica de temperaturas de caso Cuajimalpa con materiales originales y programa de ventilación.

Sin ventilación y con cumplimiento de norma



Si se cambian los materiales originales por los materiales térmicamente eficientes, ya mencionados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, sin un programa de ventilación se obtienen los siguientes resultados:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	6.6	14.70
	9:00 AM	9.5	14.76
	10:00 AM	12.5	14.57
	11:00 AM	15	14.42
	12:00 PM	16.7	14.31
	1:00 PM	17.5	14.22
	2:00 PM	17.6	14.43
	3:00 PM	17.2	14.69
	4:00 PM	16.4	15.01
	5:00 PM	15.3	15.24
	6:00 PM	14.1	15.37
	7:00 PM	12.9	15.46
	8:00 PM	11.7	15.50
	9:00 PM	10.7	15.50
	10:00 PM	9.7	15.45
	11:00 PM	8.8	15.38
	12:00 AM	8.1	15.23
	1:00 AM	7.5	15.07
	2:00 AM	6.9	14.89
	3:00 AM	6.5	14.71
	4:00 AM	6.1	14.52
	5:00 AM	5.9	14.33
	6:00 AM	5.6	14.14
	7:00 AM	4.9	13.95
	Rango confort		23.70 16.70
	Qload total	-6813.51 Wh	-6.81 kWh/dia -207.20 kWh/mes

-6.81 kWh	Qload total Del Dia	
-23,248.68 BTU	5.2M DE ALTURA	
-2.0 TON REF (CALEF)	SIN ABRIR VENTANAS	
	REQUIERE 1 UNIDADES A/C DE 2 TON: 24H/DIA	
6.60 kW	729.6 hr/mes	\$ 10,333.76
4,815.36 kWh/mes	Costo promedio kWh en tarifa 1 I/2017	AL BIMESTRE
	5,166.88 MXN AL MES	

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

La diferencia entre las temperaturas máximas es de 2.1°C y la diferencia de las mínimas es de 9.05°C.

Se incrementa la ganancia de calor al interior de la vivienda a -6.81kWh y la curva de temperaturas es más plana que los escenarios anteriores del día más frío, pero al igual que el escenario con los materiales originales,

la curva de temperaturas exteriores se mantiene por debajo del rango de confort y requiere de calefacción para alcanzar dicho rango. La diferencia con el escenario de los materiales originales es que, en esta variante de materiales térmicamente eficientes, requerimos menos toneladas de calefacción para alcanzar el confort térmico. Requerimos 2 toneladas de calefacción en vez de 8 toneladas como en el escenario de materiales originales sin ventilación. Esto nos arroja un costo mensual de operación de \$10,333.76 pesos.

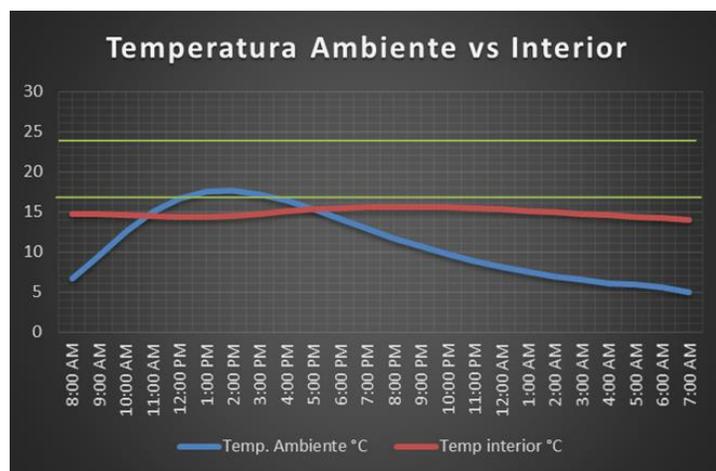
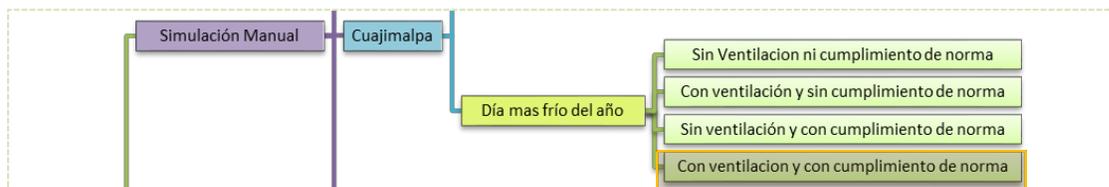


Ilustración 60. Gráfica de temperaturas caso Cuajimalpa, materiales térmicamente eficientes, sin ventilación

Con ventilación y con cumplimiento de norma



	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C	
INICIAL	8:00 AM	6.6	14.70	
	9:00 AM	9.5	14.76	
	10:00 AM	12.5	14.57	
	11:00 AM	15	14.42	
	12:00 PM	16.7	14.38	
	1:00 PM	17.5	15.94	
	2:00 PM	17.6	17.59	
	3:00 PM	17.2	18.44	
	4:00 PM	16.4	18.67	
	5:00 PM	15.3	18.80	
	6:00 PM	14.1	18.85	
	7:00 PM	12.9	18.85	
	8:00 PM	11.7	18.81	
	9:00 PM	10.7	18.72	
	10:00 PM	9.7	18.60	
	11:00 PM	8.8	18.45	
	12:00 AM	8.1	18.23	
	1:00 AM	7.5	17.99	
	2:00 AM	6.9	17.74	
	3:00 AM	6.5	17.49	
	4:00 AM	6.1	17.23	
	5:00 AM	5.9	16.97	
	6:00 AM	5.6	16.71	
	7:00 AM	4.9	16.46	
	Rango confort		23.70	16.70
	Qload total	11243.43 Wh		11.24 kWh/día 341.91 kWh/mes

Implementando un programa de ventilación a el escenario de materiales térmicamente eficientes arroja los siguientes resultados:

11.24 kWh	Qload total Del Dia		
38,364.16 BTU	5.2M DE ALTURA		
3.5 TON REF	VENTILACION 11AM-2PM		
REQUIERE 2 UNIDAD CALEFACCIÓN 2 TON POR 4 HRS.			
13.20 kW	121.6 hr/mes		\$ 3,444.59
1,605.12 kWh/mes	1.073	Costo promedio kWh en tarifa 1 I/2017	AL BIMESTRE
1,722.29 MXN AL MES			

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

En esta última variante del caso Cuajimalpa en el análisis del día más frío, se observa que la diferencia entre las temperaturas máximas es de 1.25°C y la diferencia entre las mínimas es de 9.48°C. Con el plan de

ventilación de 11 am a 2 pm hay una ganancia importante de calor al interior de la vivienda ya que llegamos a números positivos en la Qload, con 11.24kWh.

Con esto se logra que 20 horas del día estén dentro del rango de confort calculado.

Requiriendo calefacción únicamente las 4 horas restantes del día. Para este caso se requieren 2 equipos de calefacción – refrigeración tipo minisplit de 2 toneladas. Si bien en esta última variante se requieren equipos de mayor capacidad que en el escenario con cambio de materiales y sin ventilación, aquí se tiene un costo mensual de operación menor ya que solo se requiere usarlos 4 horas al día. El costo mensual de operación es de \$3,444.59 pesos el cual es el más económico de todos si se toma en cuenta que en verano no hay gastos de refrigeración o calefacción.

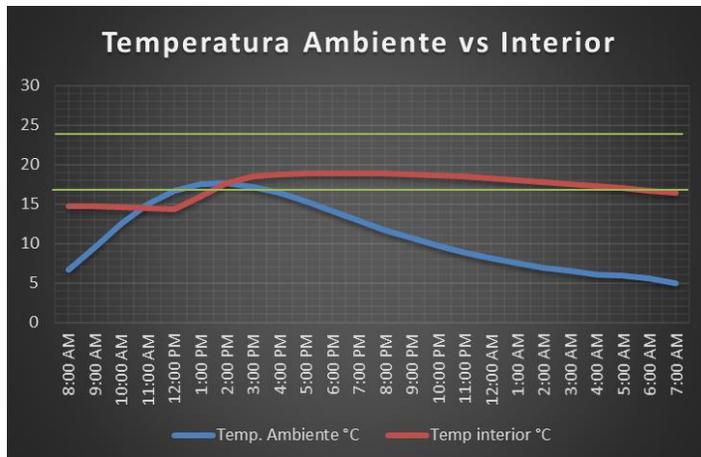


Ilustración 61. Gráfica de temperaturas caso Cuajimalpa, día más frío con cambio de materiales y programa de ventilación.

iv) ANEXO IV: Calculo día más frío y día más cálido de Mérida

Análisis de la NOM 020 ENER 2011 en el proyecto de vivienda

En cuanto al cumplimiento del proyecto original ubicado Mérida se tiene que este NO pasa la norma. De acuerdo a la figura 33, está un 98% por encima de la line base establecida por la norma.

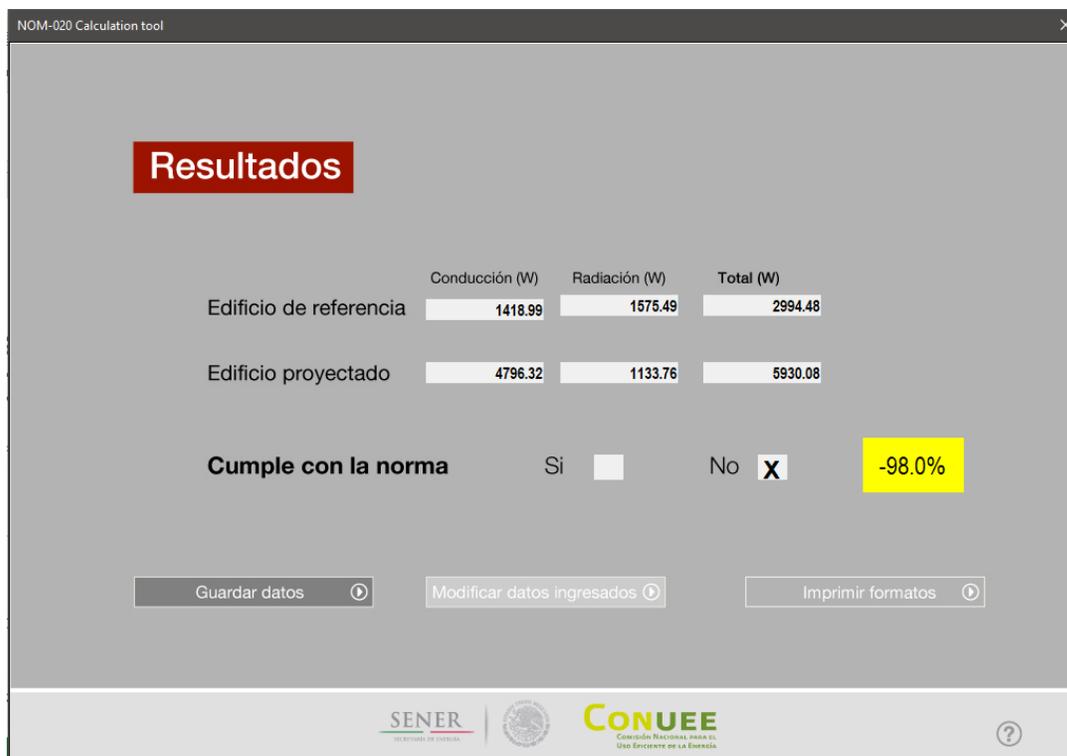


Ilustración 62. Resultado herramienta CONUEE para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011. Proyecto original NO cumple la norma.

Los materiales originales empleados para el análisis con la herramienta de cumplimiento de la CONUEE fueron los ya especificados en la Tabla 9. Materiales originales proyectados de la vivienda de interés social.

Como el tabique es también un material común para la construcción de muros se analizó con la herramienta de la CONUEE si hay algún cambio en el cumplimiento si en vez de bloques de concreto de 12 cm se usaran tabiques de barro recocido de 11 cm para la construcción de los muros.

NOM-020 Calculation tool

Resultados

	Conducción (W)	Radiación (W)	Total (W)
Edificio de referencia	1418.99	1575.49	2994.48
Edificio proyectado	3177.68	1133.76	4311.44

Cumple con la norma Si No **-44.0%**





Ilustración 63. Herramienta de cumplimiento de la CONUEE para la NOM 020 ENER 2011. Usando tabique de 11 cm de espesor tampoco se pasa la norma.

Como se aprecia en la Ilustración 49, si cambiamos el block de concreto de 12 cm por tabique de barro de 11 cm, tampoco pasamos la norma, pero hay que recalcar que para el clima de Mérida Yucatán el tabique tiene un mejor comportamiento térmico que el block de concreto de 12 cm. Lo contrario ocurre en el caso de Cuajimalpa, donde el block tiene un mejor desempeño.

Si usamos los materiales térmicamente eficientes ya especificados en la Ilustración 42. Materiales a usar para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011., el resultado que arroja la herramienta de cumplimiento de la CONUEE para la norma es el siguiente:

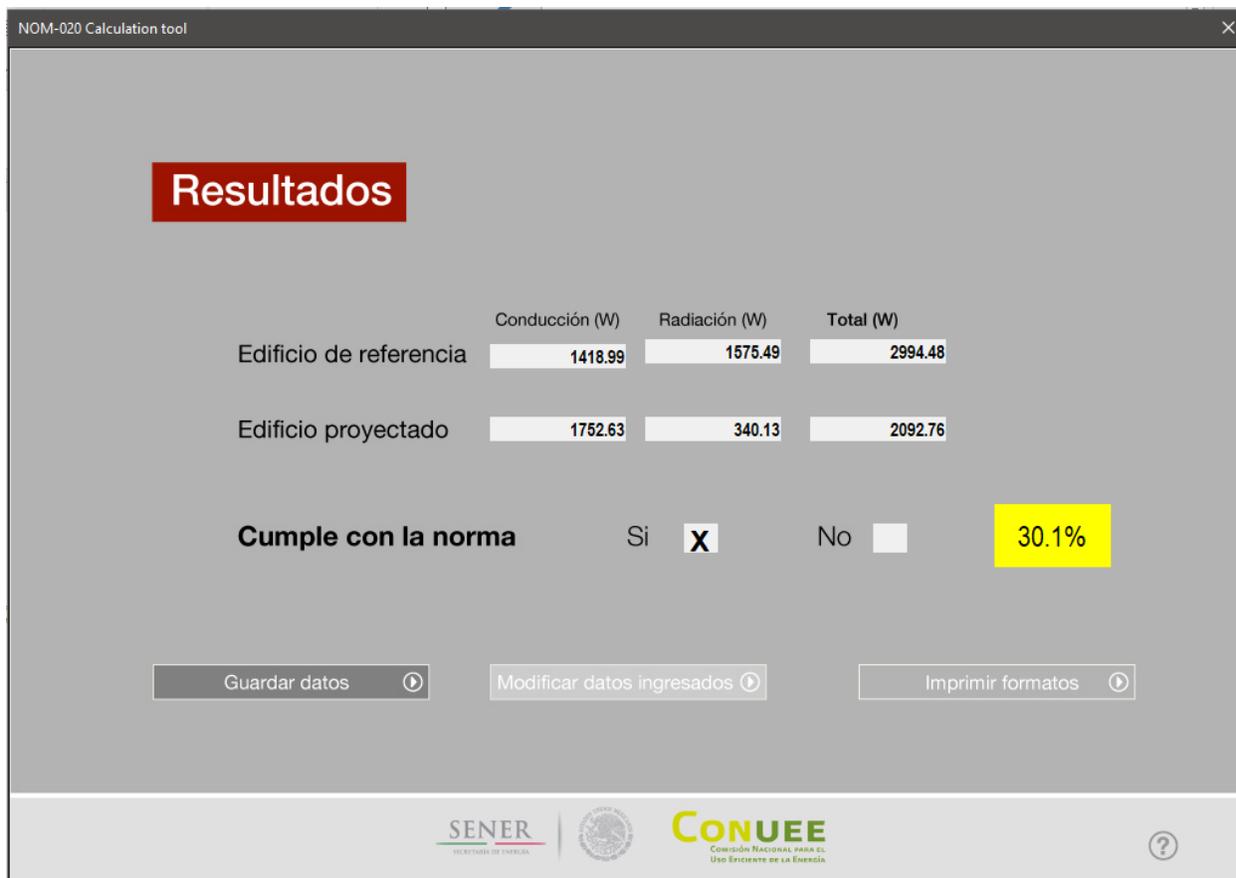


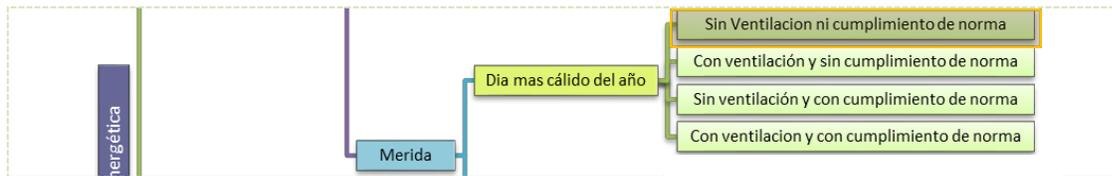
Ilustración 64. Resultado de análisis de la herramienta de cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011 para caso Mérida con materiales eficientes.

En la figura siguiente se ven los resultados de consumo y costo energético por variante del caso.

Día más Cálido.

El mes en los que se registran las temperaturas máximas durante el año es mayo, al igual que en Cuajimalpa. Por lo tanto, el día más válido elegido para el cálculo de este caso de estudio y sus variantes es el 21 de mayo.

Sin ventilación ni cumplimiento de norma



Iniciando con el primer escenario que es el proyecto original sin ventilación en el día más cálido, tenemos los resultados siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.2	23.06
	9:00 AM	30.5	24.07
	10:00 AM	33.3	25.16
	11:00 AM	35.1	26.28
	12:00 PM	36	27.39
	1:00 PM	36.1	28.76
	2:00 PM	35.6	29.92
	3:00 PM	34.7	31.02
	4:00 PM	33.5	31.97
	5:00 PM	32.2	32.51
	6:00 PM	30.8	32.83
	7:00 PM	29.5	32.83
	8:00 PM	28.3	32.68
	9:00 PM	27.3	32.45
	10:00 PM	26.3	32.15
	11:00 PM	25.5	31.79
	12:00 AM	24.8	31.36
	1:00 AM	24.2	30.91
	2:00 AM	23.7	30.45
	3:00 AM	23.3	29.99
	4:00 AM	23	29.53
	5:00 AM	22.7	29.09
	6:00 AM	21.9	28.66
	7:00 AM	23.9	28.23
	Rango confort	30.06	23.06
	Qload total	50539.09 Wh	50.54 kWh/dia 1536.89 kWh/mes

50.54 kWh	Qload total Del Dia
172,446.54 BTU	5.2M DE ALTURA
14.5 TON REF (CALEF)	SIN ABRIR VENTANAS
REQUIERE 5 UNIDADES A/C DE 3 TON: 2pm a 4am. 14H/DIA	
51.30 kW	425.6 hr/mes
21,833.28 kWh/mes	0.963 Costo promedio kWh en tarifa 1C III/2017
21,025.45 MXN AL MES	
\$ 42,050.90 AL BIMESTRE	

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

La diferencia entre las temperaturas máximas es de 3.27°C y la diferencia entre las mínimas es de 1.70°C.

La ganancia de calor asciende a 50.54 kWh lo cual se traduce en un requerimiento de refrigeración de 14.5 toneladas. Mismas que son abastecidas por 5 unidades de 3 toneladas de refrigeración (dando un máximo de 15 toneladas de refrigeración. Lo cual nos genera un costo de operación

mensual de \$21,025.45 pesos.

Como se ve en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la curva de la temperatura interior es más tenue que la curva de la temperatura exterior, lo que indica que hay cierto amortiguamiento térmico de los materiales originales, pero no es suficiente para mantener la curva de temperatura interior dentro del rango de confort térmico calculado.

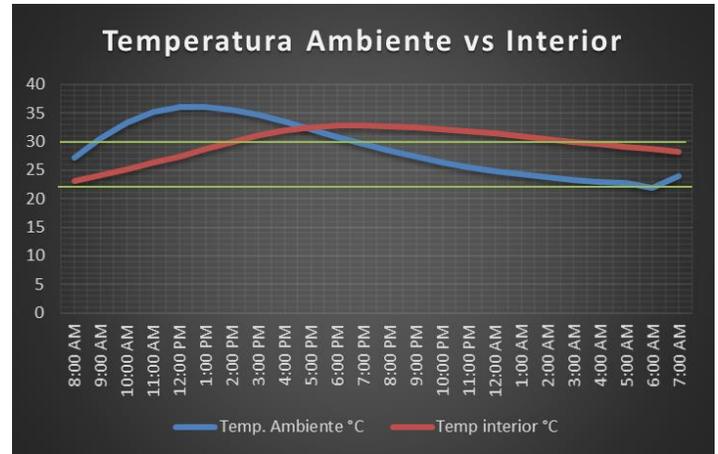
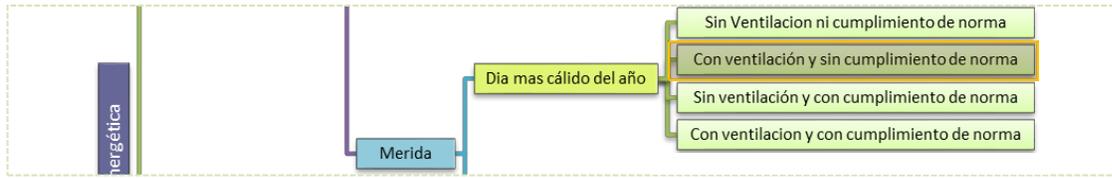


Ilustración 65. Gráfica de temperaturas exterior e interior del caso Mérida sin materiales eficientes y sin ventilación.

Con ventilación y sin cumplimiento de norma



Si se implementa un programa de ventilación sin cambiar los materiales originales se llega a los siguientes resultados:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.2	23.06
	9:00 AM	30.5	24.07
	10:00 AM	33.3	25.16
	11:00 AM	35.1	26.28
	12:00 PM	36	27.39
	1:00 PM	36.1	28.76
	2:00 PM	35.6	29.92
	3:00 PM	34.7	31.02
	4:00 PM	33.5	31.97
	5:00 PM	32.2	32.51
	6:00 PM	30.8	32.35
	7:00 PM	29.5	29.33
	8:00 PM	28.3	25.45
	9:00 PM	27.3	25.67
	10:00 PM	26.3	25.78
	11:00 PM	25.5	25.82
	12:00 AM	24.8	25.76
	1:00 AM	24.2	25.66
	2:00 AM	23.7	25.52
	3:00 AM	23.3	25.36
	4:00 AM	23	25.19
	5:00 AM	22.7	25.02
	6:00 AM	21.9	24.84
	7:00 AM	23.9	24.65
	Rango confort		30.06 23.06
	Qload total	17205.37 Wh	17.21 kWh/dia 523.22 kWh/mes

17.21 kWh	Qload total Del Dia
58,707.16 BTU	5.2M DE ALTURA
5.0 TON REF	PROGRAMA DE VENTILACION 5PM-8PM
	REQUIERE 3 UNIDAD CALEFACCIÓN 2 TON POR 6 HRS. 12PM-5PM
19.80 kW	182.4 hr/mes
3,611.52 kWh/mes	Costo promedio kWh en tarifa 1C III/2017
3,477.89 MXN AL MES	\$ 6,955.79 AL BIMESTRE

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

En esta variante la diferencia entre las temperaturas máximas (exterior e interior) es de 3.59°C y la diferencia entre las mínimas es de 1.16°C.

El programa de ventilación en esta variante consiste en abrir ventanas de las 5 de la tarde a la 8 de la noche para disipar calor del interior de la vivienda al exterior.

La ganancia térmica que se tiene en esta

variante es de 17.21 kWh, lo que equivale a un requerimiento de 5 toneladas de refrigeración. Casi 10 toneladas de refrigeración menos que el caso sin ventilación. Estas 5 toneladas de refrigeración se abastecen con 3 unidades de refrigeración tipo mini Split de 2 toneladas (6 toneladas máximas de refrigeración en total), lo cual implica un gasto mensual de operación de \$

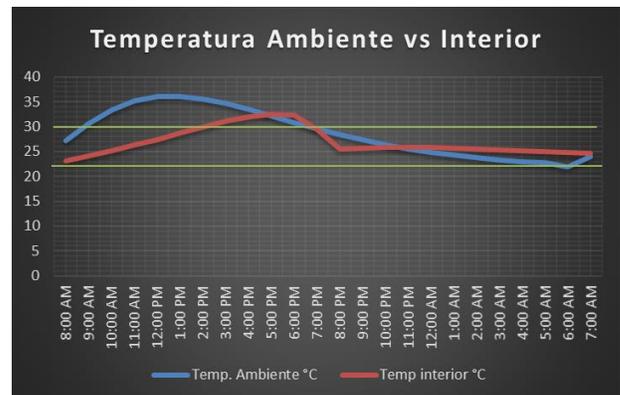
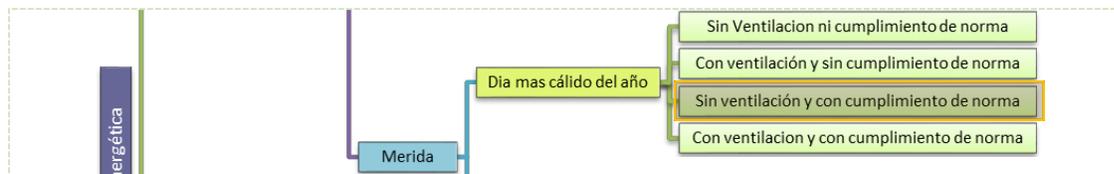


Ilustración 66. Gráfica de temperaturas de caso Mérida con materiales originales y con ventilación.

3,477.89 pesos. El costo del kWh usado en el cálculo es de 0.963 MXN, el cual es el promedio de del tercer bimestre 1C del 2017 (Secretaria de Energía, 2017)

Sin ventilación y cumpliendo la norma



En el caso de cambiar los materiales originales por los materiales de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y sin implementar un programa de ventilación se obtienen los

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.2	23.06
	9:00 AM	30.5	23.79
	10:00 AM	33.3	24.37
	11:00 AM	35.1	24.98
	12:00 PM	36	25.61
	1:00 PM	36.1	26.20
	2:00 PM	35.6	27.02
	3:00 PM	34.7	27.81
	4:00 PM	33.5	28.55
	5:00 PM	32.2	28.93
	6:00 PM	30.8	29.24
	7:00 PM	29.5	29.41
	8:00 PM	28.3	29.49
	9:00 PM	27.3	29.51
	10:00 PM	26.3	29.48
	11:00 PM	25.5	29.40
	12:00 AM	24.8	29.26
	1:00 AM	24.2	29.09
	2:00 AM	23.7	28.90
	3:00 AM	23.3	28.71
	4:00 AM	23	28.52
	5:00 AM	22.7	28.33
	6:00 AM	21.9	28.15
	7:00 AM	23.9	27.96
	Rango confort	30.06	23.06
	Qload total	36296.38 Wh	36.30 kWh/dia 1103.77 kWh/mes

36.30	kWh	Qload total Del Dia	
172,446.54	BTU	5.2M DE ALTURA	
10.3	TON REF	SIN ABRIR VENTANAS	
REQUIERE 3 UNIDADES A/C DE 3 TON + 1 UNIDAD 1 TON: 8pm a 10m. 3H/DIA			
34.28	kW	91.2	hr/mes
			\$ 6,021.32
3,126.34	kWh/mes	0.963	Costo promedio kWh en tarifa 1C III/2017
			AL BIMESTRE
3,010.66 MXN AL MES			

MODELO MINISPLIT 3 TON		53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON		53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON		53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

siguientes resultados:

La diferencia entre las temperaturas máximas es de 6.59°C y entre las mínimas es de 1.16°C. Aquí la diferencia entre las temperaturas máximas creció 3 grados con respecto a la última variante. Generándose al interior una temperatura máxima menor.

La ganancia de calor también es menor, como es de esperarse, llegando a los 36.30 kWh los cual se traduce a 10.30 toneladas de refrigeración las cuales se cubren con 3 unidades de 3 toneladas y 1 unidad de 1 tonelada (para cubrir 10 toneladas de refrigeración) los cuales funcionarán 3 horas (de 8pm a 10pm) al día, lo cual da como resultado un gasto mensual de operación de \$ 3,010.66 pesos. Aquí casi todas las horas del día de cálculo están dentro del rango de confort, excepto de las 8pm a las 10pm.

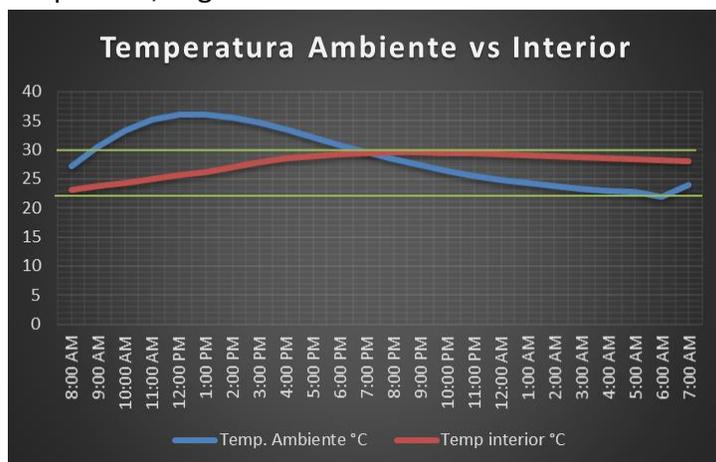
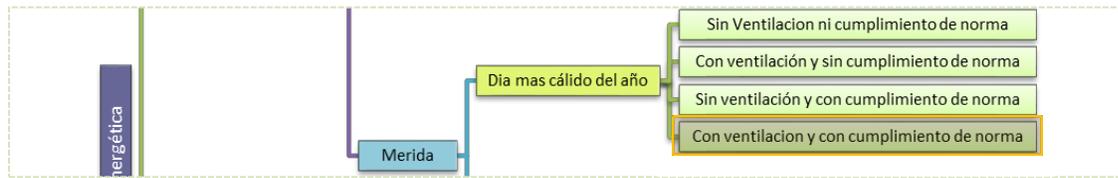


Ilustración 67. Grafica de temperaturas caso Mérida, con materiales térmicamente eficientes y sin plan de ventilación.

Con ventilación y con cumplimiento de norma



Como último escenario del día más cálido, será implementarle un plan de ventilación al proyecto con los materiales térmicamente eficientes ya especificados con anterioridad.

Los resultados son los siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	27.2	23.06
	9:00 AM	30.5	23.79
	10:00 AM	33.3	24.37
	11:00 AM	35.1	24.98
	12:00 PM	36	25.61
	1:00 PM	36.1	26.20
	2:00 PM	35.6	27.02
	3:00 PM	34.7	27.81
	4:00 PM	33.5	28.55
	5:00 PM	32.2	28.93
	6:00 PM	30.8	29.24
	7:00 PM	29.5	27.12
	8:00 PM	28.3	23.23
	9:00 PM	27.3	23.40
	10:00 PM	26.3	23.52
	11:00 PM	25.5	23.59
	12:00 AM	24.8	23.59
	1:00 AM	24.2	23.56
	2:00 AM	23.7	23.51
	3:00 AM	23.3	23.46
	4:00 AM	23	23.40
	5:00 AM	22.7	23.33
	6:00 AM	21.9	23.27
	7:00 AM	23.9	23.20
	Rango confort	30.06	23.06
	Qload total	2124.78 Wh	2.12 kWh/día 64.61 kWh/mes

2.12 kWh	Qload total Del Día	
7,250.06 BTU	5.2M DE ALTURA	
0.6 TON REF	PROGRAMA DE VENTILACION 6PM A 7 PM	
NO REQUIERE ENFRIAMIENTO NI CALEFACCIÓN		
0.00 kW	182.4 hr/mes	\$ 6,959.22
- kWh/mes	0.963 Costo promedio kWh en tarifa 1C III/2017	AL BIMESTRE
- MXN AL MES		

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

La diferencia de temperaturas máximas es de 6.86°C y a diferencia entre las mínimas es de 1.16°C.

La ganancia térmica de esta variante es de 2.12 kWh lo que se traduce en 0.6 toneladas de refrigeración. Sin embargo, no es

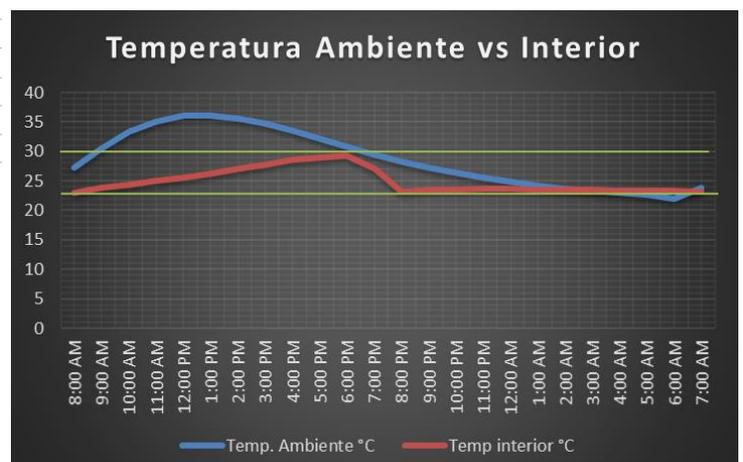


Ilustración 68. Gráfica de temperaturas caso Mérida, con materiales eficientes y programa de ventilación.

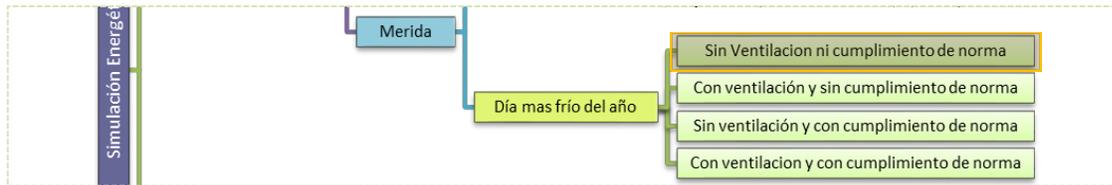
necesario satisfacer este requerimiento, ya que de acuerdo con la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** de abajo, todas las horas del día de cálculo se encuentran dentro del rango de confort ya que el programa de ventilación de 6 pm a 7 pm eliminó la necesidad de refrigeración para esta última

variante del día más cálido. Esto significa que el costo mensual de operación en esta variante es de \$0.00 pesos.

Día más Frío.

Al igual que en los dos casos de estudio anteriores, la temperatura más fría del año en Mérida se registra en enero, por lo cual, el día más frío para el cálculo será el 21 de enero.

Sin ventilación ni cumplimiento de norma



En el primer escenario del día más frío en Mérida, tenemos el proyecto original sin programa de ventilación. Los resultados son los siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C	
INICIAL	8:00 AM	19.1	21.48	
	9:00 AM	22	21.72	
	10:00 AM	25.1	21.95	
	11:00 AM	27.7	22.34	
	12:00 PM	29.4	22.82	
	1:00 PM	30.3	23.60	
	2:00 PM	30.4	24.33	
	3:00 PM	30	25.10	
	4:00 PM	29.2	25.83	
	5:00 PM	28.1	26.36	
	6:00 PM	26.9	26.65	
	7:00 PM	25.7	26.81	
	8:00 PM	24.5	26.85	
	9:00 PM	23.4	26.79	
	10:00 PM	22.4	26.66	
	11:00 PM	21.5	26.45	
	12:00 AM	20.7	26.16	
	1:00 AM	20.1	25.83	
	2:00 AM	19.5	25.48	
	3:00 AM	19.1	25.11	
	4:00 AM	18.7	24.74	
	5:00 AM	18.4	24.37	
	6:00 AM	18.1	24.00	
	7:00 AM	17.3	23.64	
	Rango confort	28.48	21.48	
	Qload total	17952.95 Wh	17.95 kWh/dia	
			545.95 kWh/mes	

17.95 kWh	Qload total Del Dia	
61,258.01 BTU	5.2M DE ALTURA	
5.1 TON REF (CALEF)	SIN ABRIR VENTANAS	
0.00 kW	NO REQUIERE ENFRIAMIENTO NI CALEFACCIÓN	
0.0 hr/mes	Costo promedio kWh en tarifa 1C 1/2017	\$ -
- kWh/mes	1.313	AL BIMESTRE
- MXN AL MES		

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

En esta primera variante la diferencia entre las temperaturas máximas es de 3.55°C y la diferencia entre las mínimas es de 4.18°C.

En esta variante tenemos que las temperaturas interiores están todas dentro del rango de confort aun cuando tenemos 17.95 kWh/día de ganancia térmica.

El gasto mensual de operación de esta variante es \$0.00 pesos.

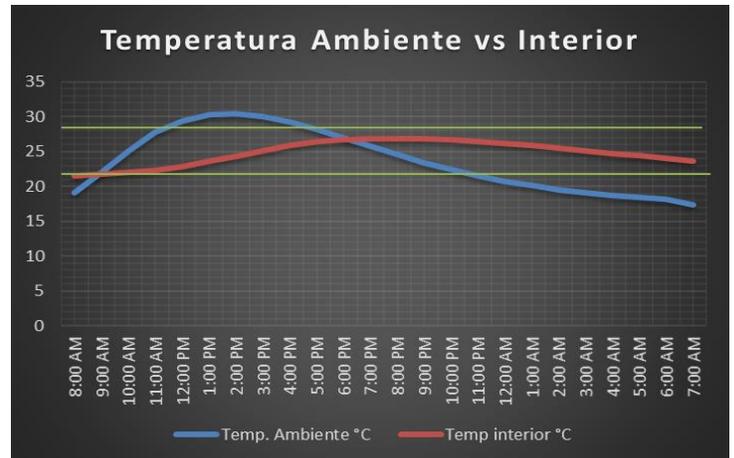
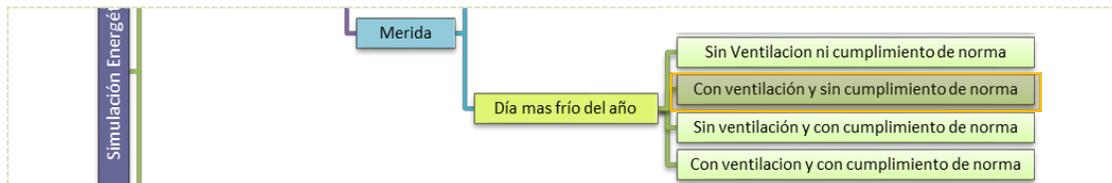


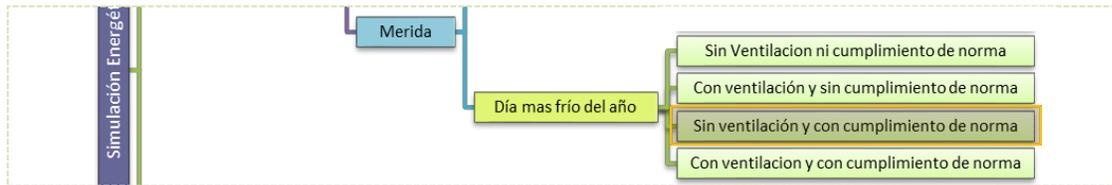
Ilustración 69. Grafica de temperaturas día más frío caso Mérida. Sin materiales térmicamente eficientes ni programa de ventilación.

Con ventilación y sin cumplimiento de norma



En el día más frío de Mérida, no hay necesidad de analizar una variante de materiales originales y programa de ventilación debido a que se obtiene un confort térmico al no tenerse una ventilación natural, como se vio en el escenario anterior.

Sin ventilación y con cumplimiento de norma



La última variante del día más frío de Mérida es la del cambio de materiales por los térmicamente eficientes sin implementar un programa de ventilación.

Los resultados de esta última variante son los siguientes:

	Hora cálculo	Temp. Ambiente °C	Temp interior °C
INICIAL	8:00 AM	19.1	21.48
	9:00 AM	22	21.73
	10:00 AM	25.1	21.78
	11:00 AM	27.7	21.86
	12:00 PM	29.4	21.98
	1:00 PM	30.3	22.11
	2:00 PM	30.4	22.53
	3:00 PM	30	23.00
	4:00 PM	29.2	23.51
	5:00 PM	28.1	23.89
	6:00 PM	26.9	24.18
	7:00 PM	25.7	24.42
	8:00 PM	24.5	24.60
	9:00 PM	23.4	24.72
	10:00 PM	22.4	24.78
	11:00 PM	21.5	24.81
	12:00 AM	20.7	24.75
	1:00 AM	20.1	24.66
	2:00 AM	19.5	24.55
	3:00 AM	19.1	24.43
	4:00 AM	18.7	24.30
	5:00 AM	18.4	24.16
	6:00 AM	18.1	24.02
	7:00 AM	17.3	23.88
	Rango confort	28.48	21.48
	Qload total	16748.45 Wh	16.75 kWh/día 509.32 kWh/mes

16.75 kWh	Qload total Del Día
57,148.10 BTU	5.2M DE ALTURA
4.8 TON REF (CALEF)	SIN ABRIR VENTANAS
NO REQUIERE ENFRIAMIENTO NI CALEFACCIÓN	
0.00 kW	0.0 hr/mes
- kWh/mes	1.313 Costo promedio kWh en tarifa 1C 1/2017
- MXN AL MES	AL BIMESTRE

MODELO MINISPLIT 3 TON	53VSQ364A FIX	CARRIER	10.26 Kw
MODELO MINISPLIT 2 TON	53FXC243A FIX	CARRIER	6.6 Kw
MODELO MINISPLIT 1 TON	53VSQ123A FIX	CARRIER	3.5 Kw

La diferencia entre las temperaturas máximas es de 5.59°C y la diferencia de las mínimas es de 4.18°C.

Tenemos que en esta variante también estamos todas las horas del día dentro del rango de confort.

Nuestra ganancia de calor disminuye a 16.75 kWh/día, pero como estamos todo el día en condiciones de confort térmico no hay necesidad de refrigeración.

El costo mensual de operación es también de \$0.00 pesos en esta variante. El costo del kWh usado en el cálculo es de 0.963 MXN, el cual es el promedio de del tercer bimestre 1C del 2017 (Secretaría de Energía, 2017)

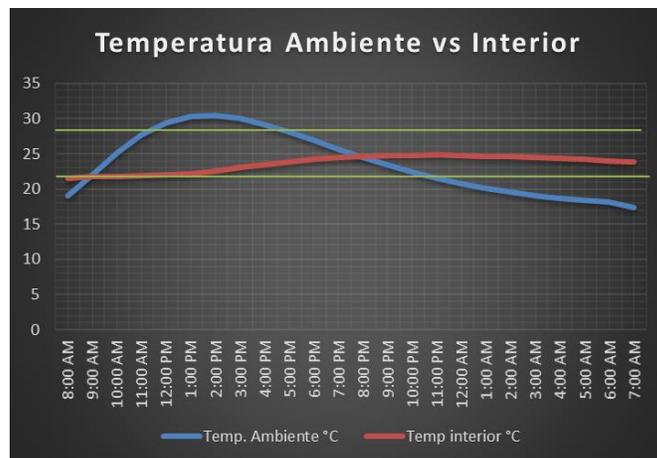


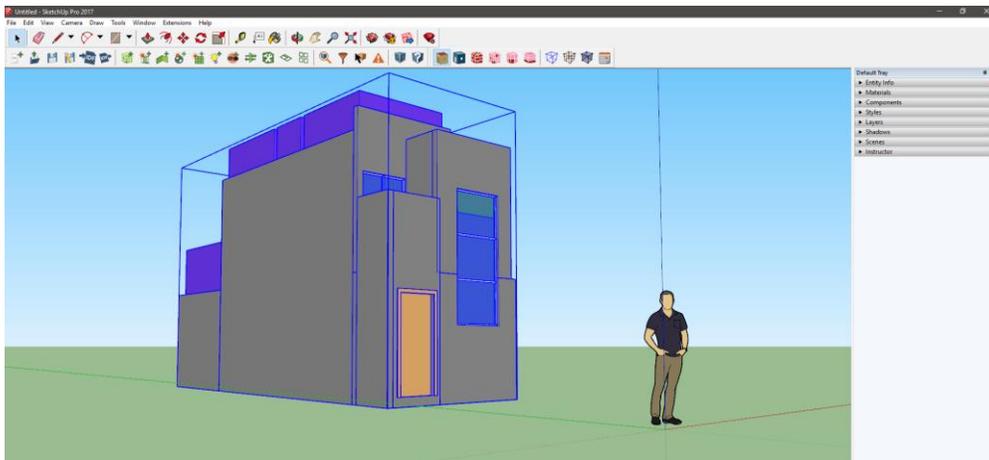
Ilustración 70. Gráfica de temperaturas día más frío caso Mérida, Con materiales eficientes y sin programa de ventilación.

v) ANEXO V: Calculo simulación energética anual en EnergyPlus

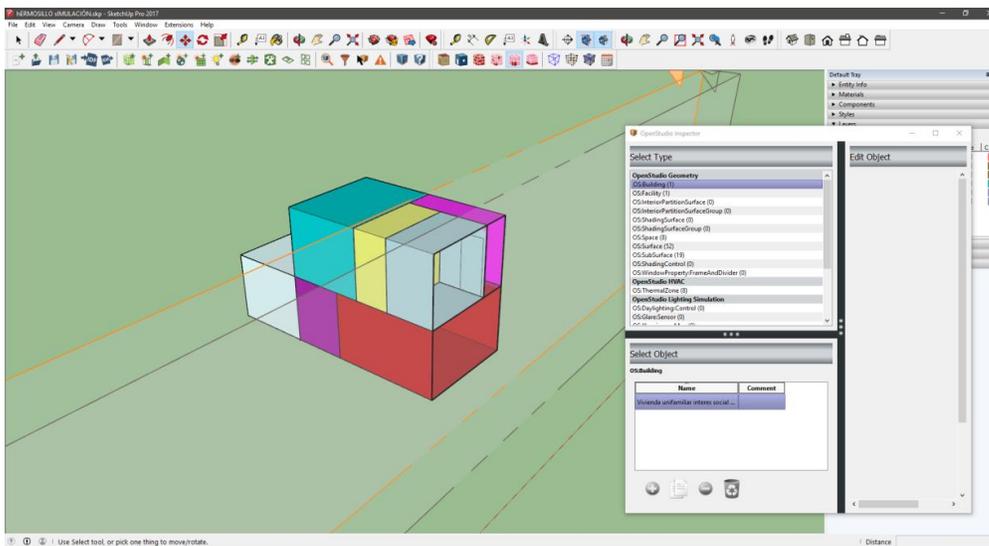
a) ANEXO V.I - Proceso de simulación.

Para la generación de los modelos de EnergyPlus se siguen los siguientes pasos:

- 1) Creación de geometría sencilla en 3d en SketchUp haciendo uso de la extensión de OpenStudio. Con vanos, puertas y ventanas.

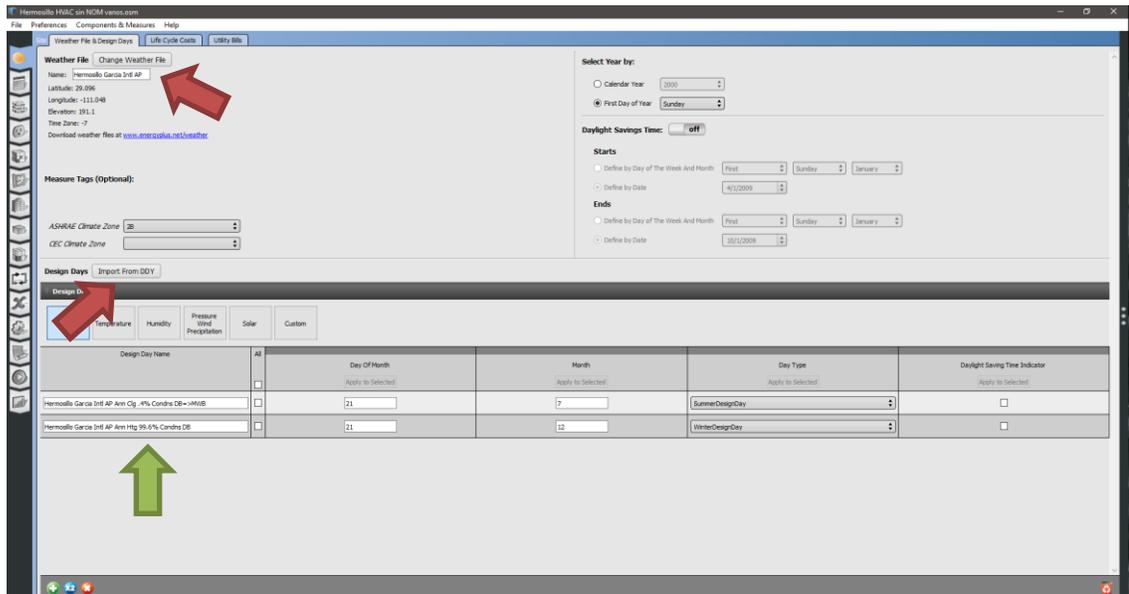


- 2) Creación y relación de tipos de espacio, zonas térmicas y materiales generales.

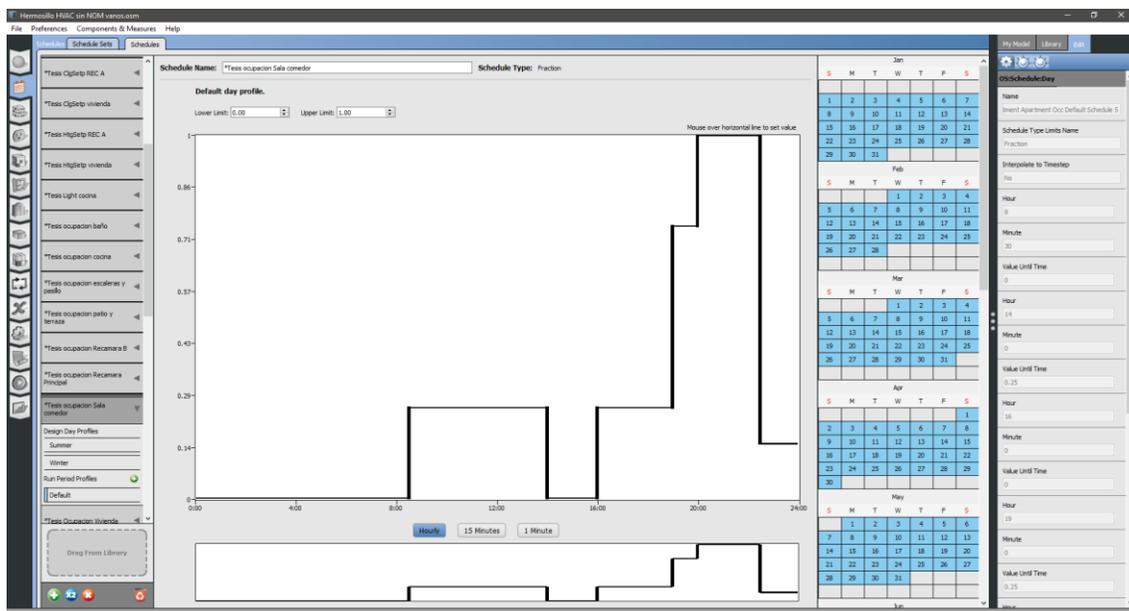


- 3) Se guarda el modelo creado en SketchUp como “.osm” y se carga ya directo en el programa de OpenStudio. En el cual se cargan los archivos de clima “.epw” y de días de

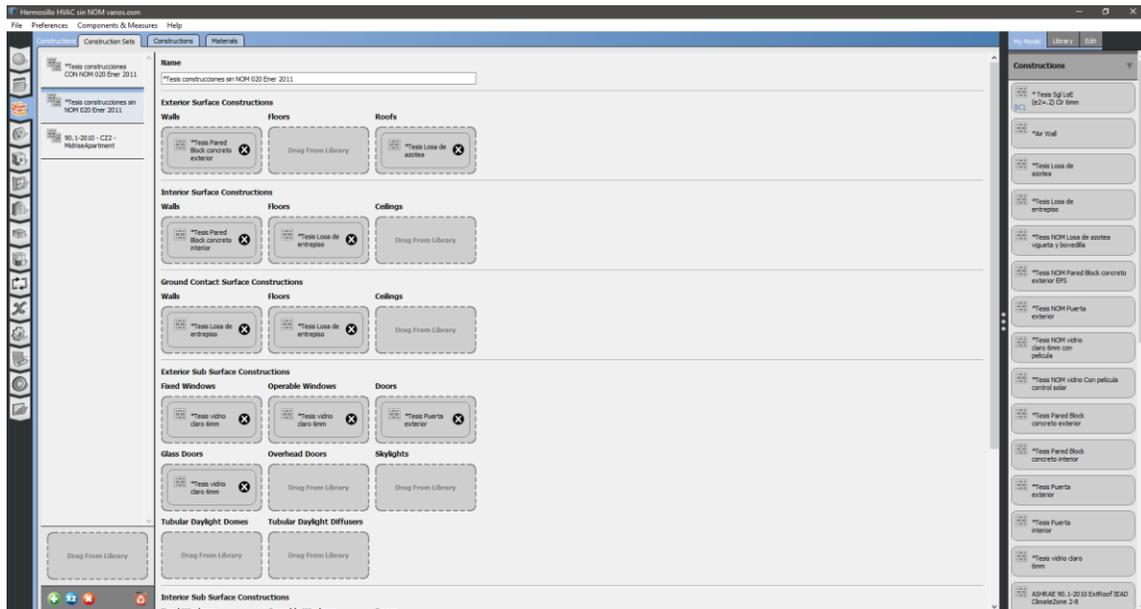
diseño “.ddy”. De los días de diseño cargados hay que quedarse solo con dos. Los más parecidos a los días de diseño elegidos en el cálculo manual.



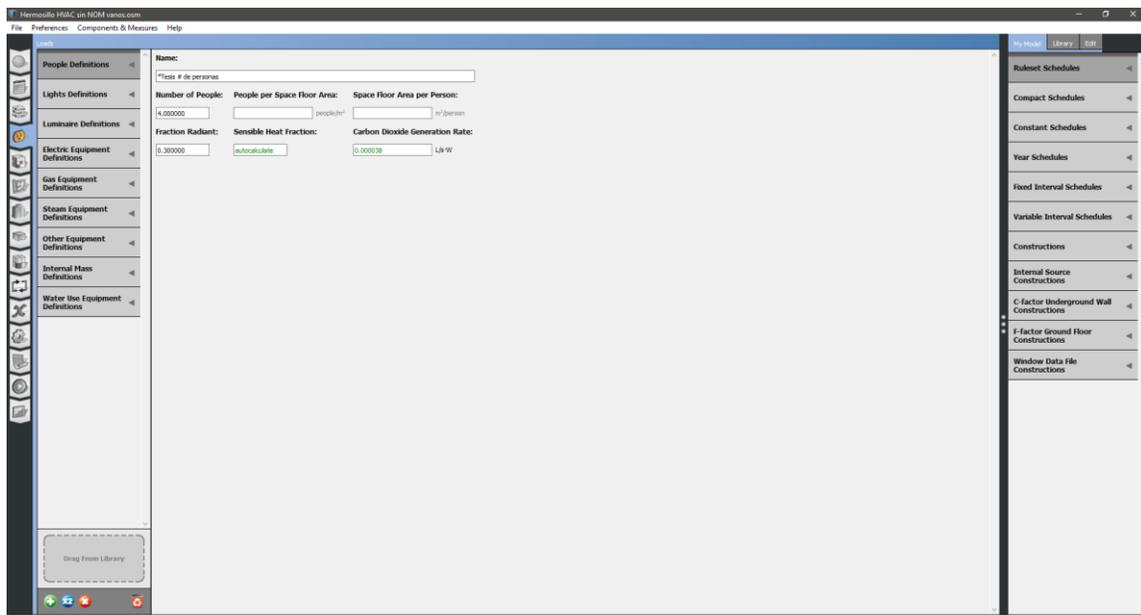
- 4) Creación de Schedule Sets y ruleset Schedules (horarios de uso y ocupación) y ubicarlos en los slots correspondientes para cada tipo de espacio de la vivienda, electrodomésticos, termostato, iluminación etc...



- 5) Creación de *construction sets*, *constructions* y *materiales* particulares, así como la asignación de los mismos en los diferentes elementos de la envolvente de la vivienda.



- 6) Creación de diferentes tipos de *Loads*: *People*, *lighting*, *electric equipment*, *gas equipment* etc... Estas cargas se generan tomando en cuenta las cantidades y tiempos de uso indicados en la ENCEVI 2018.



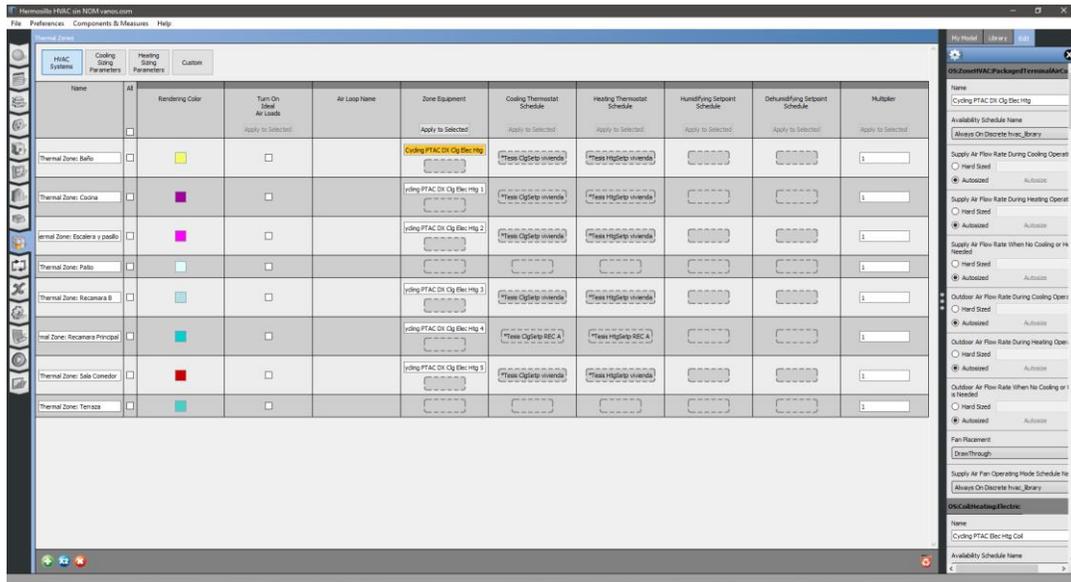
- 7) Definición de los *Space Types* en la vivienda. Aquí se definen los nombres de cada espacio, el *construction set* del cual va a estar construido, los Schedule sets para los horarios de uso y niveles de actividad metabólica, Especificaciones de aire exterior e infiltraciones, así como los diferentes tipos de *Loads* por cada espacio con sus cantidades y schedules de uso.

Space Type Name	Handling Color	Default Construction Set	Default Schedule Set	Design Specification Outdoor Air	Space Infiltration Design Flow Rates	Space Infiltration Effective Leakage Areas
90.1.20.00 - MidriseApartment - Apartment	[Blue]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	1 - MidriseApartment - Apartment Infiltration	
90.1.20.00 - MidriseApartment - Corridor	[Red]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	10 - MidriseApartment - Corridor Infiltration	
90.1.20.00 - MidriseApartment - Office	[Green]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	20 - MidriseApartment - Office Infiltration	
Habitaciones	[Light Green]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	70 - MidriseApartment - Office Infiltration 1	
Cocina 1	[Pink]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	10 - MidriseApartment - Office Infiltration 1	
Pasillo y escaleras	[Light Blue]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	0 - MidriseApartment - Corridor Infiltration 1	
Patio 1	[Light Green]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment		
Balcón	[Light Green]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	70 - MidriseApartment - Office Infiltration 1	
Sala comedor 1	[Light Green]	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	90.1.20.00 - MidriseApartment	10 - MidriseApartment - Office Infiltration 2	

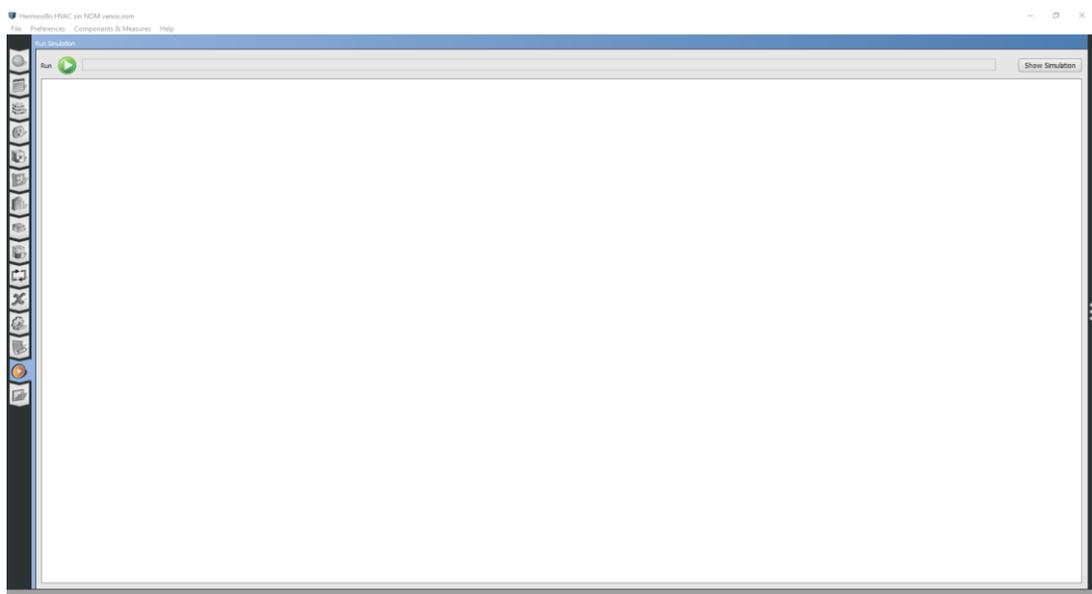
- 8) Definición de *relaciones entre Spaces y Thermal zones*, como estas últimas corresponden a cada *Space Type*. En la pestaña de *Surfaces* se puede revisar a nivel superficies los materiales aplicados a la envolvente. Lo mismo para *Subsurfaces* (vanos, ventanas y puertas).

Space Name	Story	Thermal Zone	Space Type	Default Construction Set	Default Schedule Set	Part of Total Floor Area
Baño	Building Story 2	Thermal Zone: Baño	Baño	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input checked="" type="checkbox"/>
Cocina	Building Story 1	Thermal Zone: Cocina	Cocina 1	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input checked="" type="checkbox"/>
Escalera y pasillo	Building Story 2	Thermal Zone: Escalera y pas	Pasillo y escaleras	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input checked="" type="checkbox"/>
Patio	Building Story 1	Thermal Zone: Patio	Patio 1	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input type="checkbox"/>
Recamaras 0	Building Story 2	Thermal Zone: Recamaras 0	Recamaras 0	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input checked="" type="checkbox"/>
Recamaras Principal	Building Story 2	Thermal Zone: Recamaras Prin	Recamaras	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input checked="" type="checkbox"/>
Sala Comedor	Building Story 1	Thermal Zone: Sala Comedor	Sala comedor 1	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input checked="" type="checkbox"/>
Terraza	Building Story 2	Thermal Zone: Terraza	Patio 1	*Fresa construcciones en NO	*Fresa Hermosa	<input type="checkbox"/>

- 9) Definición de equipo de HVAC en cada *Thermal zone*, así como setpoints para los termostatos de calefacción y el enfriamiento. Para los setpoints se toma en cuenta los rangos de confort de acuerdo al ASHRAE 55. Para los escenarios dentro de los casos de estudio que estén tomando en cuenta equipo de HVAC, se estará tomando en cuenta un equipo tipo PTAC con enfriamiento y calefacción. El mismo programa hará el cálculo de dimensionamiento del equipo que se requiere.



- 10) Simulación lista para correrse. En caso de haber errores la simulación no se ejecutará y se debe hacer debugging.



- 11) Para los escenarios de solo ventilación natural y ventilación híbrida se continua el proceso en stock EnergyPlus (sin la interfaz de OpenStudio) para poder hacer uso de los *example files* para simulación de ventilación natural de acuerdo al ASHRAE 55 adaptivo. Se retira todos los elementos de HVAC y se usa el example file `AirflowNetwork3zVent.idf` para la ventilación natural y la "" para ventilación híbrida.

The screenshot displays the EnergyPlus 9.1.0 software interface. On the left, the 'IDF Editor' window shows the 'Class List' and 'Comments from IDF' sections. The 'Class List' includes various HVAC and ventilation components. The 'Comments from IDF' section provides detailed information about the selected object, including its description and field requirements. A table below this section lists the fields and their values for the selected object.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Zone Name		ThermalZone-Cookin	ThermalZone-Escuela y parais	ThermalZone-Recreos B	ThermalZone-Recreos Principal	ThermalZone-Sala Comedor
Ventilation Control Mode		Temperature	Temperature	Temperature	Temperature	Temperature
Ventilation Control Zone Temperature Setpoint		WindowVentSched	WindowVentSched	WindowVentSched	WindowVentSched	WindowVentSched
Minimum Venting Open Factor	dimensionless	1	1	1	1	1
Indoor and Outdoor Temperature Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaC	0	0	0	0	0
Indoor and Outdoor Temperature Difference Upper Limit For Maximum Venting Open Factor	deltaC	100	100	100	100	100
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Lower Limit For Maximum Venting Open Factor	delta/Wh	0	0	0	0	0
Indoor and Outdoor Enthalpy Difference Upper Limit For Maximum Venting Open Factor	delta/Wh	300000	300000	300000	300000	300000
Venting Availability Schedule Name						
Single Sided Wind Pressure Coefficient Algorithm						
Facade Width	m					
Occupant Ventilation Control Name						

On the right, the 'EP-Launcher' window shows the 'Input File' field set to 'C:\Users\vaadha\OneDrive\Documents\vaadha\hemmoslo\hemmoslo nat vent on non.idf'. The 'Weather File' field is set to 'C:\Users\vaadha\OneDrive\Documents\vaadha\hemmoslo\hemmoslo weather file'. The 'View Results' section includes buttons for 'Tables', 'Errors', 'DE AD', 'ELEM P', 'BND', 'Sched Out', 'Sched CSV', 'Material', 'RDD', 'DE DLT', 'OFFIMP', 'DSG', 'Sched', 'EDD', 'Variables', 'MDD', 'MAP', 'Screen', 'SSA', 'Sched App', 'Table-VIS', 'EIO', 'MTD', 'EPDEF', 'SHD', 'ESD', 'Sched Out', 'SVG', 'TSD', 'EPDEF', 'VNAME', 'MTR', 'Sched', 'DOP', 'SIZ', 'EPDEF', 'Audi', 'Proc CSV', 'Sched E'. The 'Simulate' button is visible at the bottom right.

- 12) Simulación y recopilación de resultados.

b) ANEXO V.2 - Caso de estudio Hermosillo, Sonora.

Sizing Period Design Days

	Maximum Dry Bulb (C)	Daily Temperature Range (K)	Humidity Value	Humidity Type	Wind Speed (m/s)	Wind Direction
HERMOSILLO GARCIA INTL AP ANN CLG .4% CONDNS DB=>MWB	42.8	12.0	22.8	Wetbulb [C]	3.5	230.0
HERMOSILLO GARCIA INTL AP ANN HTG 99.6% CONDNS DB	4.8	0.0	4.8	Wetbulb [C]	0.4	30.0

Ilustración 71. Características de los días de diseño para la simulación Hermosillo en EnergyPlus.

Como podemos ver en la Ilustración 72, igualmente contamos en el archivo de datos de clima con el día más frío y el mas día cálido del año, con sus respectivas temperaturas de bulbo húmedo y bulbo seco, velocidad de viento y dirección etc... Sin embargo, no solo se hace el cálculo tomando en cuenta la información de estos dos días de diseño, si no que se toma en cuenta la información climática por hora de todo un año completo.

Otra diferencia que tenemos con respecto del cálculo manual es que para poder realizar la simulación por EnergyPlus, se debe hacer uso del estándar de confort térmico ASHRAE 55-2017, no la fórmula de Auliciems que usábamos en el cálculo manual.

Estos serían sus rangos de confort de acuerdo al estándar ASHRAE 55 para Hermosillo, Sonora:

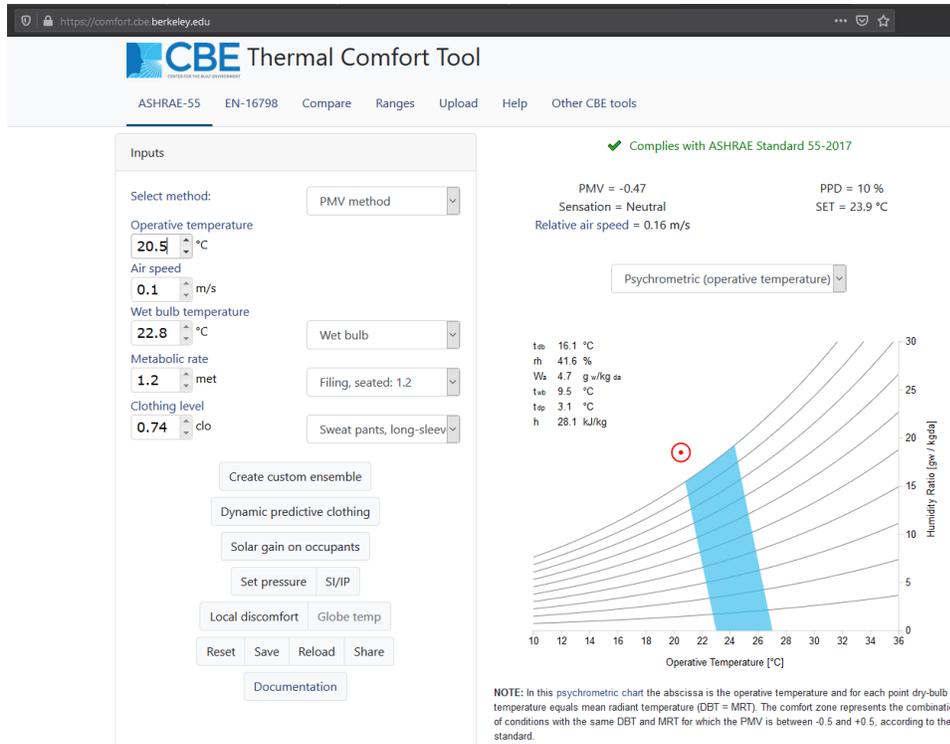


Ilustración 72. Rango de confort para el día más cálido de año en Hermosillo Sonora. Va de los 20.5 °C a los 24.5°C.

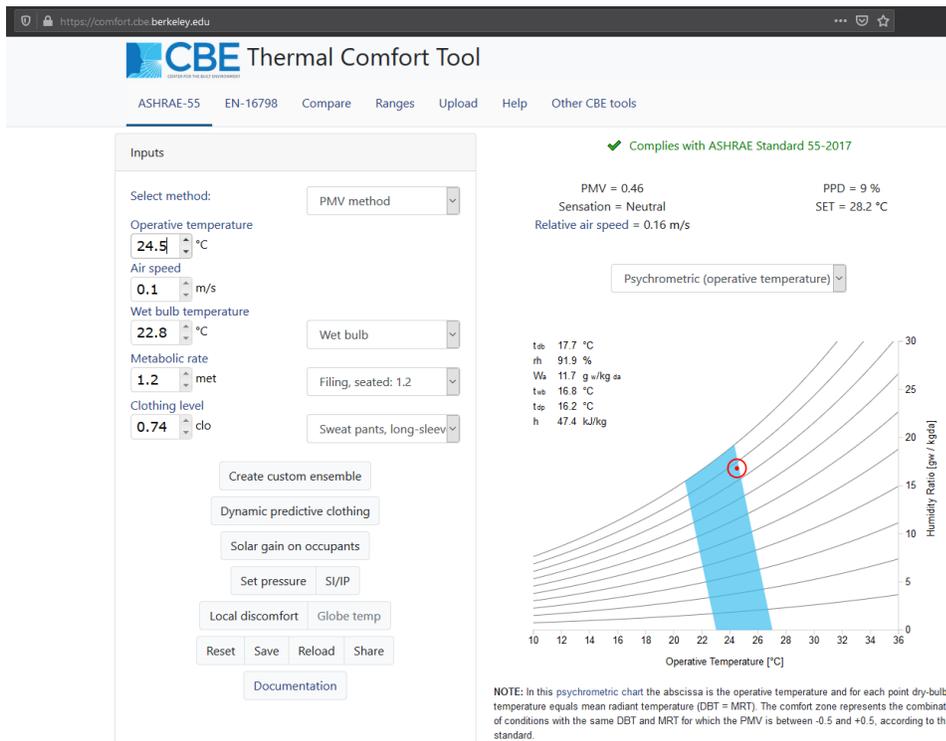


Ilustración 73. Rango de confort para el día más cálido de año en Hermosillo Sonora. Va de los 20.5 °C a los 24.5°C.

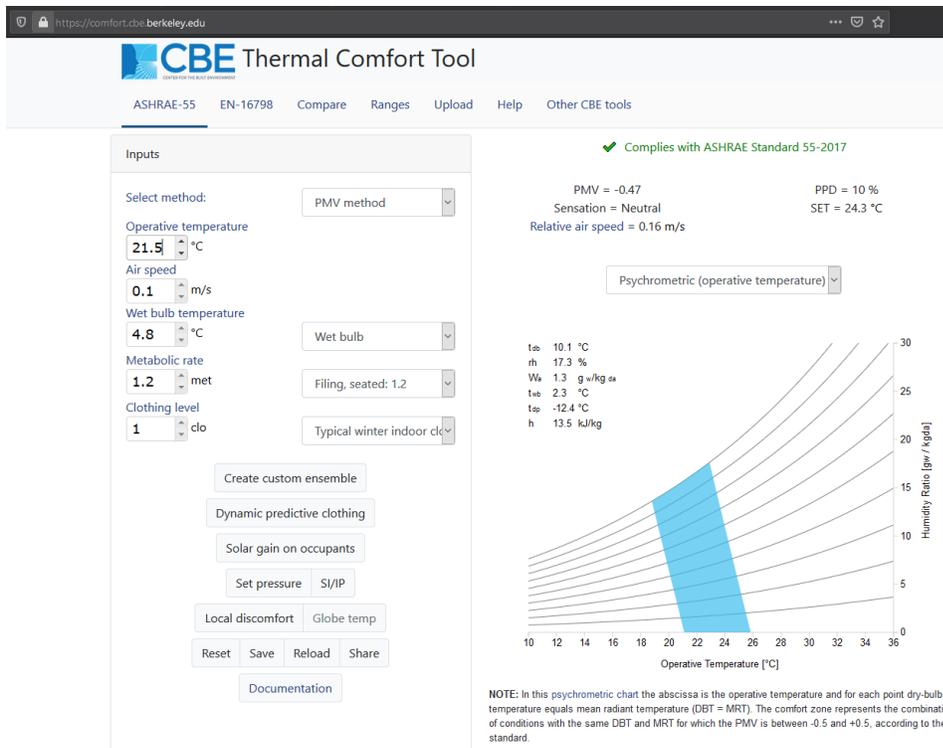


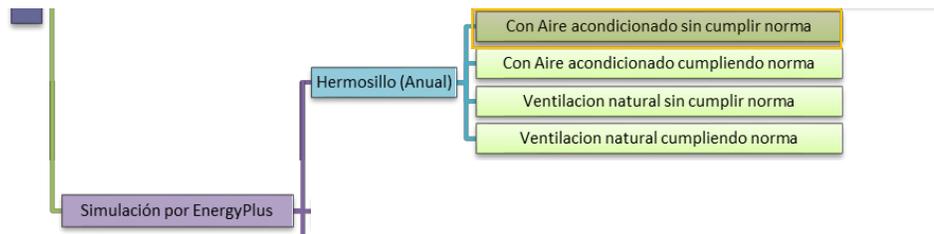
Ilustración 74. Rango de confort para el día más frío del año para Hermosillo Sonora. Va de 21.5°C a 26°C



Ilustración 75. Rango de confort para el día más frío del año para Hermosillo Sonora. Va de 21.5°C a 26°C.

Estos gráficos de rangos de confort según el estándar ASHRAE 55-2017 fueron obtenidos de la página <http://comfort.cbe.berkeley.edu>

Con Aire acondicionado sin cumplir norma



Con estos rangos de confort, el primer escenario de Hermosillo (**Con Aire acondicionado sin cumplir norma**) da los siguientes resultados de consumo energético, horas sin confort al año y el tamaño del equipo de HVAC o Aire Acondicionado:

CONSUMO					HRS SIN CONFORT					TAMAÑO HVAC						
	Total Energy [Gj]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %		Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m3/s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
Total Site Energy	105.69	29,358.36	1,796.05	1,796.05	THERMAL ZONE: BAÑO	171.83	554.33	57.33	0.65%	THERMAL ZONE: BAÑO	1,455.30	634.50	0.09	3.00	0.41	0.18
Net Site Energy	105.69	29,358.36	1,796.05	1,796.05	THERMAL ZONE: COCINA	435.17	1,637.83	154.33	1.76%	THERMAL ZONE: COCINA	2,685.44	891.23	0.16	3.00	0.76	0.25
Total Source Energy	334.72	92,977.85	5,688.09	5,688.09	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	1,073.33	2,037.00	351.00	4.01%	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	3,518.47	1,466.46	0.21	3.00	1.00	0.42
Net Source Energy	334.72	92,977.85	5,688.09	5,688.09	THERMAL ZONE: RECAMARA B	1,640.33	3,197.83	232.50	2.65%	THERMAL ZONE: RECAMARA B	2,398.07	972.71	0.14	3.00	0.68	0.28
					THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	2,000.33	3,489.50	755.33	8.62%	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	6,223.98	1,634.74	0.38	3.00	1.77	0.46
					THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	954.50	3,444.17	236.17	2.70%	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	4,002.00	1,612.59	0.24	3.00	1.14	0.46
					TOTAL					TOTAL	20,283.26	7,212.22		3.00	5.8	2.1

Site and Source Energy

	Total Energy (kWh)	Energy Per Total Building Area (kWh/m^2)	Energy Per Conditioned Building Area (kWh/m^2)
Total Site Energy	29358.3	498.9	498.9
Net Site Energy	29358.3	498.9	498.9
Total Source Energy	92977.8	1580.0	1580.0

Ilustración 76. Consumo anual de la vivienda en kWh y dimensionamiento del equipo de aire acondicionado que se requeriría al no cumplir la vivienda con la NOM 020 ENER 2011.

Si comparamos la dimensión del equipo de HVAC de este caso con su similar de la simulación manual, se puede apreciar que el dimensionamiento del equipo es parecido, siendo de 5.8 toneladas de refrigeración en EnergyPlus contra 4.8 toneladas de refrigeración.

A diferencia de la simulación manual, en la simulación de EnergyPlus podemos ver el consumo mensual y su distribución de uso de la energía eléctrica.

Electricity Consumption (kWh) - view table													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating	162.53	121.98	10.55	0.4							16.18	96.87	408.52
Cooling	431.88	593.7	974.76	1217.13	1642.2	2428.51	2605.02	2566.55	2310.6	1566.06	889.99	429.86	17656.25
Interior Lighting	181.53	163.97	181.53	175.68	181.53	175.68	181.53	181.53	175.68	181.53	175.68	181.53	2137.42
Exterior Lighting													
Interior Equipment	397.82	359.32	397.82	384.99	397.82	384.99	397.82	397.82	384.99	397.82	384.99	397.82	4683.98
Exterior Equipment													
Fans	379.85	343.09	379.85	367.59	379.85	367.59	379.85	379.85	367.59	379.85	367.59	379.85	4472.39
Pumps													
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	1553.61	1582.05	1944.51	2145.79	2601.4	3356.77	3564.22	3525.75	3238.86	2525.25	1834.43	1485.93	29358.57

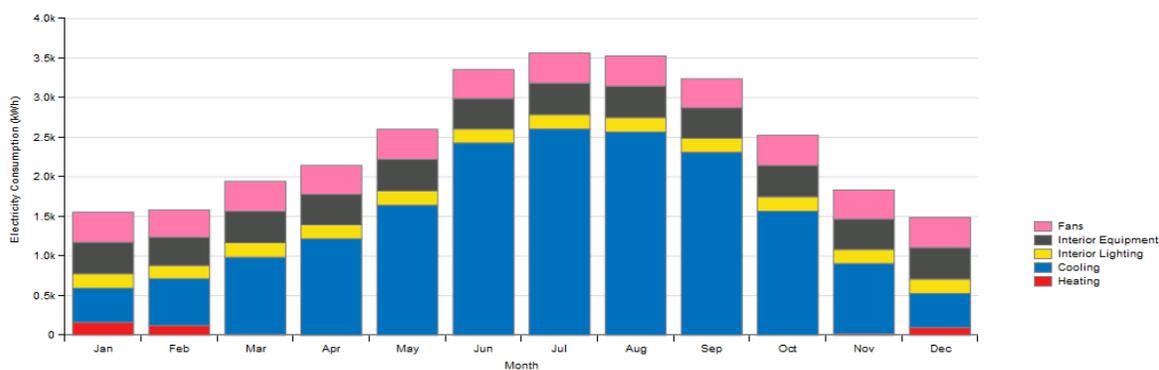


Ilustración 77. Distribución mensual del uso de la energía eléctrica de la vivienda en caso Hermosillo sin uso de NOM 020 ENER 2011

En la siguiente figura podemos ver cuál sería el consumo mensual en kWh únicamente por parte del equipo de HVAC simulado (tipo PTAC).

HVAC Load Profiles

Monthly Load Profiles - view table

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Average Outdoor Air Dry Bulb (C)	16.9	18.5	21.8	24.5	27.3	32.6	33.2	32.0	30.6	26.9	22.0	16.8
Cooling Load (KWh)	431.88	593.7	974.76	1217.13	1642.2	2428.51	2605.02	2566.55	2310.6	1566.06	889.99	429.86
Heating Load (KWh)	162.53	121.98	10.55	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.18	96.87

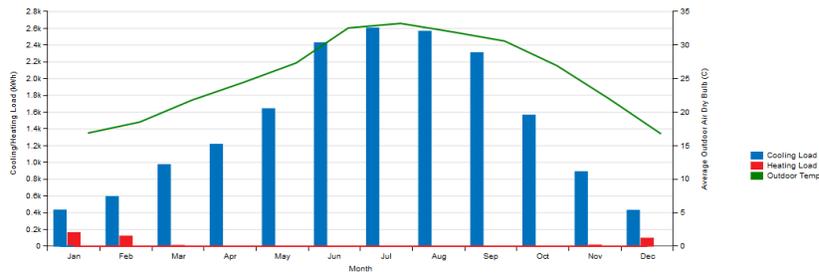
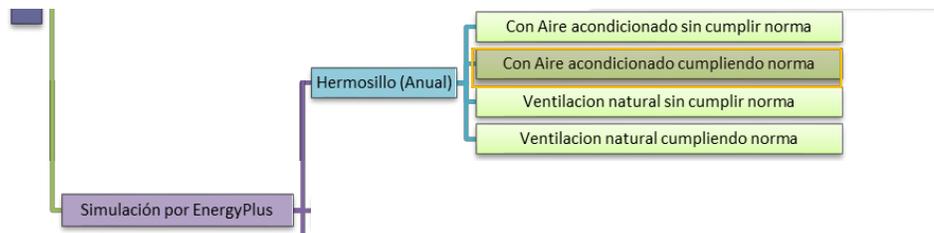


Ilustración 78. Consumo de energía eléctrica mensual por tema de equipo de HVAC.

Con Aire acondicionado cumpliendo la norma



Cuando si usamos la NOM 020 ENER 2011 y equipo de tenemos los siguientes resultados:

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	72.70	20,194.46	1,199.49	1,235.36
Net Site Energy	72.7	20,194.46	1,199.49	1,235.36
Total Source Energy	230.23	63,952.83	3,798.78	3,912.39
Net Source Energy	230.23	63,952.83	3,798.78	3,912.39

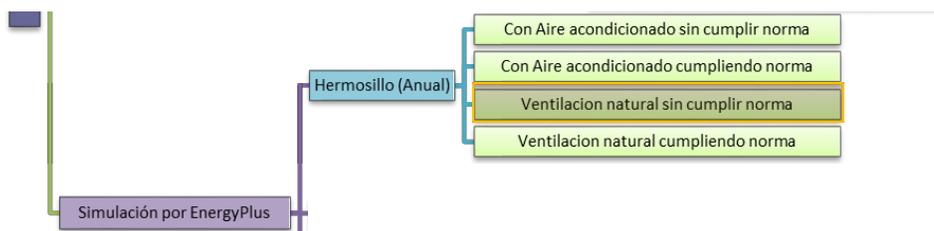
HRS SIN CONFORT				
ASHRAE 55	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	21.67	725.33	21.17	0.24%
THERMAL ZONE: COCINA	73	2155.17	72.5	0.83%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	163.5	3066.17	154.5	1.76%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	86	5082.5	5.17	0.06%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	71.83	4911.33	25.5	0.29%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	14	4918.17	14	0.16%

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
THERMAL ZONE: BAÑO	804.39	446.67	0.05	3.00	0.23	0.13
THERMAL ZONE: COCINA	2,028.14	576.91	0.12	3.00	0.58	0.16
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	1,351.43	709.60	0.07	3.00	0.38	0.20
THERMAL ZONE: RECAMARA B	1,257.58	545.17	0.07	3.00	0.36	0.16
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	1,965.35	773.62	0.12	3.00	0.56	0.22
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	2,098.58	819.86	0.13	3.00	0.60	0.23
TOTAL	9,505.47	3,871.83		3.00	2.70	1.10

Se puede observar que se redujo el consumo, el tiempo sin confort y las capacidades de los equipos cuando se cumple con la norma, este cumplimiento de la norma viene de hacer la simulación energética con los mismos materiales de la Ilustración 42. Materiales a usar para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011.

Como resultados de la simulación energética en EnergyPlus entre usar aire acondicionado sin cumplir la norma y usar aire acondicionado sin cumplir la norma tenemos que el consumo bajó de 105.7 GJ a 72.7 GJ. Los porcentajes de tiempo anual de no confort bajaron de un máximo de 8.62% a menos de un 2% del año. Las capacidades requeridas de los equipos bajaron de 5.8 ton de refrigeración a 2.70 y de 2.1 ton de calefacción a 1.1 toneladas.

Ventilación Natural sin cumplir norma



Si dejáramos la vivienda con pura ventilación natural, sin usar equipos de aire acondicionado tendríamos estos resultados de no cumplir con la NOM 020 ENER 2011:

CONSUMO			
	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	24.56	417.31	
Net Site Energy	24.56	417.31	
Total Source Energy	77.77	1,321.61	
Net Source Energy	77.77	1,321.61	

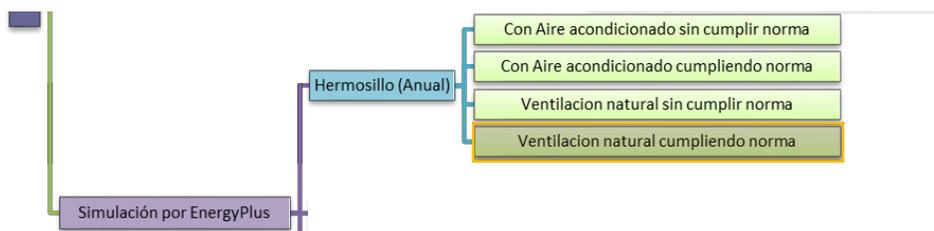
HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	728.33	729.5	728	8.31%
THERMAL ZONE: COCINA	1667.5	1796	1366.5	15.60%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2313.5	2507.17	1889.5	21.57%
THERMAL ZONE: PATIO	1453.33	1460	1453.33	16.59%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	4222.33	4368	3516.67	40.14%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4347	4441.33	3721.33	42.48%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	3961.5	3971.33	3246.5	37.06%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%

Si nada más se usara ventilación natural en la vivienda, habría un 42.5% de tiempo de no confort anual en la recamara principal y un 40% de no confort anual en la recamara B. Esto no es aceptable ya que la mitad del año no se cumplen con las condiciones de confort térmico marcadas por el ASHRAE 55-2017.

Ilustración 79. Resultados de horas de no confort para la vivienda de Hermosillo sonora que no cumple con la norma y solo tiene ventilación natural.

En cuanto a consumo energético, evidentemente este es mucho menor, siendo de 24.5 GJ ya que no se están empleando equipos de aire acondicionado en este escenario.

Ventilación Natural cumpliendo la norma



Si cumpliéramos con la NOM 020 ENER 2011 y usáramos ventilación natural únicamente, se obtendrían estos resultados de tiempo de no confort en los diferentes espacios de la vivienda:

CONSUMO			
	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	24.56	405.19	
Net Site Energy	24.56	405.19	
Total Source Energy	77.77	1,283.24	
Net Source Energy	77.77	1,283.24	

HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
THERMAL ZONE: COCINA	1642.67	1767.17	1319.83	15.07%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2199	2317.33	1630.67	18.61%
THERMAL ZONE: PATIO	1453.33	1460	1453.33	16.59%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	4095.17	4146.67	3226.67	36.83%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4047	4168.5	3201	36.54%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	3907.67	3866	3108.5	35.49%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%

Ilustración 80. Resultados de horas de no confort para la vivienda de Hermosillo sonora que cumple con la norma y solo tiene ventilación natural.

Si bien bajan las horas de no confort anuales, el tiempo que pasan las recamaras y la sala en condiciones de no confort sigue siendo elevado. Esto indicaría que para cumplir con el ASHRAE 55-2017 se deben hacer uso de otras medidas diferentes a la ventilación natural programada.

c) ANEXO V.3 - Caso de estudio Mérida, Yucatán

En la Ilustración 81 podemos ver los días de diseño empleados en la simulación de Mérida y vemos los rangos de confort de acuerdo al ASHRAE 55.

Tenemos los siguientes rangos de confort para estos días de diseño.

Sizing Period Design Days						
	Maximum Dry Bulb (C)	Daily Temperature Range (K)	Humidity Value	Humidity Type	Wind Speed (m/s)	Wind Direction
MERIDA REJON INTL AP ANN HTG 99.6% CONDNS DB	13.8	0.0	13.8	Wetbulb [C]	1.1	110.0
MERIDA REJON INTL AP MAY 2% CONDNS DB=>MCWB	38.9	13.0	24.1	Wetbulb [C]	4.3	140.0

Ilustración 81. Días de diseño para Mérida Yucatán. Son parte de la información climática, pero se utilizan todas las horas del año para la simulación.

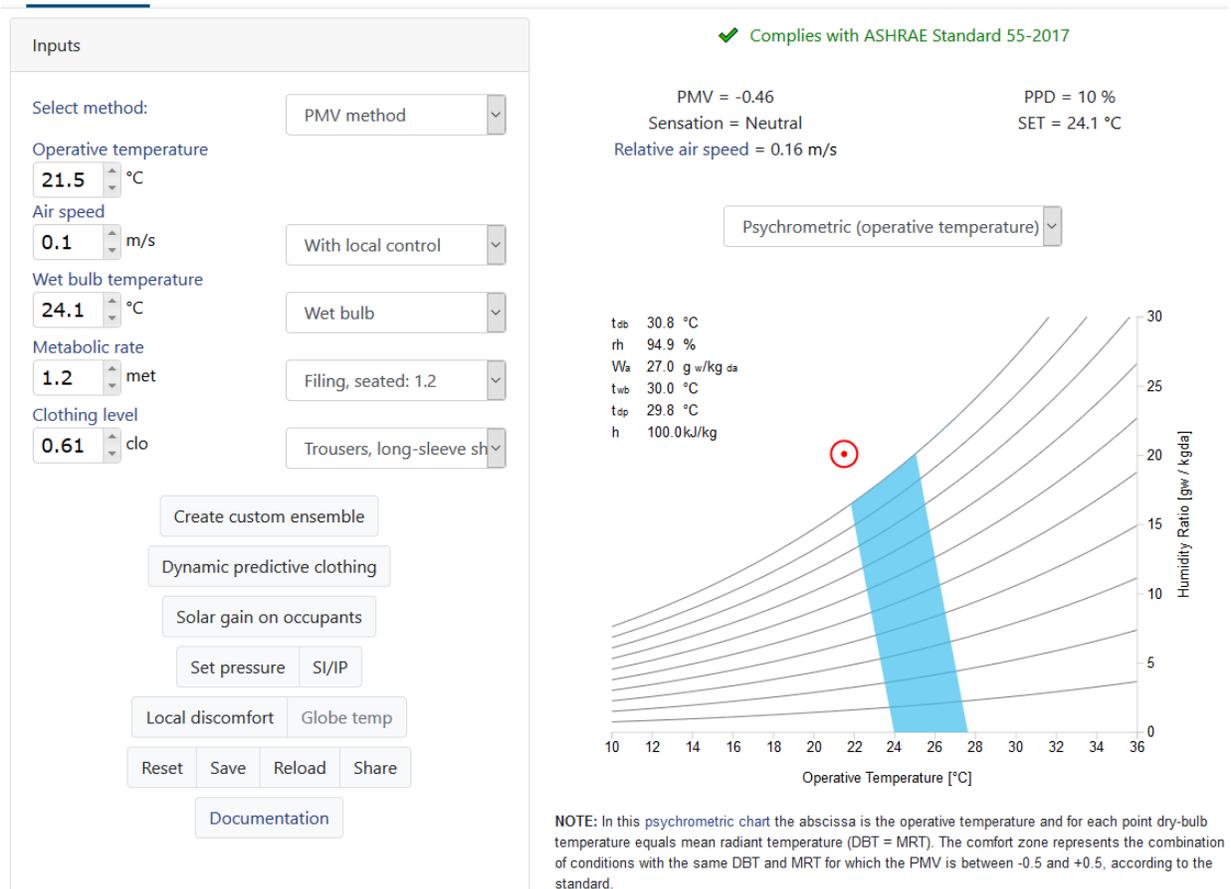


Ilustración 82. Rango de confort para día cálido en Mérida. Rango de 21.5°C a 25°C

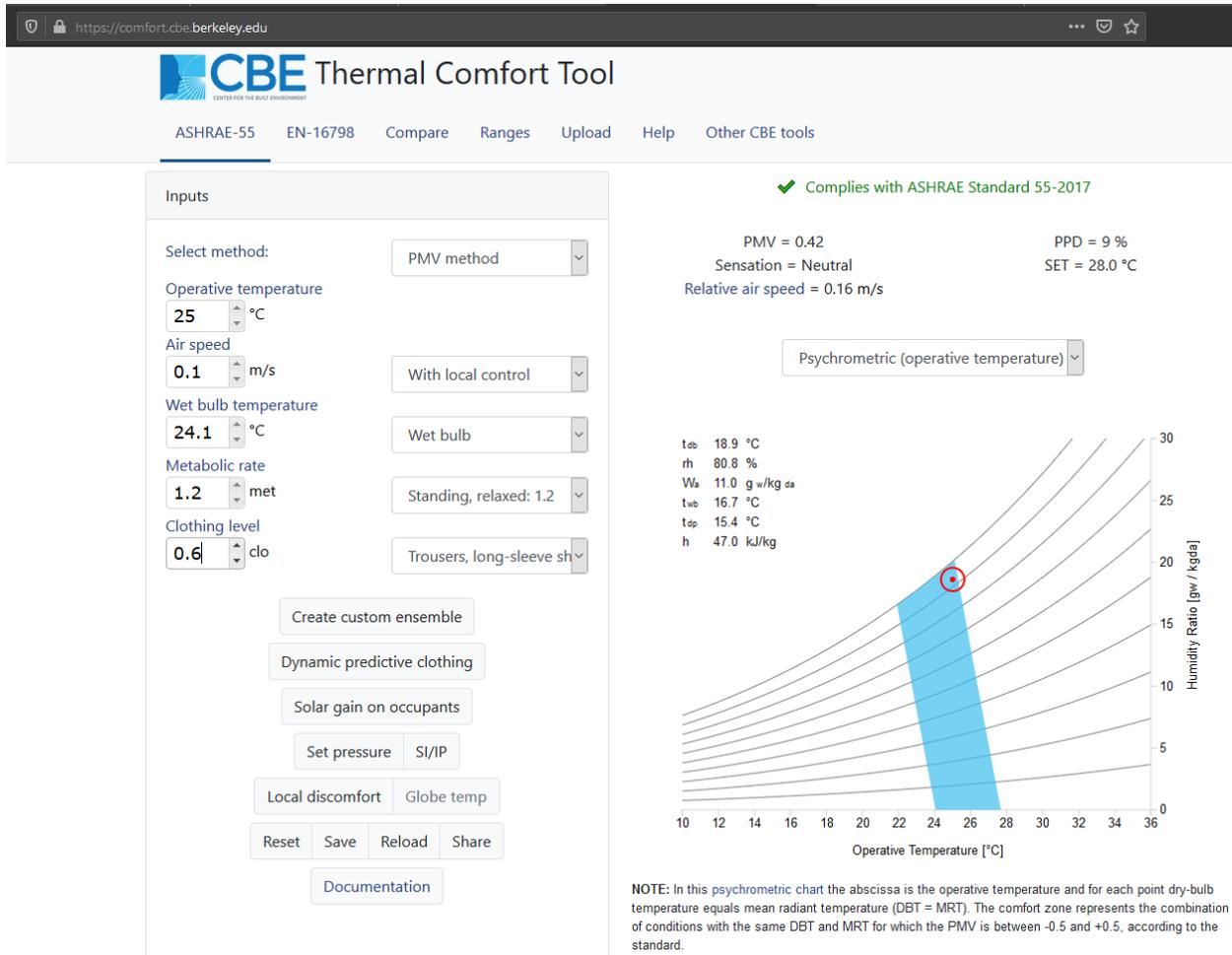


Ilustración 83. Rango de confort para día cálido en Mérida. Rango de 21.5°C a 25°C

Con aire acondicionado sin cumplir norma



En este, el primero de los escenarios de Mérida, se obtuvieron los siguientes resultados:

CONSUMO					HRS SIN CONFORT				TAMAÑO HVAC							
									Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON		
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %	THERMAL ZONE: BAÑO						
Total Site Energy	107.17	29,769.47	1,821.13	1,821.13	THERMAL ZONE: BAÑO	165.33	582.67	91.33	1.04%	THERMAL ZONE: BAÑO	1,193.47	339.64	0.07	3.00	0.34	0.10
Net Site Energy	107.17	29,769.47	1,821.13	1,821.13	THERMAL ZONE: COCINA	89.67	1,893.17	33.17	0.38%	THERMAL ZONE: COCINA	2,223.48	380.29	0.13	3.00	0.63	0.11
Total Source Energy	339.40	94,277.85	5,767.53	5,767.53	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	893.17	2,347.00	486.33	5.55%	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2,748.53	635.43	0.21	3.00	0.78	0.18
Net Source Energy	339.40	94,277.85	5,767.53	5,767.53	THERMAL ZONE: RECAMARA B	1,103.17	3,735.67	24.33	0.28%	THERMAL ZONE: RECAMARA B	1,982.79	443.00	0.14	3.00	0.56	0.13
					THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	1,075.17	3,789.17	55.50	0.63%	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	5,217.91	622.60	0.32		1.48	0.18
					THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	412.50	3,872.50	131.17	1.50%	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	3,192.21	620.71	0.19	3.00	0.91	0.18
					TOTAL					TOTAL	16,558.39	3,041.66		3.00	4.71	0.86

Ilustración 84. Consumo energético anual, tamaño de equipo de HVAC y horas de no confort para el caso de con equipo de aire acondicionado y sin cumplir la norma de Mérida.

El consumo del caso de Mérida está en 107.17 GJ ó 29,769.47 kWh, el cual es cerca de 2 GJ más alto que el caso de Hermosillo sin NOM. En este caso donde no se toma en cuenta la NOM 020 ENER 2011 alcanzamos un máximo porcentaje de tiempo de no confort de 5.55% en la escalera y pasillo, con un equipo de 4.71 toneladas de refrigeración y 0.86 de calefacción.

Electricity Consumption (kWh) - view table

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating	0.19	0.02	0.33									4.83	5.37
Cooling	1120.38	1195.34	1515.2	1753.3	2165.51	1771.73	1972.38	1835.75	1674.86	1709.16	1312.41	1264.78	19290.78
Interior Lighting	181.53	163.97	181.53	175.68	181.53	175.68	181.53	181.53	175.68	181.53	175.68	181.53	2137.42
Exterior Lighting													
Interior Equipment	397.82	359.32	397.82	384.99	397.82	384.99	397.82	397.82	384.99	397.82	384.99	397.82	4683.98
Exterior Equipment													
Fans	310.09	280.08	310.09	300.09	310.09	300.09	310.09	310.09	300.09	310.09	300.09	310.09	3651.08
Pumps													
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	2010.01	1998.72	2404.97	2614.05	3054.95	2632.48	2861.82	2725.2	2535.61	2598.6	2173.16	2159.06	29768.63

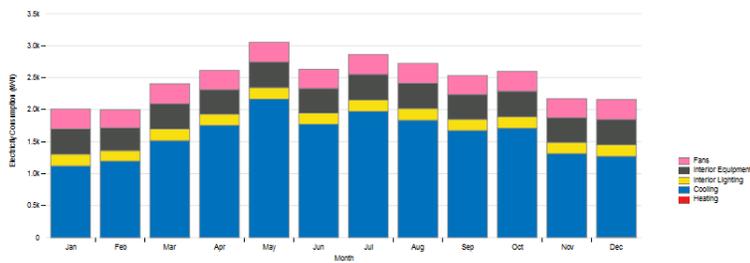
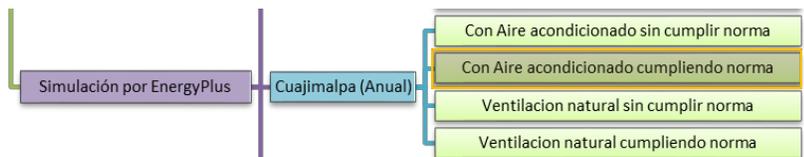


Ilustración 85. Consumo eléctrico mensual por uso final del caso HVAC sin cumplir norma Mérida.

Con aire acondicionado cumpliendo norma



En el escenario donde se usa aire acondicionado y sí se pasa la NOM 020 ENER 2011 tenemos estos resultados:

CONSUMO				
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	79.63	22,119.46	1,313.95	1,353.24
Net Site Energy	79.63	22,119.46	1,313.95	1,353.24
Total Source Energy	252.20	70,055.61	4,161.27	4,285.72
Net Source Energy	252.20	70,055.61	4,161.27	4,285.72

HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	79.17	727.50	79.17	0.90%
THERMAL ZONE: COCINA	57.33	2,136.00	37.50	0.43%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	253.50	3,035.17	219.67	2.51%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	134.17	5,039.67	11.50	0.13%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	68.83	5,169.67	18.67	0.21%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	134.50	4,776.50	90.33	1.03%

TAMAÑO HVAC						
	Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m3/s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
THERMAL ZONE: BAÑO	756.20	339.64	0.04	3.00	0.22	0.10
THERMAL ZONE: COCINA	1,530.39	380.29	0.09	3.00	0.44	0.11
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	1,028.16	371.61	0.04	3.00	0.29	0.11
THERMAL ZONE: RECAMARA B	1,066.07	366.30	0.05	3.00	0.30	0.10
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	1,574.12	415.10	0.08	3.00	0.45	0.12
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	1,617.87	523.04	0.08	3.00	0.46	0.15
TOTAL	7,572.81	2,395.98		3.00	2.2	0.7

Ilustración 86. Consumo energético anual, tamaño de equipo de HVAC y horas de no confort para el caso de con equipo de aire acondicionado y cumpliendo la norma en Mérida.

Al usar la NOM 020 ENER 2011 se reduce el consumo de 107.17 GJ a 79.63 GJ (disminución de 27.54 GJ) y al igual que en el caso de Hermosillo se redujeron los porcentajes de tiempo de no confort. Quedando el porcentaje más alto de 2.51% en la escalera y pasillo. En cuanto a la capacidad del equipo de HVAC, se requieren 2.2 toneladas de refrigeración y 0.7 de calefacción.

Monthly Overview

Electricity Consumption (kWh) - view table

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Heating	0.1	0.02	0.04									0.09	0.25
Cooling	876.77	854.57	1028.13	1143.34	1462.32	1302.83	1409.74	1355.19	1282.77	1277.43	993.21	953.21	13939.49
Interior Lighting	181.53	163.97	181.53	175.68	181.53	175.68	181.53	181.53	175.68	181.53	175.68	181.53	2137.42
Exterior Lighting													
Interior Equipment	397.82	359.32	397.82	384.99	397.82	384.99	397.82	397.82	384.99	397.82	384.99	397.82	4883.98
Exterior Equipment													
Fans	115.44	104.27	115.44	111.72	115.44	111.72	115.44	115.44	111.72	115.44	111.72	115.44	1359.22
Pumps													
Heat Rejection													
Humidification													
Heat Recovery													
Water Systems													
Refrigeration													
Generators													
Total	1571.67	1482.14	1722.96	1815.72	2157.11	1975.21	2104.54	2049.98	1955.15	1972.22	1665.59	1648.09	22120.36

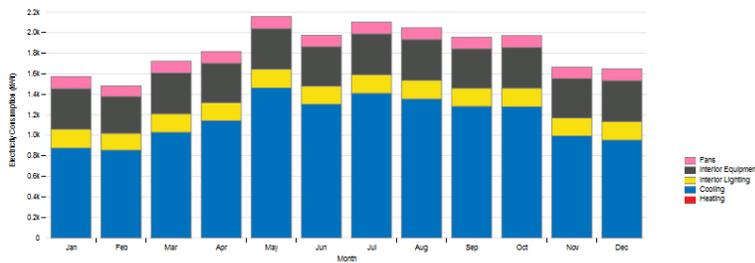
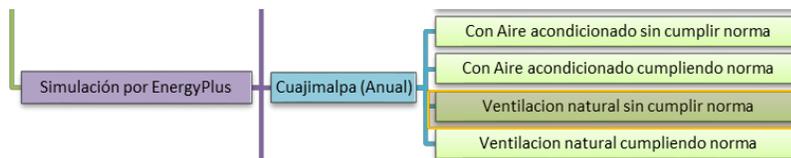


Ilustración 87. Consumo eléctrico mensual y sus usos finales para el caso de Mérida con HVAC y que si cumple con NOM 020 ENER 2011.

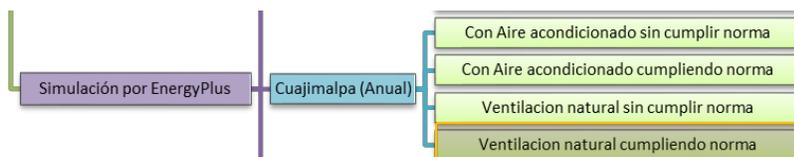
Ventilación natural sin cumplir norma



Si dejáramos la vivida con pura ventilación natural sin cumplir con la NOM, obtendríamos resultados de consumo iguales a los de Hermosillo, pero los tiempos de no confort si incrementan.

Podemos ver que únicamente la ventilación natural no nos genera condiciones de confort más allá del 45% del año de acuerdo al estándar ASHRAE 55, aunque el cálculo manual indicara lo contrario. Esto se debe a las altas condiciones de humedad relativa. Es posible deshumidificar el aire de manera pasiva (en su defecto, activa) para alcanzar mejores porcentajes de tiempo de confort.

Ventilación natural cumpliendo norma



En el caso de cumplir con la NOM 020 ENER 2011, hay una mejoría marginal en los tiempos de no confort. Lo cual confirma que en los escenarios de ventilación natural requieren no solo de una ventilación natural, sino de una des humidificación activa o pasiva del aire que ingresa a la vivienda en el caso de Mérida. Los resultados de este escenario de ventilación natural con cumplimiento de la norma se presentan a continuación:

Si bien en los casos de solo ventilación natural el uso de la NOM no parece ser tan relevantes como la des humidificación ésta si cobra relevancia cuando se hace uso de soluciones activas o mecánicas de acondicionamiento del espacio interior.

HRS SIN CONFORT		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
NAT VENT SIN NOM	THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
	THERMAL ZONE: COCINA	2044.67	2121.33	1991.17	22.73%
	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2846.67	3042	2800.67	31.97%
	THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
	THERMAL ZONE: RECAMARA B	4961.67	5132	4824.17	55.07%
	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4955.17	5120.83	4818	55.00%
	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	4712.33	4699.33	4515	51.54%
	THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
	Facility	8000.67	8218.5	7809.5	89.15%

HRS SIN CONFORT		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
NAT VENT CON NOM	THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
	THERMAL ZONE: COCINA	2049.83	2106	1983	22.64%
	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2864.83	2967	2759.83	31.50%
	THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
	THERMAL ZONE: RECAMARA B	5026.17	4993.5	4771.5	54.47%
	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4905.67	5056.17	4729.33	53.99%
	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	4763.17	4626.17	4506.33	51.44%
	THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
	Facility	8087	8121	7787.67	88.90%

Ilustración 88. Comparación de horas que las áreas de la vivienda se encuentran fuera del rango de confort usando solo ventilación natural.

d) ANEXO V.4 - Caso de Estudio Cuajimalpa CDMX.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** podemos ver los días de diseño empleados en la simulación de Mérida, y de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a la vemos los rangos de confort de acuerdo al ASHRAE 55.

Sizing Period Design Days							
	Maximum Dry Bulb (C)	Daily Temperature Range (K)	Humidity Value	Humidity Type	Wind Speed (m/s)	Wind Direction	
CUIDAD MEXICO CENTRAL ANN CLG .4% CONDNS DP=>MDB	28.7	10.3	17.3	Dewpoint [C]	3.35	0.0	
CUIDAD MEXICO CENTRAL ANN HTG 99.6% CONDNS DB 1	0.7	0.0	0.7	Wetbulb [C]	6.71	0.0	

Ilustración 89. Días de diseño empleados en la simulación del caso Cuajimalpa CDMX.

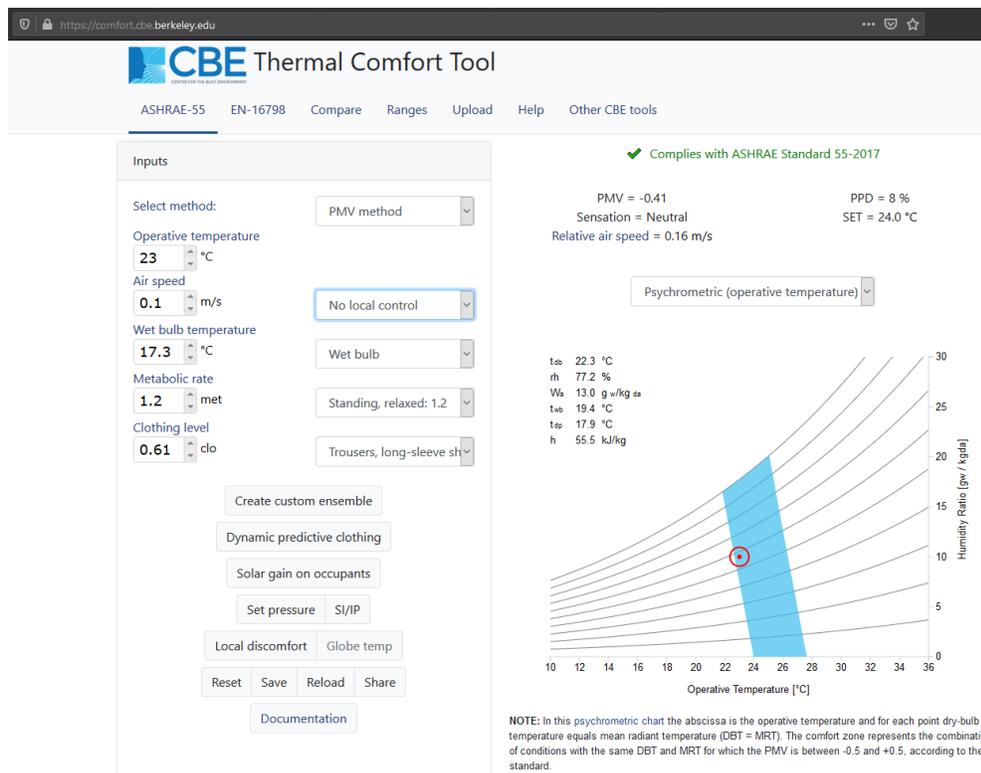


Ilustración 90. Rango de confort para día más cálido del año en el caso Cuajimalpa. Rango de 23°C a 26.5°C

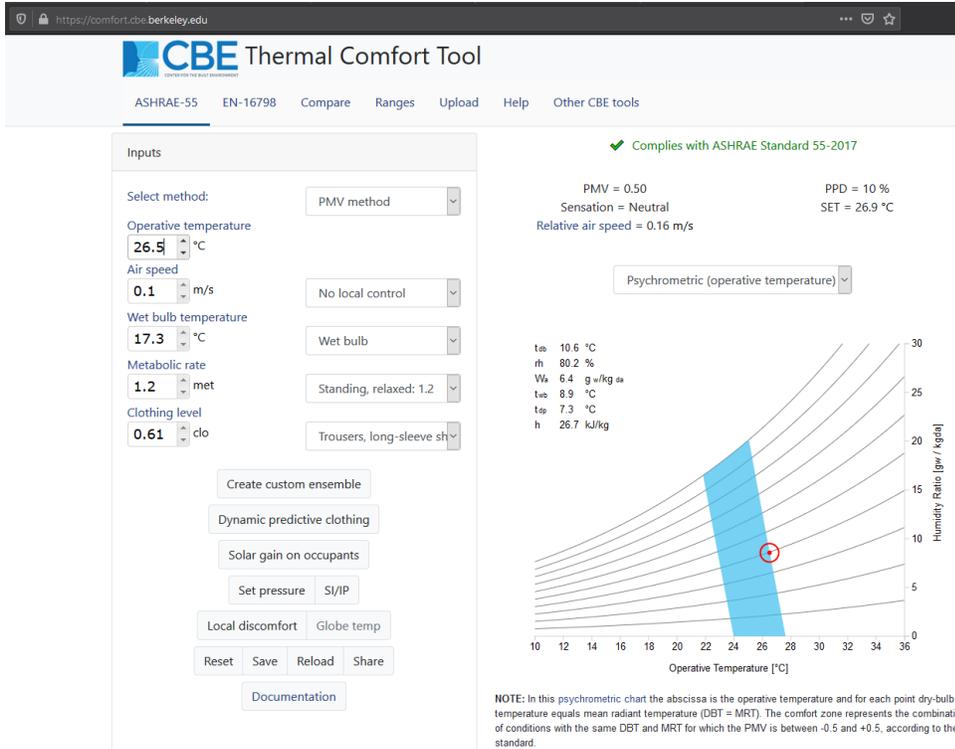


Ilustración 91. Rango de confort para día más cálido del año en el caso Cuajimalpa. Rango de 23°C a 26.5°C

En el primero de los escenarios, el de HVAC sin cumplir la NOM 020 ENER 2011, tenemos los siguientes resultados en la simulación en EnergyPlus:

CONSUMO					HRS SIN CONFORT					TAMAÑO HVAC						
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %		Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m3/s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
Total Site Energy	57.60	16,000.01	978.86	978.86	THERMAL ZONE: BAÑO	105.00	692.67	102.50	1.17%	THERMAL ZONE: BAÑO	1,110.93	729.75	0.07	3.00	0.32	0.21
Net Site Energy	57.60	16,000.01	978.86	978.86	THERMAL ZONE: COCINA	194.50	2,187.17	194.50	2.22%	THERMAL ZONE: COCINA	1,889.30	1,135.74	0.11	3.00	0.54	0.32
Total Source Energy	182.43	50,675.04	3,100.05	3,100.05	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	929.83	2,937.83	855.83	9.77%	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	2,938.35	1,822.35	0.18	3.00	0.84	0.52
Net Source Energy	182.43	50,675.04	3,100.05	3,100.05	THERMAL ZONE: RECAMARA B	780.33	4,542.33	533.00	6.08%	THERMAL ZONE: RECAMARA B	2,369.83	1,178.71	0.14	3.00	0.67	0.34
					THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	1,419.00	4,363.00	867.67	9.90%	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	4,234.25	2,290.48	0.26	3.00	1.20	0.65
					THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	648.17	4,900.83	648.17	7.40%	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	2,520.77	2,055.42	0.15	3.00	0.72	0.58
					TOTAL					TOTAL	15,063.43	9,212.43		3.00	4.3	2.6

Ilustración 92. Resultados de consumo, horas sin confort térmico y tamaño del equipo de HVAC requerido para la vivienda que no cumple la norma en Cuajimalpa.

El consumo del caso de Cuajimalpa está en 57.60 GJ ó 16,000 kWh, el cual es de 49.57 GJ más bajo que el caso de Mérida sin NOM y 48.09GJ más bajo que el caso de Hermosillo sin NOM. Aquí se puede ver que en las zonas templadas del país es relativamente más sencillo cumplir con la norma ya que hay un menor consumo eléctrico debido a la menor demanda de uso de aire acondicionado que general el clima de la región.

Aun si el tamaño del equipo de refrigeración que usa en este caso no es mucho menor que en los otros dos casos, si tenemos un consumo mucho menor. Esto se debe al tipo de clima que se presenta en la CDMX, el tiempo requerido de uso de los equipos de aire acondicionado es menor. Una particularidad de este caso de estudio es que presenta un requerimiento de tamaño de equipo de calefacción mayor que el del caso de estudio de Hermosillo, una ciudad con clima con una oscilación térmica importante.

En el escenario de tener HVAC y cumpliendo con la NOM, tenemos los siguientes resultados:

CONSUMO					HRS SIN CONFORT					TAMAÑO HVAC						
	Total Energy [GJ]	Total energy kWh	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]		Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %		Cooling capacity (W)	Heating Capacity (W)	Air flow rate (m ³ /s)	Cop Rating	EQ. SIZE CLG TON	EQ. SIZE HTG TON
Total Site Energy	44.97	12,491.68	741.94	764.13	THERMAL ZONE: BAÑO	32.83	730.00	32.83	0.37%	THERMAL ZONE: BAÑO	956.83	387.60	0.06	3.00	0.27	0.11
Net Site Energy	44.97	12,491.68	741.94	764.13	THERMAL ZONE: COCINA	45.33	2,190.00	45.33	0.52%	THERMAL ZONE: COCINA	2,010.08	717.53	0.12	3.00	0.57	0.20
Total Source Energy	142.41	39,558.36	2,349.71	2,419.98	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	442.00	3,101.17	442.00	5.05%	THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	743.34	664.19	0.04	3.00	0.21	0.19
Net Source Energy	142.41	39,558.36	2,349.71	2,419.98	THERMAL ZONE: RECAMARA B	9.67	5,206.17	9.33	0.11%	THERMAL ZONE: RECAMARA B	973.12	507.63	0.06	3.00	0.28	0.14
					THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	56.17	5,292.50	56.17	0.64%	THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	1,327.67	857.38	0.08	3.00	0.38	0.24
					THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	26	4927.5	26	0.30%	THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	2,058.17	936.28	0.12	3.00	0.59	0.27
										TOTAL	8,069.21	4,070.60		3.00	2.3	1.2

Ilustración 93. Resultados de consumo, horas sin confort térmico y tamaño del equipo de HVAC requerido para la vivienda que SI cumple la norma en Cuajimalpa.

Al igual que en los otros dos casos anteriores vemos una reducción importante del tamaño de los equipos requeridos de acuerdo a la simulación y los rangos de confort del ASHRAE 55.

Pasamos a 2.3 Ton de refrigeración y 1.2 Ton de calefacción.

En general en Cuajimalpa difícilmente se usan equipos de calefacción aun cuando la simulación y el estándar indican que si sería útil usarlos para alcanzar los rangos de confort estudiados.

Esto podría deberse a que las personas usan niveles de arropamiento superiores a las especificadas en el ASHRAE 55, el cual llega hasta un nivel 1 de arropamiento y a una aclimatación de la población.

Teniendo únicamente una ventilación natural, pero sin cumplir con la NOM, tenemos los siguientes resultados:

CONSUMO			
	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m ²]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m ²]
Total Site Energy	24.56	417.31	
Net Site Energy	24.56	417.31	
Total Source Energy	77.77	1,321.61	
Net Source Energy	77.77	1,321.61	

HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
THERMAL ZONE: COCINA	1011	1810.5	757.67	8.65%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	1875.33	2614.33	1528.67	17.45%
THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	3438.67	4142	2518.33	28.75%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	3688.67	4071.83	2748.17	31.37%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	2540.33	3532.5	1533.83	17.51%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
Facility	6007.67	7625.67	5079.83	57.99%

Ilustración 94. Resultados de horas de confort en vivienda de Cuajimalpa que no cumple con la norma.

Como podemos ver en las horas y porcentajes de no confort de acuerdo al ASHRAE 55, las recamaras son las que sufren mayores tiempos de no confort especialmente cuando el usuario tiene ropa de verano, el tiempo de no confort disminuye al usar ropa de invierno (CLO cercano a 1). Cumpliendo la NOM y teniendo únicamente ventilación natural, tenemos los siguientes resultados:

CONSUMO			
	Total Energy [GJ]	Energy Per Total Building Area [MJ/m2]	Energy Per Conditioned Building Area [MJ/m2]
Total Site Energy	24.56	405.19	
Net Site Energy	24.56	405.19	
Total Source Energy	77.77	1,283.24	
Net Source Energy	77.77	1,283.24	

HRS SIN CONFORT				
	Winter Clothes [hr]	Summer Clothes [hr]	Summer or Winter Clothes [hr]	No comfort yearly %
THERMAL ZONE: BAÑO	730	730	730	8.33%
THERMAL ZONE: COCINA	886	1773.67	609.5	6.96%
THERMAL ZONE: ESCALERA Y PASILLO	1522.5	2196.5	851.67	9.72%
THERMAL ZONE: PATIO	1460	1460	1460	16.67%
THERMAL ZONE: RECAMARA B	2923.5	3321.5	1449.17	16.54%
THERMAL ZONE: RECAMARA PRINCIPAL	2718.33	3573	1514.17	17.29%
THERMAL ZONE: SALA COMEDOR	2268.83	3033.17	964.83	11.01%
THERMAL ZONE: TERRAZA	1460	1460	1460	16.67%
Facility	5455.67	6959.67	3854.17	44.00%

Ilustración 95. Resultados de horas de no confort en vivienda que si cumple con norma en Cuajimalpa.

Haciendo uso de la NOM los tiempos sin confort se reducen a menos de 18 % en el más incómodo de los casos. Se observa una reducción general de los tiempos sin confort de casi el

50%.



vi) ANEXO VI: Calibración de modelo de acuerdo a datos del ENCEVI 2018.

Número de focos: de 10 a 11 focos.

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI. Tabulados básicos. 2018.

Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica y su distribución porcentual, por número de focos, según tamaño de localidad
Enero - Junio 2018

Cuadro 2.2

Número de focos	Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica		Tamaño de localidad			
			15 000 y más habitantes		Menos de 15 000 habitantes	
	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Estados Unidos Mexicanos	32 875 974	100.0	25 943 843	100.0	6 932 131	100.0
De 0 a 3 focos	4 897 606	14.9	2 975 161	11.5	1 922 445	27.7
De 4 a 5 focos	8 616 313	26.2	6 366 676	24.5	2 249 637	32.5
De 6 a 7 focos	8 876 687	27.0	7 189 253	27.7	1 687 434	24.3
De 8 a 9 focos	5 052 362	15.4	4 387 737	16.9	664 625	9.6
De 10 a 11 focos	2 488 531	7.6	2 229 826	8.6	258 705	3.7
12 y más focos	2 944 475	9.0	2 795 190	10.8	149 285	2.2

Nota1: Las estimaciones que aparecen en este cuadro están coloreadas de acuerdo con su nivel de precisión, en Alto, Moderado y Bajo, tomando como referencia el coeficiente de variación CV (%). Una precisión Baja requiere un uso cauteloso de la estimación en el que se analicen las causas de la alta variabilidad y se consideren otros indicadores de precisión y confiabilidad, como el intervalo de confianza.

Nivel de precisión de las estimaciones:

Alto, CV en el rango de (0,15)

Moderado, CV en el rango de [15,30]

Bajo, CV de 30% en adelante

Fuente: Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018.

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018. SNIEG

Tipo de foco: Compacta fluorescente (CFL)

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI. Tabulados básicos. 2018.

Número de focos en viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica con al menos uno y su distribución porcentual, por tipo de focos, según regiones climáticas
Enero - Junio 2018

Cuadro 2.10

Tipo de focos	Focos en viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica con al menos uno ¹		Regiones climáticas					
			Región cálida extrema ²		Región templada ³		Región tropical ⁴	
	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Estados Unidos Mexicanos	226 446 689	100.0	57 596 523	100.0	127 075 572	100.0	41 774 594	100.0
Ahorrradores fluorescentes	162 172 929	71.6	41 179 149	71.5	89 300 282	70.3	31 693 498	75.9
Ahorrradores LED	27 033 836	11.9	6 874 321	11.9	16 762 349	13.2	3 397 166	8.1
Incandescentes	37 232 085	16.4	9 543 053	16.6	21 010 295	16.5	6 678 737	16.0

Nota1: Las estimaciones que aparecen en este cuadro están coloreadas de acuerdo con su nivel de precisión, en Alto, Moderado y Bajo, tomando como referencia el coeficiente de variación CV (%). Una precisión Baja requiere un uso cauteloso de la estimación en el que se analicen las causas de la alta variabilidad y se consideren otros indicadores de precisión y confiabilidad, como el intervalo de confianza.

Nivel de precisión de las estimaciones:

Alto, CV en el rango de (0,15)

Moderado, CV en el rango de [15,30]

Bajo, CV de 30% en adelante

¹ Incluye los casos en los cuales el informante no sabe el tipo de focos. A nivel nacional fueron 7 839 focos.

² Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa y Durango.

³ Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, CDMX, Morelos, Tlaxcala y Puebla.

⁴ Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.

Fuente: Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018.

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018. SNIEG

Tiempo de uso de los focos por zona de vivienda:

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI. Tabulados básicos. 2018.

Tiempo promedio de uso de focos al día en áreas de las viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica
Enero - Junio 2018

Cuadro 2.6

Tiempo promedio de uso de focos (horas : minutos) de las viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica	Áreas de la vivienda ¹							
	Cocina	Sala-comedor	Baños	Recámaras	Patio	Cochera o calle	Escaleras o pasillos interiores	Otros espacios de la vivienda ²
Total	2 h 55 min	2 h 49 min	1 h 32 min	2 h 28 min	3 h 50 min	4 h 17 min	2 h 10 min	2h 30 min

Nota1: Las estimaciones que aparecen en este cuadro están coloreadas de acuerdo con su nivel de precisión, en Alto, Moderado y Bajo, tomando como referencia el coeficiente de variación CV (%). Una precisión Baja requiere un uso cauteloso de la estimación en el que se analicen las causas de la alta variabilidad y se consideren otros indicadores de precisión y confiabilidad, como el intervalo de confianza.

Nivel de precisión de las estimaciones:

Alto, CV en el rango de (0,15)

Moderado, CV en el rango de [15,30]

Bajo, CV de 30% en adelante

¹ El tiempo promedio calculado corresponde a las áreas de la vivienda en donde el informante declaró usar focos.

² Comprende: porche, terraza, área de balcón independiente, cuarto de lavado u otra área.

Fuente: Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018.

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018. SNIEG

Numero de focos por zona de vivienda:

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI. Tabulados básicos. 2018.

Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica y su distribución porcentual, por áreas de la vivienda y número de focos, según tamaño de localidad Cuadro 2.4
Enero - Junio 2018

Áreas de la vivienda y número de focos	Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica	Tamaño de localidad			
		15 000 y más habitantes		Menos de 15 000 habitantes	
		Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Estados Unidos Mexicanos	32 875 974	25 943 843	78.9	6 932 131	21.1
Cocina					
0 Focos	2 419 014	1 462 992	60.5	956 022	39.5
1 Foco	27 143 642	21 617 965	79.6	5 525 677	20.4
2 Focos	2 677 125	2 273 793	84.9	403 332	15.1
3 y más focos	636 193	589 093	92.6	47 100	7.4
Sala-comedor					
0 Focos	10 976 535	7 220 098	65.8	3 756 437	34.2
1 Foco	13 170 593	10 638 538	80.8	2 532 055	19.2
2 Focos	6 389 274	5 857 224	91.7	532 050	8.3
3 y más focos	2 339 572	2 227 983	95.2	111 589	4.8
Baños					
0 Focos	4 469 237	2 037 738	45.6	2 431 499	54.4
1 Foco	24 080 755	19 955 153	82.9	4 125 602	17.1
2 Focos	3 296 667	2 961 933	89.8	334 734	10.2
3 y más focos	1 029 315	989 019	96.1	40 296	3.9
Recámaras					
0 Focos	1 454 225	958 499	65.9	495 726	34.1
1 Foco	9 566 765	7 094 735	74.2	2 472 030	25.8
2 Focos	12 216 968	9 743 025	79.7	2 473 943	20.3
3 y más focos	9 638 016	8 147 584	84.5	1 490 432	15.5
Cochera o calle					
0 Focos	22 857 349	17 178 970	75.2	5 678 379	24.8
1 Foco	7 417 840	6 427 288	86.6	990 552	13.4
2 Focos	1 654 273	1 460 686	88.3	193 587	11.7
3 y más focos	946 512	876 899	92.6	69 613	7.4
Otra área¹					
0 Focos	11 796 970	9 102 587	77.2	2 694 383	22.8
1 Foco	12 568 208	9 719 329	77.3	2 848 879	22.7
2 Focos	5 055 403	4 138 417	81.9	916 986	18.1
3 y más focos	3 455 393	2 983 510	86.3	471 883	13.7

Nota 1: Las estimaciones que aparecen en este cuadro están coloreadas de acuerdo con su nivel de precisión, en Alto, Moderado y Bajo, tomando como referencia el coeficiente de variación CV (%). Una precisión Baja requiere un uso cauteloso de la estimación en el que se analicen las causas de la alta variabilidad y se consideren otros indicadores de precisión y confiabilidad, como el intervalo de confianza.

Nivel de precisión de las estimaciones:

Alto, CV en el rango de (0,15)

Electrodomésticos usados con más frecuencia y tiempo de uso:

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI. Tabulados básicos. 2018.

Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica y su distribución porcentual, por tipo de electrodoméstico utilizado, según tiempo de uso al día¹
Enero - Junio 2018

Tipo de electrodoméstico	Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica	Tiempo de uso al día ²											
		Viviendas particulares habitadas que usan electrodoméstico		Menos de 10 min		De 10 a 15 min		De 16 a 20 min		De 21 a 30 min		Más de 30 min	
		Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos		
Estados Unidos Mexicanos	32 875 974												
Horno de microondas		12 398 791	37.7	6 928 198	55.9	2 671 857	21.5	640 018	5.2	961 995	7.8	775 807	6.3
Licudadora		28 768 486	87.5	19 024 219	66.1	6 312 518	21.9	1 024 231	3.6	1 309 611	4.6	726 201	2.5
Baldora		5 244 789	16.0	1 509 324	28.8	1 552 342	29.6	389 736	7.4	437 592	8.3	177 005	3.4
Cafetera		3 109 664	9.5	719 584	23.1	1 011 099	32.5	344 043	11.1	387 155	12.5	373 818	12.0
Tostador de pan o sandwichera		3 200 574	9.7	1 303 946	40.7	990 536	30.9	210 802	6.6	212 819	6.6	89 132	2.8
Secadora de pelo		4 969 245	15.1	1 417 734	28.5	1 995 056	40.1	481 026	9.7	571 989	11.5	217 561	4.4
Tenazas o plancha para el pelo		6 665 804	20.3	668 377	10.0	1 974 299	29.6	1 044 346	15.7	1 526 602	22.9	1 028 331	15.4

Nota1: Las estimaciones que aparecen en este cuadro están coloreadas de acuerdo con su nivel de precisión, en Alto, Moderado y Bajo, tomando como referencia el coeficiente de variación CV (%). Una precisión Baja requiere un uso cauteloso de la estimación en el que se analicen las causas de la alta variabilidad y se consideren otros indicadores de precisión y confiabilidad, como el intervalo de confianza.

Nivel de precisión de las estimaciones:

Alto, CV en el rango de (0,15)

Moderado, CV en el rango de [15,30)

Bajo, CV de 30% en adelante

¹ Tiempo de uso al día: Se refiere a las horas y minutos que se destinan al equipo cuando se usa.² La suma de viviendas por tiempo de uso al día puede ser distinto al total, debido a que se excluyen aquellas en las que declararon usar el equipo con una frecuencia menor al periodo solicitado o no la especificaron.

Fuente: Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018.

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018. SNIEG

Tipo de equipo de aire acondicionado más utilizado por región de la república:

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI. Tabulados básicos. 2018.

Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica y usan aire acondicionado y su distribución porcentual, por tipo, según regiones climáticas
Enero - Junio 2018

Cuadro 4.38

Tipo de aire acondicionado	Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica y usan aire acondicionado	Regiones climáticas					
		Región cálida extrema ¹		Región templada ²		Región tropical ³	
		Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Estados Unidos Mexicanos ⁴	4 908 985	3 762 004	76.6	233 008	4.7	913 973	18.6
Central y de ventana	1 697 273	1 314 364	77.4	74 614	4.4	308 295	18.2
Minisplit inverter	757 804	547 125	72.2	43 642	5.8	167 037	22.0
Minisplit de encendido/apagado	1 923 820	1 347 021	70.0	101 072	5.3	475 727	24.7
De aire evaporativo (coolers)	898 849	878 354	97.7	11 783	1.3	8 712	1.0
Otro tipo ⁵	90 914	71 810	79.0	9 949	10.9	9 155	10.1
No especificado	9 131	7 627	83.5	833	9.1	671	7.3

Nota1: Las estimaciones que aparecen en este cuadro están coloreadas de acuerdo con su nivel de precisión, en Alto, Moderado y Bajo, tomando como referencia el coeficiente de variación CV (%). Una precisión Baja requiere un uso cauteloso de la estimación en el que se analicen las causas de la alta variabilidad y se consideren otros indicadores de precisión y confiabilidad, como el intervalo de confianza.

Nivel de precisión de las estimaciones:

Alto, CV en el rango de (0,15)

Moderado, CV en el rango de [15,30)

Bajo, CV de 30% en adelante

¹ Baja California, Baja California Sur, Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa y Durango.² Nayarit, Jalisco, Colima, Michoacán, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Querétaro, Hidalgo, Estado de México, CDMX, Morelos, Tlaxcala y Puebla.³ Guerrero, Oaxaca, Veracruz, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán y Quintana Roo.⁴ La suma por tipo de aire acondicionado puede ser mayor que el total, porque en una vivienda pueden usar más de un tipo.⁵ Incluye aire acondicionado portátil.

Fuente: Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018.

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018. SNIEG

Tipo de equipo de calefacción más utilizado por región de la república:

INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares. ENCEVI. Tabulados básicos. 2018.

Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica y su distribución porcentual, por condición de uso de calefactores y tipo, según tamaño de localidad
Enero - Junio 2018

Condición de uso de calefactores y tipo	Viviendas particulares habitadas que disponen de energía eléctrica		Tamaño de localidad			
			15 000 y más habitantes		Menos de 15 000 habitantes	
	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos	Absolutos	Relativos
Estados Unidos Mexicanos	32 875 974	100.0	25 943 843	100.0	6 932 131	100.0
Sí usan calefactores¹	2 060 528	6.3	1 897 607	7.3	162 921	2.4
Eléctrico ²	1 061 469	51.5	972 545	51.3	88 924	54.6
De gas	620 014	30.1	595 545	31.4	24 469	15.0
Otro tipo de calefactor	490 550	23.8	441 405	23.3	49 145	30.2
No especificado	5 792	0.3	4 492	0.2	1 300	0.8
No usan calefactores	30 815 446	93.7	24 046 236	92.7	6 769 210	97.6

Nota1: Las estimaciones que aparecen en este cuadro están coloreadas de acuerdo con su nivel de precisión, en Alto, Moderado y Bajo, tomando como referencia el coeficiente de variación CV (%). Una precisión Baja requiere un uso cauteloso de la estimación en el que se analicen las causas de la alta variabilidad y se consideren otros indicadores de precisión y confiabilidad, como el intervalo de confianza.

Nivel de precisión de las estimaciones:

Alto, CV en el rango de (0,15)

Moderado, CV en el rango de [15,30)

Bajo, CV de 30% en adelante

¹ La suma por tipo de calefactores puede ser mayor que el total, porque en una vivienda pueden usar más de un tipo.

² Incluye eléctrico con aceite térmico, eléctrico de resistencia o eléctrico de torre.

Fuente: Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018.

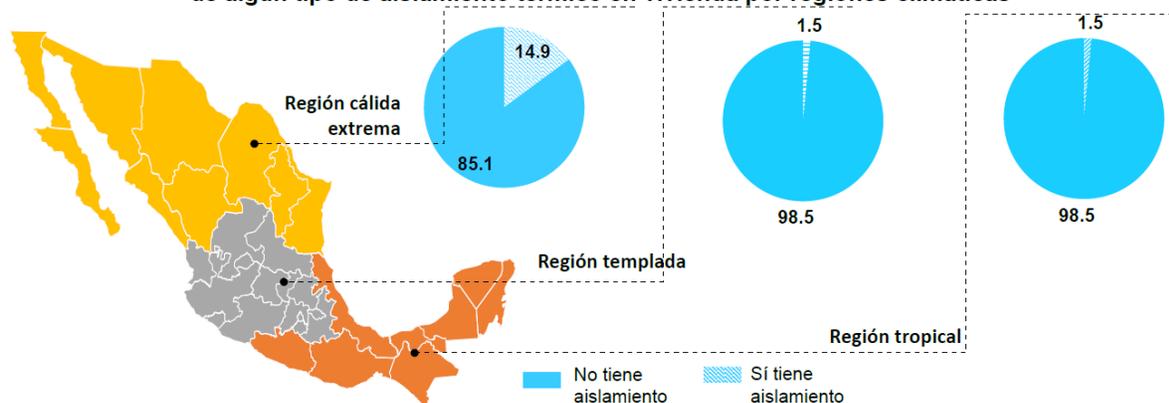
INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI) 2018. SNIEG

Porcentajes de vivienda con aislamiento en envoltorio y tipos más usados: No se usa aislamiento en envoltorio.

Aislamiento térmico en vivienda

i El envoltorio térmico en las viviendas permite un ahorro importante en el consumo de energía, y mayor eficiencia en el uso de equipos de climatización o calefacción.

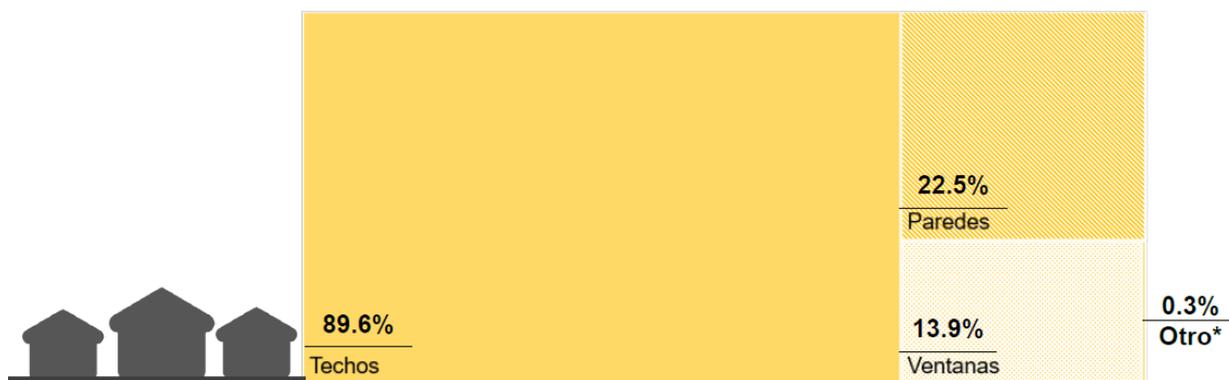
Distribución porcentual de viviendas particulares habitadas por condición de algún tipo de aislamiento térmico en vivienda por regiones climáticas



Fuente: INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018.

Aislamiento térmico en vivienda

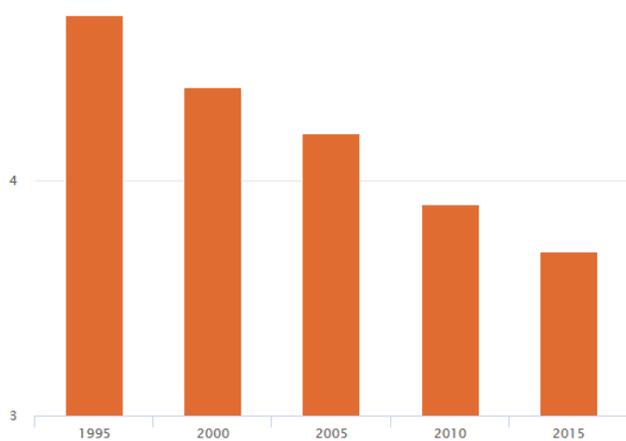
Porcentaje de viviendas particulares habitadas en la región cálida extrema según tipo de aislamiento



*Nivel de precisión: Bajo, CV de 30 en adelante.
Fuente: INEGI. Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares 2018.

Número de habitantes: 4

3.7 Promedio
2015



► Número de personas que, en promedio, ocupan una vivienda.

Notas y Llamadas:

La información corresponde al total de viviendas particulares habitadas. Para 2000, excluye las viviendas del personal del Servicio Exterior Mexicano, refugios y viviendas sin información de ocupantes. Para 2005 y 2010, excluye locales no construidos para habitación, viviendas móviles, refugios y viviendas sin información de ocupantes.

Fuente:

INEGI. Censos y Conteos de Población y Vivienda
INEGI Encuesta Intercensal 2015

Bibliografía.

- A. Allouhi, Y. E. (2015). Energy consumption and efficiency in buildings: current status and future trends. *Journal of Cleaner Production. El Sevier.*, 118-130.
- Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. (1992). Ley Federal sobre Metrología y Normalización. *Diario Oficial de la Federación*, 3.
- Centro de estudios de Finanzas Públicas, Cámara de diputados del H. Congreso de la Unión. (2001). *Evolución y Perspectiva del Sector Energético en México, 1970-2000*. Ciudad de México.
- Colmenares, F. (Diciembre de 2008). Petróleo y crecimiento económico en México. *Economía UNAM*, 5(15).
- Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2018). *Presentación. Reservas 2P y 3P de hidrocarburos de la Nación al 01 de enero de 2018*. CDMX: Comisión Nacional de Hidrocarburos.
- CONAVI. (2019). *SNIV*. Obtenido de Sistema Nacional de Información de Vivienda: <https://sniiv.conavi.gob.mx>
- CONAVI. (2021). *Glosario SNIIV*. CDMX: CONAVI.
- Conuee / GIZ /Low Carbon Architecture . (2015). *Manual técnico para la aplicación de la NOM-020-ENER-2011*. CDMX: CONUEE.
- INEGI. (2018). *Encuesta Nacional sobre Consumo de Energéticos en Viviendas Particulares (ENCEVI)*. INEGI.
- International Energy Agency. (2008). *Energy Efficiency Requirements in Building Codes, Energy Efficiency Policies for New Buildings*. París, Francia.: IEA.
- International Energy Agency. (2014). *Capturing the Multiple Benefits of Energy Efficiency*. Paris, Francia: IEA.
- International Energy Agency. (2016). *Mexico Energy Outlook*. París, Francia.: IEA.
- International Energy Agency. (2017). *Energy Efficiency, Market Report*. París, Francia: IEA.
- IPEEC. (2014). *Mexico - Building Code Implementation - Country Summary*. IPEEC.
- Marsh, D. A. (2018). *Psychrometric Chart*. Obtenido de <https://drajmarsh.bitbucket.io/psychro-chart2d.html>
- Meredydd Evans, V. R. (2017). An international survey of building energy codes and their implementation. *Journal of Cleaner Production. El Sevier.*
- Michele Fossati, V. A. (2016). Building energy efficiency: An overview of the Brazilian residential labeling scheme. *Renewable and Sustainable Energy Reviews. El Sevier.*, 1216-1231.

Odón de Buen Rodríguez, CONUEE. (2019). ¿Por qué es importante la eficiencia energética en viviendas de clima cálido en México? *¿Por qué es importante la eficiencia energética en viviendas de clima cálido en México?* (pág. 8). CDMX: CONUEE.

Secretaría de Energía. (2017). *SIE*. Obtenido de Sistema de Información Energética:
<https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=IIIBC02>

Secretaría de Energía México. (11 de Septiembre de 2018). *Sistema de Información Energética*. Obtenido de <http://sie.energia.gob.mx/>

SENER. (2016). *Balance Nacional de energía 2016*. CDMX: Secretaría de Energía.

SENER. (2018-2032). *Programa de Desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional*. CDMX: Secretaría de Energía.

Sistema de Información energética. (2019). *SIE*. Obtenido de SIE:
https://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=DIIE_C32_ESP

Tablas

<i>Tabla 1 . Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de “Germany – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/germany</i>	16
<i>Tabla 2. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de “Australia – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de http://www.gbpn.org/sites/default/files/Australia_Country%20Summary%20_0.pdf</i>	19
<i>Tabla 3. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Impresión de “China – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/china</i>	22
<i>Tabla 4. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de “South Korea – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/south-korea</i>	26
<i>Tabla 5. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de “United States – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/usa</i>	28
<i>Tabla 6. Roles de los stakeholders y lo que hacen en cada etapa. Reimpresión de “México – Building Code implementation – Country summary.” por International Partnership for Energy Efficiency Cooperation (IPEEC), 2015. Obtenida de http://www.gbpn.org/beet-3/country-infosheets/mexico</i>	32
<i>Tabla 7. Materiales originales proyectados de la vivienda de interés social.</i>	141
<i>Tabla 8. Materiales originales. En el caso Cuajimalpa son suficientes para cumplir la norma.</i>	156
<i>Tabla 9. Datos estadísticos relevantes para el calibrado de modelo energético del ENCEVI 2018.</i>	105
<i>Tabla 10. Consumo Nacional de Energía en los rectores: Residencial, comercial y público 2019.</i>	113

Ilustraciones

<i>Ilustración 1. A multiple benefits approach to energy efficiency. IEA (2014). Obtenida de https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Multiple_Benefits_of_Energy_Efficiency.pdf</i>	41
<i>Ilustración 2. Gráfica de producción energética nacional vs el consumo energético nacional, del Balance Energético Nacional 2016 (SENER, 2016) Obtenida de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf</i>	44
<i>Ilustración 3. Gráfica de tendencia del índice de independencia energética, del Balance Energético Nacional 2016(SENER, 2016) Obtenida de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf</i>	44
<i>Ilustración 4. Gráfica de tendencia del índice de intensidad energética, del Balance Energético Nacional 2016(SENER, 2016) Obtenida de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf</i>	45
<i>Ilustración 5. Consumo final energético por sector y energético al 2016 del Balance Energético Nacional 2016(SENER, 2016) Obtenida de: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/288692/Balance_Nacional_de_Energ_a_2016__2_.pdf</i>	iError!
Marcador no definido.	
<i>Ilustración 6. Ver ANEXO I – Matriz de adopción de NOM de eficiencia energética en Estados y Municipios.</i>	60
<i>Ilustración 7. Beneficios para los estados y municipios mexicanos al adoptar NOM eficiencia energética.</i>	62
<i>Ilustración 8. Aplicación de la norma. Pasos a seguir.</i>	67
<i>Ilustración 9. Cuadro de información necesaria para el cálculo de la Norma. (Conuee / GIZ /Low Carbon Architecture , 2015)</i>	74
<i>Ilustración 10. Ejemplo de Edificio Proyectado VS Edificio de Referencia. (Conuee / GIZ /Low Carbon Architecture , 2015)</i>	75
<i>Ilustración 11. Herramienta de cálculo para la NOM 020 ENER 2011 de la CONUEE.</i>	76
<i>Ilustración 12. Carta Psicrométrica Hermosillo Sonora. Tipo Givoni.</i>	79
<i>Ilustración 13. Diagrama de Olgay para Hermosillo, Sonora</i>	80
<i>Ilustración 14. Carta psicrométrica de Cuajimalpa, CDMX. Tipo Givoni.</i>	82
<i>Ilustración 15. Carta psicrométrica de Mérida, Yucatán con diagrama de Givoni.</i>	83
<i>Ilustración 16. Registro de vivienda de la CONAVI para el año 2019-2020. El segmento “Popular hasta 158” es el más alto a nivel nacional.</i>	86
<i>Ilustración 17. Materiales para determinación del rezago en la vivienda 2008-2018 de la Metodología del cálculo del rezago habitacional por CONAVI.</i>	87
<i>Ilustración 18. Datos estadísticos relevantes para el proyecto arquitectónico y el calibrado de modelo energético de la ENCEVI 2018 realizada por el INEGI.</i>	88
<i>Ilustración 19. Planta Baja Arquitectónica</i>	89
<i>Ilustración 20. Planta Alta arquitectónica.</i>	90
<i>Ilustración 21. Isométrico, fachada este.</i>	91
<i>Ilustración 22. Isométrico, Fachada oeste.</i>	91
<i>Ilustración 23. Corte de norte a sur, proyecto arquitectónico</i>	92
<i>Ilustración 24. Exportación de geometría básica de Revit 2019 a SketchUp y OpenStudio/ EnergyPlus</i>	92
<i>Ilustración 25. Creación de tipos de espacio y zonas térmicas a partir de la geometría básica importada a SketchUp con plugin OpenStudio/EnergyPlus</i>	93

Ilustración 26. Diagrama de casos de estudio y escenarios de simulación energética de día mas cálido y más frío y simulación anual por EnergyPlus _____	98
Ilustración 27. Diagrama de casos de estudio y escenarios de simulación energética manual y simulación por EnergyPlus _____	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 28. Simulaciones manuales de Hermosillo sonora. _____	99
Ilustración 29. Resultados del caso de estudio de Hermosillo con la herramienta de la CONUEE para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011. _____	140
Ilustración 30. Materiales a usar para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011. _____	141
Ilustración 31. Cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011 con el cambio de materiales. _____	142
Ilustración 32. Estructura de trabajo para el caso de estudio de Cuajimalpa. _____	101
Ilustración 33. Caso Cuajimalpa, proyecto original pasa la NOM 020 ENER 2011. _____	155
Ilustración 34. Análisis de caso Cuajimalpa sustituyendo block por tabique. Usando tabique NO se pasa la norma. _____	156
Ilustración 35. Cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 en caso Cuajimalpa con materiales eficientes. _____	157
Ilustración 36. Resultado herramienta CONUEE para cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011. Proyecto original NO cumple la norma. _____	170
Ilustración 37. Herramienta de cumplimiento de la CONUEE para la NOM 020 ENER 2011. Usando tabique de 11 cm de espesor tampoco se pasa la norma. _____	171
Ilustración 38. Resultado de análisis de la herramienta de cumplimiento de la NOM 020 ENER 2011 para caso Mérida con materiales eficientes. _____	172
Ilustración 39. Estructura de trabajo para los casos de estudio por simulación por EnergyPlus _____	106
Ilustración 40. Características de los días de diseño para la simulación Hermosillo en EnergyPlus. _____	189
Ilustración 41. Rango de confort para el día más cálido de año en Hermosillo Sonora. Va de los 20.5 °C a los 24.5°C. _____	190
Ilustración 42. Rango de confort para el día más cálido de año en Hermosillo Sonora. Va de los 20.5 °C a los 24.5°C. _____	190
Ilustración 43. Rango de confort para el día más frío del año para Hermosillo Sonora. Va de 21.5°C a 26°C _____	191
Ilustración 44. Rango de confort para el día más frío del año para Hermosillo Sonora. Va de 21.5°C a 26°C. _____	191
Ilustración 45. Resultados de horas de no confort para la vivienda de Hermosillo sonora que no cumple con la norma y solo tiene ventilación natural. _____	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 46. Resultados de horas de no confort para la vivienda de Hermosillo sonora que cumple con la norma y solo tiene ventilación natural. _____	¡Error! Marcador no definido.
Ilustración 47. Días de diseño para Mérida Yucatán. Son parte de la información climática, pero se utilizan todas las horas del año para la simulación. _____	198
Ilustración 48. Rango de confort para día cálido en Mérida. Rango de 21.5°C a 25°C _____	198
Ilustración 49. Rango de confort para día cálido en Mérida. Rango de 21.5°C a 25°C _____	199
Ilustración 50. Resultados de ventilación natural y cumplimiento o no cumplimiento de la Norma. _____	109
Ilustración 51. Días de diseño empleados en la simulación del caso Cuajimalpa CDMX. ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 52. Rango de confort para día más cálido del año en el caso Cuajimalpa. Rango de 23°C a 26.5°C _ ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 53. Rango de confort para día más cálido del año en el caso Cuajimalpa. Rango de 23°C a 26.5°C _ ¡Error! Marcador no definido.	
Ilustración 54. Gráfica de consumo anual de energía eléctrica por estado, en Giga Watts para el año 2019 se acuerdo al SIE. _____	111
Ilustración 55. Tabla de consumo de energía eléctrica por estado para el 2019, en giga watts. (Sistema de Información energética, 2019) _____	112

<i>Ilustración 56. Registro de vivienda del 2019 del D.F. Accesado en https://sniiv.conavi.gob.mx/oferta/index.aspx</i>	114
<i>Ilustración 57. Registro de vivienda del 2019 de Sonora. Accesado en https://sniiv.conavi.gob.mx/oferta/index.aspx</i>	115
<i>Ilustración 58. Precios medios de energía eléctrica por tarifa residencial anual para la tarifa IF. (Sistema de Información energética, 2019)</i>	116
<i>Ilustración 59. Ahorros municipales posibles de adoptar la NOM 020 ENER 2011 en los reglamentos de construcción de Hermosillo Sonora.</i>	117
<i>Ilustración 60. Registro de vivienda del 2019 de Yucatán. Accesado en https://sniiv.conavi.gob.mx/oferta/index.aspx</i>	118
<i>Ilustración 61. Precios medios de energía eléctrica por tarifa residencial anual para la tarifa IF. (Sistema de Información energética, 2019)</i>	119
<i>Ilustración 62. Ahorros municipales posibles de adoptar la NOM 020 ENER 2011 en los reglamentos de construcción de Yucatán Mérida.</i>	119
<i>Ilustración 63. Comparación de horas que las áreas de la vivienda se encuentran fuera del rango de confort usando solo ventilación natural.</i>	133
<i>Ilustración 64. Grafica de temperaturas caso sin ventilación Hermosillo.</i>	144
<i>Ilustración 65. Grafica de caso Hermosillo con plan de ventilación</i>	145
<i>Ilustración 66. Gráfica de caso Hermosillo con cambio de materiales para cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 y sin ventilación.</i>	147
<i>Ilustración 67. Gráfica de caso Hermosillo con cambio de materiales para cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 con ventilación.</i>	149
<i>Ilustración 68. Grafica del día más frío en Hermosillo sin ventilación ni cumplimiento de NOM 020 ENER 2011.</i>	151
<i>Ilustración 69. Grafica de caso Hermosillo día más frío sin cumplimiento de NOM 020 ENER 2011 pero con plan de ventilación de 12pm a 3 pm.</i>	152
<i>Ilustración 70. Gráfica de caso Hermosillo donde al cumplir con la NOM 020 ENER 2011 se elimina la necesidad de calefacción.</i>	154
<i>Ilustración 71. Grafica de temperatura caso Cuajimalpa, temperatura interior está mayor mente dentro de la zona de confort.</i>	159
<i>Ilustración 72. Grafica de caso Cuajimalpa, materiales originales con programa de ventilación.</i>	161
<i>Ilustración 73. Gráfica de temperaturas caso Cuajimalpa con materiales térmicamente eficientes. No hay necesidad de calefacción o refrigeración.</i>	162
<i>Ilustración 74. Gráfica de caso Cuajimalpa con materiales térmicamente eficientes y plan de ventilación.</i>	163
<i>Ilustración 75. Grafica de caso Cuajimalpa, día más frío materiales originales sin ventilación.</i>	164
<i>Ilustración 76. Grafica de temperaturas de caso Cuajimalpa con materiales originales y programa de ventilación.</i>	166
<i>Ilustración 77. Gráfica de temperaturas caso Cuajimalpa, materiales térmicamente eficientes, sin ventilación</i>	167
<i>Ilustración 78. Gráfica de temperaturas caso Cuajimalpa, día más frío con cambio de materiales y programa de ventilación.</i>	169
<i>Ilustración 79. Gráfica de temperaturas exterior e interior del caso Mérida sin materiales eficientes y sin ventilación.</i>	174
<i>Ilustración 80. Gráfica de temperaturas de caso Mérida con materiales originales y con ventilación.</i>	175
<i>Ilustración 81. Grafica de temperaturas caso Mérida, con materiales térmicamente eficientes y sin plan de ventilación.</i>	177
<i>Ilustración 82. Gráfica de temperaturas caso Mérida, con materiales eficientes y programa de ventilación.</i>	178
<i>Ilustración 83. Grafica de temperaturas día más frío caso Mérida. Sin materiales térmicamente eficientes ni programa de ventilación.</i>	180

<i>Ilustración 84. Gráfica de temperaturas día más frío caso Mérida, Con materiales eficientes y sin programa de ventilación.</i>	182
<i>Ilustración 85. Consumo anual de la vivienda en kWh y dimensionamiento del equipo de aire acondicionado que se requeriría al no cumplir la vivienda con la NOM 020 ENER 2011.</i>	192
<i>Ilustración 86. Distribución mensual del uso de la energía eléctrica de la vivienda en caso Hermosillo sin uso de NOM 020 ENER 2011</i>	193
<i>Ilustración 87. Consumo de energía eléctrica mensual por tema de equipo de HVAC.</i>	194
<i>Ilustración 88. Resultados de horas de no confort para la vivienda de Hermosillo sonora que no cumple con la norma y solo tiene ventilación natural.</i>	196
<i>Ilustración 89. Resultados de horas de no confort para la vivienda de Hermosillo sonora que cumple con la norma y solo tiene ventilación natural.</i>	197
<i>Ilustración 90. Consumo energético anual, tamaño de equipo de HVAC y horas de no confort para el caso de con equipo de aire acondicionado y sin cumplir la norma de Mérida.</i>	200
<i>Ilustración 91. Consumo eléctrico mensual por uso final del caso HVAC sin cumplir norma Mérida.</i>	201
<i>Ilustración 92. Consumo energético anual, tamaño de equipo de HVAC y horas de no confort para el caso de con equipo de aire acondicionado y cumpliendo la norma en Mérida.</i>	202
<i>Ilustración 93. Consumo eléctrico mensual y sus usos finales para el caso de Mérida con HVAC y que si cumple con NOM 020 ENER 2011.</i>	203
<i>Ilustración 94. Días de diseño empleados en la simulación del caso Cuajimalpa CDMX.</i>	205
<i>Ilustración 95. Rango de confort para día más cálido del año en el caso Cuajimalpa. Rango de 23°C a 26.5°C</i>	205
<i>Ilustración 96. Rango de confort para día más cálido del año en el caso Cuajimalpa. Rango de 23°C a 26.5°C</i>	206
<i>Ilustración 97. Resultados de consumo, horas sin confort térmico y tamaño del equipo de HVAC requerido para la vivienda que no cumple la norma en Cuajimalpa.</i>	206
<i>Ilustración 98. Resultados de consumo, horas sin confort térmico y tamaño del equipo de HVAC requerido para la vivienda que SI cumple la norma en Cuajimalpa.</i>	207
<i>Ilustración 99. Resultados de horas de confort en vivienda de Cuajimalpa que no cumple con la norma.</i>	208
<i>Ilustración 100. Resultados de horas de no confort en vivienda que si cumple con norma en Cuajimalpa.</i>	209