



Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina (CEELA)

ACOMPañAMIENTO TÉCNICO PARA LA ACTUALIZACIÓN Y/O AJUSTE DEL CAPÍTULO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: NEC-HS-EE

24-03-2025



INFORME 3:

CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA Y LINEA BASE: ACOMPañAMIENTO TÉCNICO PARA LA ACTUALIZACIÓN Y/O AJUSTE DEL CAPITULO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN: NEC-HS-EE.

Autores

Guillermo Soriano

Pamela Zhindon

Frank Porras

José Macías

Supervisión general

CEELA - EBP Chile

Contraparte técnica

CEELA - EBP Chile

Índice

1.	Antecedentes	4
2.	Metodología	5
2.1.	Levantamiento de la línea base de desempeño	7
a.	Caracterización de viviendas	7
b.	Cargas	10
c.	Zonas climáticas	11
d.	Propiedades térmicas de la envolvente características del mercado local	11
e.	Indicadores de desempeño para la línea base	12
2.2.	Comparación de resultados entre el caso BAU y la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE	14
3.	Resultados de la línea base de desempeño.	14
3.1.	Rangos de confort térmico	15
3.2.	Demanda térmica, horas de confort y emisiones	18
4.	Comparación de resultados entre caso BAU y caso NEC-HS-EE actualizada	22
4.1.	Vivienda unifamiliar de una planta	23
a.	Horas de Confort	23
b.	Demanda térmica	24
c.	Mitigación de emisiones	25
4.2.	Departamento en edificio multifamiliar	26
a.	Horas de Confort	27
b.	Demanda térmica	28
c.	Mitigación de emisiones	29
4.3.	Vivienda unifamiliar de interés social	30
a.	Evaluación de cumplimiento	30
b.	Impacto en demanda térmica y horas de confort	34
5.	Análisis de desempeño con enfoque de inclusión	36
6.	Consideraciones finales	38

1. Antecedentes

El objetivo del proyecto CEELA busca reducir el consumo de energía y aumentar el confort térmico en los edificios en América Latina, con un enfoque particular en las zonas climáticas cálidas, a través del fortalecimiento de las capacidades para el diseño de edificios con Eficiencia Energética y Confort Térmico (EECT), así como la aplicación de tecnologías y materiales adecuados.

Los países bajo el alcance del proyecto CEELA tienen estrategias, políticas y/o marcos regulatorios para enfrentar el cambio climático, o se encuentran en proceso de desarrollarlos. Estas políticas y estrategias son coordinadas por los entes de gobierno y generalmente a través de comités o grupos de trabajo Interministeriales se promueven acciones de mitigación y adaptación al cambio climático, siendo la eficiencia energética en la construcción una de las acciones más relevantes.

Para el caso de Ecuador, el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) es el ente de gobierno a cargo de la regulación en el ámbito de la construcción y edificaciones, incluyendo la evaluación sobre el desempeño energético y sobre el confort de los ocupantes. El documento normativo que corresponde a esta arista es el capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-HS-EE, expedido el 16 de marzo del 2018.

El capítulo de eficiencia energética de la NEC “NEC-HS-EE” establece los criterios y requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones residenciales, con el fin de optimizar el consumo energético asegurando el confort térmico interno para los usuarios en función del clima donde el proyecto será emplazado, disminuyendo de esta manera el consumo de combustibles fósiles y recursos no renovables y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. Actualmente la NEC-HS-EE contempla exigencias prescriptivas (requerimientos de obligatorio cumplimiento) para ciertos aspectos que influyen en el desempeño energético y confort térmico de las edificaciones residenciales. Entre estos: la envolvente de la edificación y su desempeño térmico, la calidad del aire y los niveles de iluminación.

Si bien la aplicación de esta norma es obligatoria para las edificaciones residenciales, se han identificado brechas significativas en su implementación que se traducen en una falta de cumplimiento. Entre las principales limitaciones se identifica la falta de capacidad de fiscalización sobre su cumplimiento; una articulación deficiente con los proveedores de materiales y desarrolladores de proyectos; y la carencia de incentivos que faciliten la aplicación.

En este contexto y en el marco del proyecto CEELA, el 22 de julio de 2024 se inició la consultoría de Acompañamiento al Técnico para la actualización y/o ajuste del capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE, cuyo objetivo principal es acompañar al Comité Técnico de la norma y al equipo de MIDUVI en el proceso de actualizar este capítulo y asegurar que se incorporen los estándares propuestos mediante el estudio normativo previo: “Desarrollo de insumos para una

propuesta de actualización y/o ajuste del capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE”.

La actualización de la norma actual se enfoca en la definición de nuevos valores prescriptivos para los elementos de la envolvente: techos, paredes, pisos y áreas translúcidas. Este informe presenta una caracterización energética de diferentes tipologías de vivienda, a través de la definición de una línea base sobre el desempeño energético y de confort.

2. Metodología

Este componente de la consultoría corresponde al levantamiento de una línea base de desempeño energético y de confort para la práctica de construcción local en el sector residencial. Los resultados de esta línea base han sido obtenidos para cuatro tipologías considerando las cinco zonas climáticas habitadas en Ecuador. La Figura 1 muestra el esquema del flujo metodológico seguido para la caracterización energética, el levantamiento de línea base y la comparación de resultados entre la línea base y los ajustes normativos propuestos. Se inicia con una caracterización de las prácticas comunes de construcción para definir las tipologías representativas en Ecuador. La información para esta caracterización es obtenida del reporte Análisis de Mercado¹. Las tipologías corresponden a vivienda unifamiliar de una planta, departamento en edificio multifamiliar (sin paredes adiabáticas), departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas) y vivienda unifamiliar de interés social.

En la segunda etapa se desarrollan modelos termo-energéticos, empleando las tipologías mencionadas anteriormente. Los perfiles de ocupación y cargas internas son obtenidos del reporte Propuesta de Ajustes y Actualización a la NEC-HS-EE². Ambos reportes utilizados provienen de una consultoría previa titulada “Desarrollo de Insumos para una Propuesta de Actualización y/o Ajuste del Capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE”. A partir de estos modelos se generan simulaciones para obtener la línea base de desempeño energético y de confort.

En la tercera etapa, se aplican los ajustes normativos propuestos a los modelos de la línea base para cuantificar el impacto de la actualización de la NEC-HS-EE. En la cuarta etapa se muestran las diferencias de desempeño entre la línea base y la aplicación de la NEC-HS-EE actualizada.

¹ El Reporte Análisis de Mercado fue presentado en la consultoría titulada “Desarrollo de Insumos para una Propuesta de Actualización y/o Ajuste del Capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE” de la Etapa 1 del proyecto “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina” (CEELA). La información del reporte se sustenta en los datos oficiales de la Encuesta Nacional de Edificaciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022, 27 de julio). Estadísticas de Edificaciones (ESED)- 2021.

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-edificaciones-2021/>

² El Reporte Propuesta de Ajustes y Actualización a la NEC-HS-EE fue presentado en la consultoría titulada “Desarrollo de Insumos para una Propuesta de Actualización y/o Ajuste del Capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE” de la Etapa 1 del proyecto “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina” (CEELA)

Luego del levantamiento de la línea base de desempeño y a la evaluación de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE, se realiza un análisis bibliográfico para determinar las diferencias en la sensación de confort térmico para ocupantes de diferente sexo y edad.

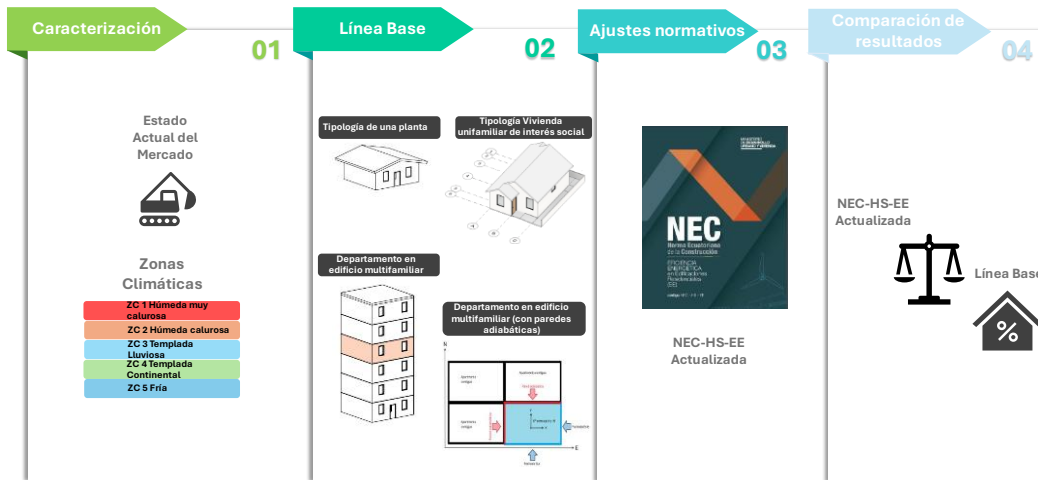


Figura 1: Esquema del flujo metodológico para la caracterización energética, levantamiento de línea base y comparación de resultados.

2.1. Levantamiento de la línea base de desempeño

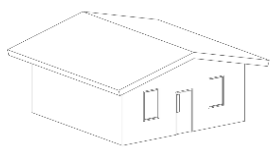
Una línea base representa los valores de desempeño energético en condiciones estándar³ y se la utiliza para comparar diferentes mejoras en el desempeño energético. En el presente reporte, la línea base muestra los valores de desempeño energético y de confort de una edificación, empleando la práctica común de construcción local. Para obtener los valores de desempeño de la línea base se realizan simulaciones termoenergéticas de las diferentes tipologías, considerando cargas, zonas climáticas y propiedades térmicas de la envolvente características del mercado local. Los valores de la línea base son nombrados en el presente reporte como caso BAU (Business-as-Usual por sus siglas en inglés).

Las simulaciones se realizan en el software EnergyPlus, el cual es de código abierto y su uso es gratuito. EnergyPlus es un motor de cálculo que sigue los principios fundamentales del equilibrio térmico, permitiendo simulaciones dinámicas y está probado bajo los lineamientos del método estándar de prueba para la evaluación de programas informáticos de análisis energético de edificios ANSI/ASHRAE Standard 140-2007. EnergyPlus es el software de referencia a nivel mundial para simulaciones de desempeño energético y térmico de edificaciones. Además, es una herramienta ampliamente utilizada en la bibliografía y reconocida por los profesionales que estudian la física de edificaciones.

a. Caracterización de viviendas

A continuación, se resumen las características de las tipologías usadas en el presente estudio.

Tabla 1.1: Tipología 1¹ - Vivienda unifamiliar de una planta

Representación gráfica	
Condición de implantación	Aislada
Orientación	Se promedian dos ² orientaciones N-S y E-O
Superficie	68 m ²
Relación Ventana/Pared	10%
Techo	Cubierta de fibrocemento (6 mm) con tumbado. Valor-U = 3,69 W/m ² -K SRI = 32

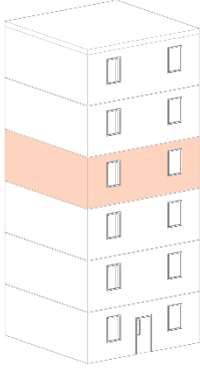
³ Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2018). NTE ISO 50001:2018. Sistemas de gestión de la energía. Requisitos con orientación para su uso. INEN

Paredes	Bloque de concreto (150 mm) con revestimientos Valor-U = 2,55 W/m ² -K
Ventana	Artesanal Aluminio - Vidrio simple 6 mm. Valor-U = 6,8 W/m ² -K SHGC = 0,80
Piso	Hormigón armado (50 mm) con recubrimiento cerámico. Valor-U = 4,75 W/m ² -K

Nota 1: La información para esta caracterización es obtenida del reporte Análisis de Mercado de la consultoría previa titulada “Desarrollo de Insumos para una Propuesta de Actualización y/o Ajuste del Capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE”.

Nota 2: Las fachadas Norte y Sur son simétricas al igual que las fachadas Este y Oeste son simétricas, por ello solo se consideran dos orientaciones N-S y E-O.

*Tabla 1.2: Tipología 2¹ - Departamento en edificio multifamiliar
(sin paredes adiabáticas)*

Representación gráfica	
Condición de implantación	Aislada
Orientación	Se promedian dos ² orientaciones N-S y E-O
Superficie	68 m ²
Relación Ventana/Pared	25%
Techo	Hormigón armado (50 mm) con tumbado. Adiabático
Paredes	Bloque de concreto (150 mm) con revestimientos Valor-U = 2,55 W/m ² -K
Ventana	Artesanal Aluminio - Vidrio simple 6 mm. Valor-U = 6,8 W/m ² -K SHGC = 0,80
Piso	Hormigón armado (50 mm) con recubrimiento cerámico. Adiabático

Nota 1: La información para esta caracterización es obtenida del reporte Análisis de Mercado de la consultoría previa titulada “Desarrollo de Insumos para una Propuesta de Actualización y/o Ajuste del Capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE”.

Nota 2: Las fachadas Norte y Sur son simétricas al igual que las fachadas Este y Oeste son simétricas, por ello solo se consideran dos orientaciones N-S y E-O.

Tabla 1.3: Tipología 3¹ - Departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas)

<p>Representación gráfica</p>	
<p>Condición de implantación</p>	<p>Aislada</p>
<p>Orientación</p>	<p>Promedio de cuatro² orientaciones</p>
<p>Superficie</p>	<p>68 m²</p>
<p>Relación Ventana/Pared</p>	<p>25% y 40%</p>
<p>Techo</p>	<p>Hormigón armado (50 mm) con tumbado. Adiabático</p>
<p>Paredes</p>	<p>Bloque de concreto (150 mm) con revestimientos Valor-U = 2,55 W/m²-K</p>
<p>Ventana</p>	<p>Artesanal Aluminio - Vidrio simple 6 mm. Valor-U = 6,8 W/m²-K SHGC = 0,80</p>
<p>Piso</p>	<p>Hormigón armado (50 mm) con recubrimiento cerámico. Adiabático</p>

Nota 1: La información para esta caracterización es obtenida del reporte Análisis de Mercado de la consultoría previa titulada "Desarrollo de Insumos para una Propuesta de Actualización y/o Ajuste del Capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE".

Nota 2: 0°, 90°, 180° y 270° respecto al norte. Cuando se tiene 0° respecto al norte las paredes Norte y Oeste son adiabáticas.

Tabla 1.3: Tipología 4¹ - Vivienda unifamiliar de interés social

<p>Representación gráfica</p>	
<p>Condición de implantación</p>	<p>Aislada</p>
<p>Orientación</p>	<p>Norte-Sur</p>

Superficie	52,64 m ²
Relación Ventana/Pared	20% y 40% ²
Techo	Panel tipo sánduche (40mm) Valor-U = 0,74 W/m ² -K SRI = 32
Paredes	Hormigón armado (80 mm) Valor-U = 4,7 W/m ² -K
Ventana	Artesanal Aluminio - Vidrio simple 6 mm. Valor-U = 6,8 W/m ² -K SHGC = 0,80
Piso	Hormigón armado (100 mm) con recubrimiento cerámico. Valor-U = 4,12 W/m ² -K

Nota 1: La información para esta tipología corresponde a la información entregada por el MIDUVI

Nota 2: La relación ventana/pared del 20% corresponde a información entregada por el MIDUVI.

b. Cargas

Para la zona térmica definida en el modelo se programa las siguientes condiciones de carga:

- Número de ocupantes: 3
- Cargas por iluminación: 2 W/m²
- Cargas por equipamiento eléctrico: 3 W/m²
- Renovaciones: 0,01 m³/s-persona
- Infiltraciones: 0,9 ACH

El número de ocupantes para la vivienda corresponde al número de personas promedio por hogar del Censo Poblacional del INEC 2010. Cabe indicar que hasta la fecha del presente estudio es la información oficial disponible. Por otro lado, las cargas por iluminación y equipamiento eléctrico fueron definidas en base a literatura especializada vigente⁴.

Con respecto a las renovaciones de aire fresco en el ambiente interior, aunque la NEC-HS-EE cuenta con un requisito específico para la inyección de aire fresco, el equipo consultor tampoco lo reconoce como una práctica poco común en el contexto local. Por esta razón se programa una tasa de inyección de aire fresco de 0.01 m³/s-persona, aplicable para edificaciones de uso residencial.

Para las infiltraciones el modelo aplica una tasa de 0.9 ACH (cambios de aire por hora). Este valor de infiltraciones es aplicable a edificaciones de alta permeabilidad^{4, 5} al aire, ya que la práctica común en Ecuador considera muy poco el uso de elementos

⁴ Bluysen, Philomena M. The indoor environment handbook: how to make buildings healthy and comfortable. Routledge, 2009. Hensen, Jan LM, and Roberto Lamberts, eds. Building performance simulation for design and operation. Routledge, 2012.

⁵ Hensen, Jan LM, and Roberto Lamberts, eds. Building performance simulation for design and operation. Routledge, 2012

herméticos para carpintería o el sellado de juntas en cielos rasos u otros cuidados en elementos susceptibles a infiltraciones.

c. Zonas climáticas

Las tipologías serán evaluadas para cinco zonas climáticas, las cuales corresponden a la Zonificación Climático-Habitacional⁶ de la NEC-HS-EE (ver Tabla 2).

Tabla 2: Referencia para zonificación climática

ZONA CLIMÁTICA (Ecuador)	ZONA CLIMÁTICA (ASHRAE 90.1)	NOMBRE	CRITERIO TÉRMICO
1	1A	HÚMEDA MUY CALUROSA	5000 < CDD10°C
2	2A	HÚMEDA CALUROSA	3500 < CDD10°C ≤ 5000
3	3C	CONTINENTAL LLUVIOSA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000
4	4C	CONTINENTAL TEMPLADO	2000 < HDD18°C ≤ 3000
5	5C	FRÍA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 3000 m < Altura (m) ≤ 5000 m

d. Propiedades térmicas de la envolvente características del mercado local

La Tabla 3 presenta los valores de las propiedades térmicas encontradas en la práctica común de construcción en Ecuador; cabe indicar, que no se identificaron diferencias para las prácticas constructivas en las diferentes zonas climáticas⁷.

Tabla 3: Propiedades térmicas de la envolvente encontradas en práctica común de construcción en Ecuador

Elemento	Materiales	Propiedad	Valor Típico
Techo	Cubierta de fibrocemento (6 mm) con tumbado	Valor - U	3,69 W/m ² -K
		SRI	32
Piso	Hormigón armado (50 mm) con recubrimiento cerámico	Valor - U	4,75 W/m ² -K
Pared	Bloque de concreto (150 mm) con revestimientos	Valor - U	2,55 W/m ² -K

⁶ En la NEC-HS-EE existen seis zonas climáticas, sin embargo, en la Zona Climática 6 Muy Fría no hay ciudades o asentamientos declarados en la Encuesta Nacional de Edificaciones 2021 del INEC, en esta zona se encuentran edificaciones tipo refugios.

⁷ Información obtenida del Reporte de Análisis de Mercado, presentado en la consultoría titulada "Desarrollo de Insumos para una Propuesta de Actualización y/o Ajuste del Capítulo de Eficiencia Energética de la Norma Ecuatoriana de la Construcción: NEC-HS-EE" de la Etapa 1 del proyecto "Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina" (CEELA). La información del reporte se sustenta en los datos oficiales de la Encuesta Nacional de Edificaciones del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022, 27 de julio). Estadísticas de Edificaciones (ESED)-2021. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-edificaciones-2021/>

Ventanas	Aluminio - Vidrio simple (6 mm) Artesanal	Valor - U	6,8 W/m ² -K
		SHGC	0,80

e. Indicadores de desempeño para la línea base

Se definen tres indicadores de desempeño para la línea base, demanda térmica anual, porcentaje de horas de confort anual y Emisiones de CO₂. La Figura 2 muestra la diferencia entre Indicador de Desempeño Energético (IDE) y Línea Base Energética (LBE_n), el indicador es la métrica sobre la cual se define el valor de línea base.

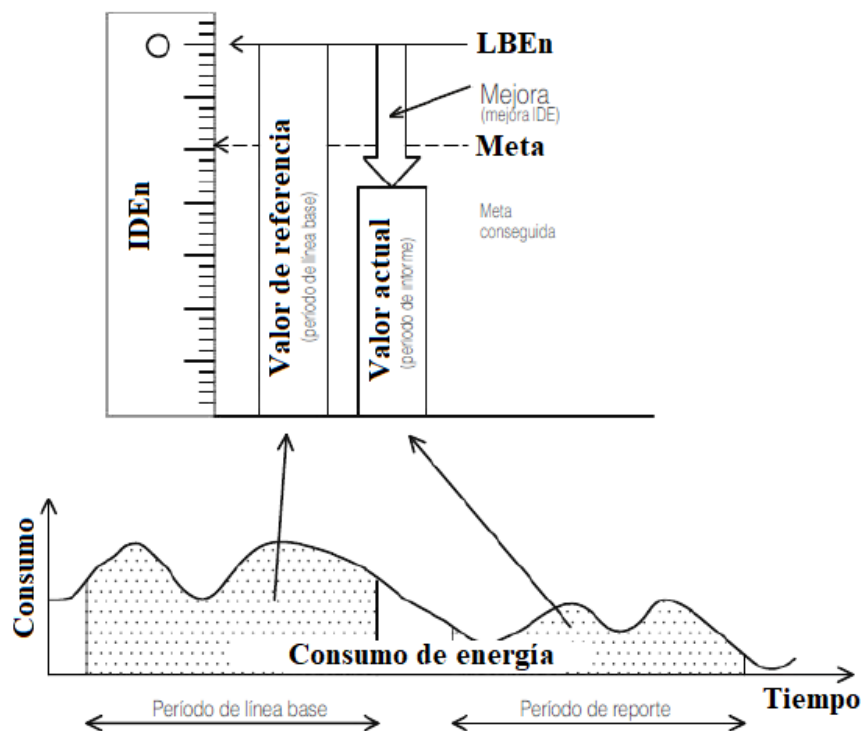


Figura 2: Diferencias entre Indicador de Desempeño Energético (IDE) y Línea Base Energética (LBE_n).

Los indicadores de desempeño empleados son tres:

Demanda térmica anual: Se cuantifica en términos de energía térmica⁸ para enfriamiento de espacios y de calefacción por unidad de superficie de construcción, se mide en kWh/m²-año. Se utiliza este indicador dado que los valores prescriptivos de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE están en función de propiedades térmicas de los elementos de la envolvente; y su impacto se mide en términos de demanda térmica de enfriamiento y calefacción de espacios.

⁸ Para el cálculo de esta demanda térmica se considera toda el área de la tipología climatizada, setpoint de termostato para calefacción por debajo de temperatura interior de 21°C y para climatización por encima de 24°C.

Porcentaje de horas de confort anual: Es el porcentaje de horas que una persona está dentro del rango de confort durante las 8760 horas del año. Se utilizó el modelo de confort adaptativo del ASHRAE 55 con el 80% de aceptación para cuantificar este indicador.

El modelo de confort adaptativo del ASHRAE 55 es un enfoque para evaluar el confort térmico en edificios con ventilación natural, donde los ocupantes tienen la posibilidad de ajustar su entorno a través de ventanas operables y cambios en su vestimenta. A diferencia del modelo de confort estático basado en el PMV (Voto Medio Predictivo), el modelo adaptativo reconoce que las expectativas y preferencias de confort de las personas varían según las condiciones climáticas exteriores y su capacidad de adaptación. Los rangos de aceptabilidad de este modelo de confort definen los límites de temperatura interior dentro de los cuales se espera que un determinado porcentaje de ocupantes se sienta térmicamente confortable. Estos rangos se basan en la temperatura media exterior predominante y la temperatura operativa interior.

El rango de aceptabilidad define las temperaturas operativas interiores dentro de las cuales se espera que al menos el 80% de los ocupantes se sientan térmicamente confortables. Estos límites se calculan sumando y restando aproximadamente ± 3.5 °C a la temperatura de confort adaptativa (T_{conf}), la cual se muestra en las Figuras 3 - 7 como una línea en rojo.

Para obtener los rangos de confort, se emplearon datos climáticos de una ciudad representativa dentro de cada una de las cinco zonas climáticas (ZC). Los archivos climáticos fueron generados haciendo uso del software Meteonorm. Se eligió a Guayaquil como ciudad representativa de la ZC1, Puyo para la ZC2, Quito para la ZC3, Ambato para la ZC4 y Tulcán para la ZC5.

Emisiones CO₂: Son las emisiones asociadas al uso de energía en climatización y calefacción (no se consideran emisiones directas asociadas a la fuga de refrigerantes). Para el cálculo de emisiones se utilizó un factor de emisión del SNI publicado por el Ministerio de Energía y Minas⁹. Para proyectos de eficiencia energética se utiliza el factor de emisión con margen combinado ex-Ante¹⁰. El factor de emisiones corresponde a 0,2441 tCO₂/MWh. Para transformar la demanda térmica de climatización en consumo de energía eléctrica es necesario aplicar un Índice de Eficiencia Energética¹¹ (EER) igual a 3.2 W/W asociado a equipos de climatización residenciales tipo split, según la Regulación Ecuatoriana (RTE INEN 072 “Eficiencia Energética para Acondicionadores de Aire Sin Ducto”).

⁹ Ministerio de Energía y Minas, Factor de emisión de CO₂ Sistema Nacional Interconectado del Ecuador Informe 2023.

¹⁰ El factor de emisión del margen combinado (CM) representa un promedio ponderado de los márgenes de construcción y operación. El factor CM ex-Ante es la ponderación de los últimos tres años y se lo debe utilizar para los proyectos en fase de validación.

¹¹ Índice de Eficiencia Energética (EER): El EER se calcula como la relación entre la capacidad de refrigeración (en BTU/h o W, según la norma de cada país) y la tasa de consumo de electricidad (en W) a plena carga (es decir, a la máxima capacidad de refrigeración entregable del equipo).

Para transformar la demanda térmica de climatización en consumo eléctrico es necesario aplicar un índice de eficiencia energética igual a $EER = 3.2 \text{ W/W}$ asociado a equipos de climatización residenciales tipo split. Para transformar la demanda térmica de calefacción en consumo eléctrico se consideran calentadores con resistencias eléctricas.

2.2. Comparación de resultados entre el caso BAU y la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE

Empleando las tipologías obtenidas de la caracterización de viviendas, se aplican los ajustes normativos propuestos por la Tabla 4. Esta tabla presenta los valores de las propiedades térmicas de la envolvente para la NEC-HS-EE actualizada. Posteriormente se simulan estos cambios y los resultados se cuantifican en términos de los indicadores de desempeño usados para la línea base. Finalmente se realiza una comparación entre los resultados del caso BAU y los de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE. Esta comparación se muestra en la Sección 4 del presente reporte.

Tabla 4: Propiedades de la envolvente para la actualización de la NEC-HS-EE.

Elemento	Propiedad	ZC 1	ZC 2	ZC 3	ZC 4	ZC 5	ZC 6
Techo	Valor U máx. W/m ² K	0,44	0,50	0,79	0,79	0,79	0,27
	SRI	32	32	-	-	-	-
Piso	Valor U máx. W/m ² K	4,75	4,75	1	1	1	0,32
Pared	Valor U máx. W/m ² K	2,55	2,55	2,55	2,55	2,55	0,40
Ventanas	Valor U máx. (W/m ² -K) WWR <25%	5,6	5,6	5,6	5,6	5,6	1,99
	Valor U máx. (W/m ² -K) WWR 25-40%	5,6	5,6	3,2	3,2	3,2	1,99
	SHGC	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.6

3. Resultados de la línea base de desempeño.

A continuación, se presentan los resultados de las simulaciones termo-energéticas de las diferentes tipologías analizadas. Estos resultados siguen las consideraciones presentadas en la metodología (Sección 2) y corresponden a la línea base de desempeño de las edificaciones en Ecuador. Esta sección inicia presentando los diferentes rangos de confort para ciudades representativas de cada zona climática del país y posteriormente se muestran los valores de demanda térmica anual, horas de confort y emisiones de CO₂

3.1. Rangos de confort térmico

Las Figuras 3 - 7 presentan de forma gráfica los rangos de confort empleando temperaturas mensuales medias (máxima y mínima) como temperatura media exterior predominante.

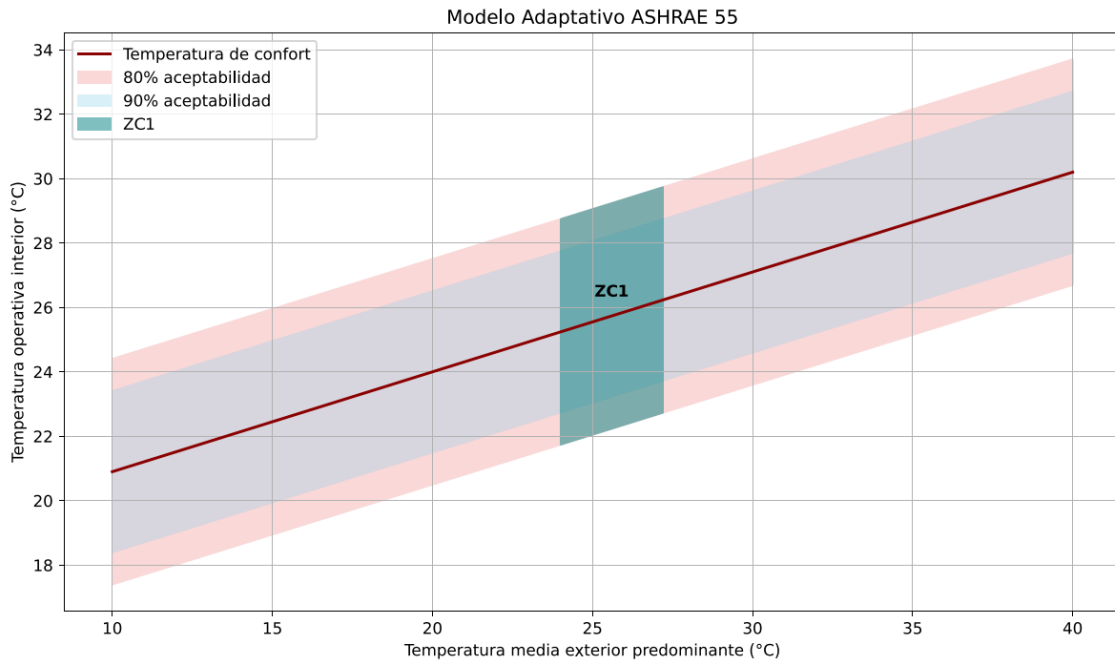


Figura 3: Zona de confort para ZC1

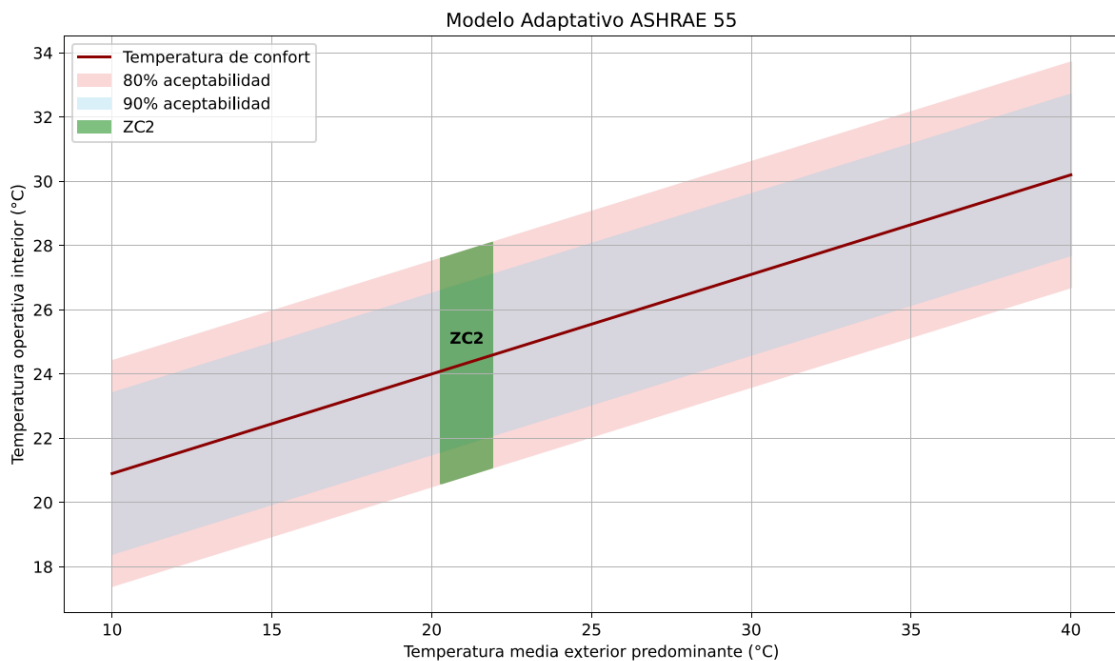


Figura 4: Zona de confort para ZC2

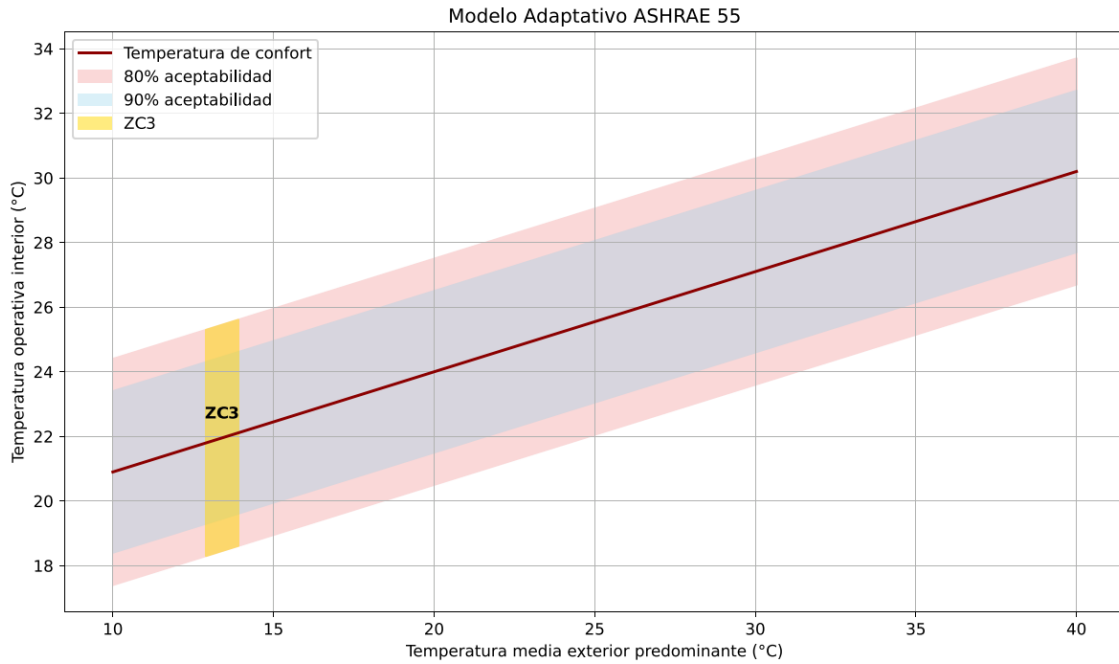


Figura 5: Zona de confort para ZC3

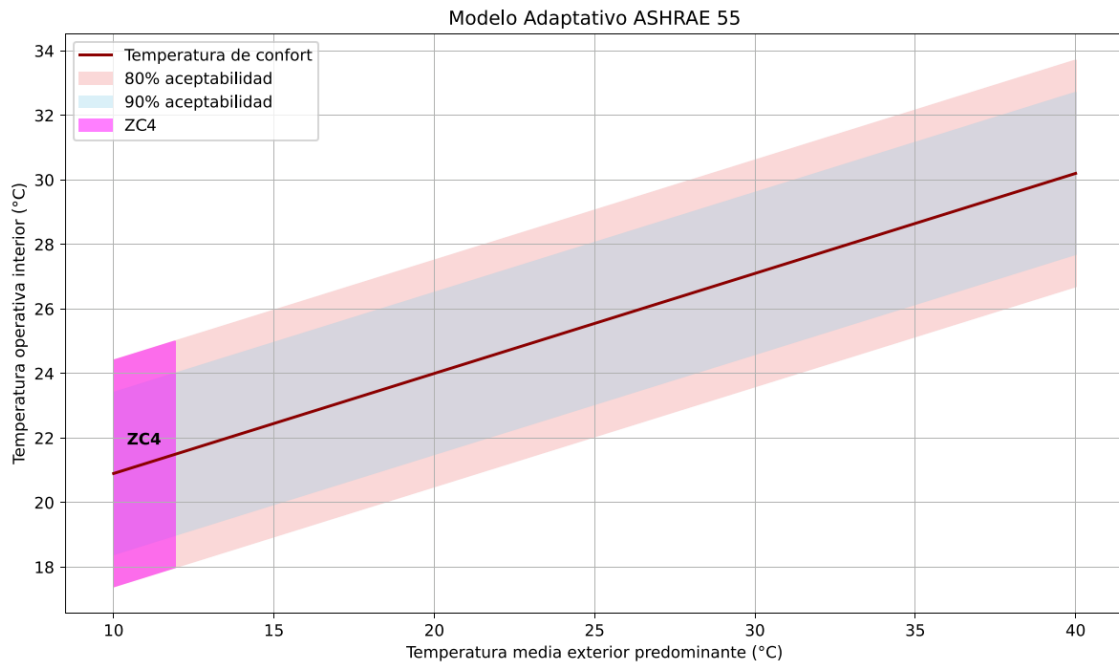


Figura 6: Zona de confort para ZC4

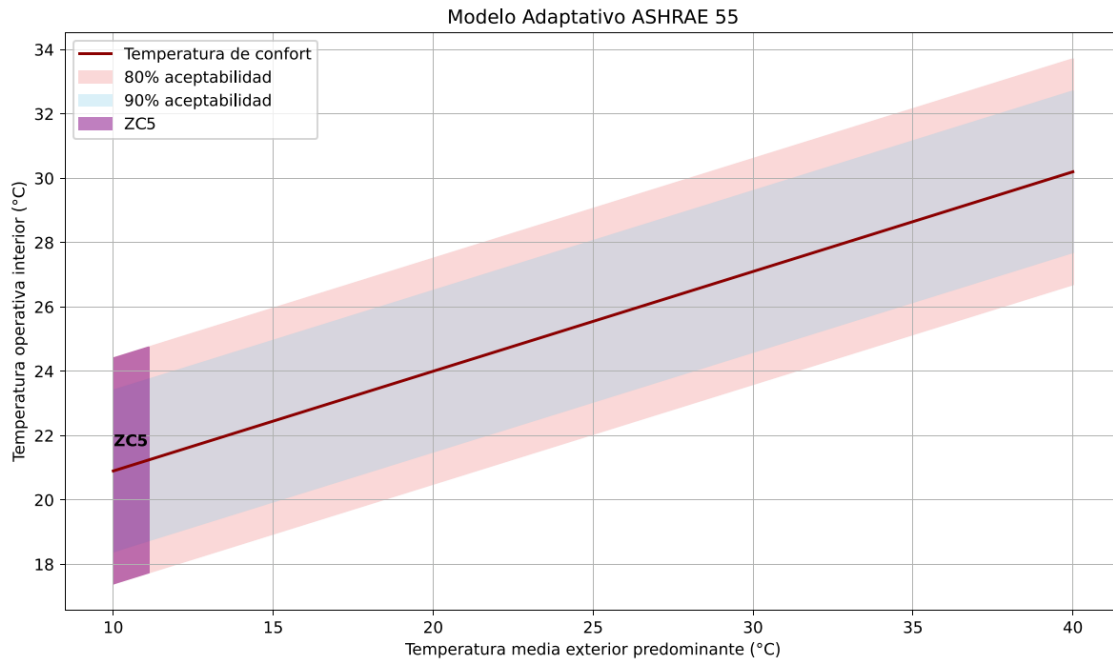


Figura 7: Zona de confort para ZC5

La Tabla 5 muestra los rangos de temperatura operativa de confort térmico para los espacios interiores de las edificaciones, se presentan valores para las diferentes zonas climáticas consideradas en el análisis. Se utilizan temperaturas mensuales medias (máxima y mínima) como temperatura media exterior predominante.

Tabla 5: Rangos de confort adaptativo ASHRAE 55 (80% de aceptabilidad)

ZC	Ciudad representativa	Temperatura exterior mensual media		Temperatura operativa mínima de confort (80% aceptabilidad)	Temperatura operativa máxima de confort (80% aceptabilidad)
		máx	min		
1	Guayaquil	máx	27,2	23	30
		min	24,0	22	29
2	Puyo	máx	21,9	21	28
		min	20,3	21	28
3	Quito	máx	13,9	19	26
		min.	12,9	18	25
4	Ambato	máx	11,9	18	25
		min.	10,0	17	24
5	Tulcán	Máx	11,1	18	25
		min.	10,0	17	24

3.2. Demanda térmica, horas de confort y emisiones

A continuación, se muestran los resultados de la línea base de desempeño para las cuatro tipologías considerando demanda térmica anual (KWh/m²/año), horas de confort (%) y emisiones de CO₂ (kgCO₂/m²/año). Las Tablas 6 – 10 presentan estos resultados para las diferentes zonas climáticas analizadas. La demanda térmica para las zonas climáticas cálidas y húmedas (ZC1 y ZC2) corresponde a enfriamiento de espacios; mientras que para las zonas frías (ZC3, ZC4, y ZC5) la demanda térmica corresponde a calefacción. Las horas de confort se presentan en términos de porcentaje de las horas totales del año (8760 Hr).

La Tabla 6 muestra los resultados de la línea base para la ZC1, de donde se seleccionó a Guayaquil como ciudad representativa. La mayor demanda térmica de enfriamiento de espacios se observa para la vivienda unifamiliar de interés social, esto está asociado a los materiales de construcción empelados y a la relación entre el área de ventana y el área de la pared (WWR). En cuanto a los resultados para el departamento en edificio multifamiliar se observa que mientras menos expuestas al exterior se encuentren las paredes, el desempeño térmico mejora. El departamento sin paredes adiabáticas muestra un caso extremo en donde todas las paredes tienen exposición con el exterior y por tanto mayores ganancias térmicas.

El análisis de las horas de confort revela una tendencia para los departamentos ubicados en edificios. En general presentan una menor cantidad de horas de confort térmico, asociado directamente con las ganancias térmicas a través de las ventanas. Para la Zona Climática 1 (ZC1), la tipología de departamento en edificio multifamiliar sin paredes adiabáticas exhibe un 8% más de horas de confort en comparación con aquellos que incorporan dos paredes adiabáticas. Este comportamiento sugiere que la presencia de paredes adiabáticas limita la transferencia de calor hacia el exterior durante las horas nocturnas, cuando las temperaturas ambientales son más favorables para la disipación térmica.

En cuanto a emisiones de CO₂ estas se encuentran de forma proporcional a la demanda térmica de enfriamiento de espacios, ya que a mayor demanda térmica se tiene un mayor consumo de electricidad y por tanto mayores emisiones.

Tabla 6: Demanda térmica, horas de confort y emisiones para ZC1

Tipología	Demanda térmica* (KWh/m ² -año)	Horas de confort (%)	Emisiones (kgCO ₂ /m ² -año)
Vivienda unifamiliar de una planta WWR=10%	332	63%	25
Departamento en edificio multifamiliar (sin paredes adiabáticas) WWR=25%	350	38%	27

Departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas) WWR=25%	255	31%	19
Vivienda unifamiliar de interés social WWR=20%	361	71%	28

*Para transformar la demanda térmica de climatización en consumo de energía es necesario aplicar un Índice de Eficiencia Energética igual a $EER = 3.2 \text{ W/W}$ asociado a equipos de climatización residenciales tipo split según la Regulación Ecuatoriana (RTE INEN 072 “Eficiencia Energética para Acondicionadores de Aire Sin Ducto”).

A manera de ejemplo, es posible estimar el consumo de energía a partir de la demanda térmica. Para ello es necesario aplicar un valor de eficiencia energética para equipos de climatización. La regulación ecuatoriana RTE INEN 072 “Eficiencia Energética para Acondicionadores de Aire Sin Ducto”, indica que todos los equipos de aire acondicionado tipo split de hasta 24,000 Btu/h que entren al mercado tienen que cumplir con un $EER=3.2 \text{ W/W}$. Empleando este índice, transformamos los valores de demanda térmica de la Tabla 6 en consumo de energía, dividiéndolos para el respectivo valor de EER del mercado local. Se observa que los valores de consumo de energía para las tipologías analizadas tienen una variación de demanda energética entre $80 \text{ kWh/m}^2\text{-año}$ y $112 \text{ kWh/m}^2\text{-año}$. Estos valores son muy similares a los reportados en la literatura para estudios similares. La literatura¹² muestra que los valores de consumo energético asociado al enfriamiento de espacios para la ZC1 varían entre $114 \text{ kWh/m}^2\text{-año}$ y $173.5 \text{ kWh/m}^2\text{-año}$.

La Tabla 7 muestra los resultados de la línea base para la ZC2, de donde se seleccionó a El Puyo como ciudad representativa. La demanda térmica de enfriamiento de espacios se reduce en comparación a los resultados de la ZC1, esto se debe a que El Puyo tiene menores temperaturas exteriores y por consiguiente las tipologías muestran un mejor desempeño energético. En cuanto a horas de confort se observa que los departamentos en edificio presentan menor cantidad de horas de confort esto está asociado a las ganancias térmicas por las ventanas. En cuanto a emisiones de CO_2 estas se encuentran de forma proporcional a la demanda térmica de enfriamiento de espacios, ya que a mayor demanda térmica se tiene un mayor consumo de electricidad y por tanto mayores emisiones.

¹² Jose Macias, Lissette Iturburu, Carlos Rodriguez, Duzgun Agdas, Andrea Boero, Guillermo Soriano, Embodied and operational energy assessment of different construction methods employed on social interest dwellings in Ecuador, Energy and Buildings, Volume 151, 2017, Pages 107-120, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.06.016>.

Tabla 7: Demanda térmica, horas de confort y emisiones para ZC2

Tipología	Demanda térmica* (KWh/m ² -año)	Horas de confort (%)	Emisiones (kgCO ₂ /m ² -año)
Vivienda unifamiliar de una planta WWR=10%	182	58%	14
Departamento en edificio multifamiliar (sin paredes adiabáticas) WWR=25%	170	54%	13
Departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas) WWR=25%	105	64%	8
Vivienda unifamiliar de interés social WWR=20%	103	67%	8
*Para transformar la demanda térmica de climatización en consumo de energía es necesario aplicar un Índice de Eficiencia Energética igual a EER = 3.2 W/W asociado a equipos de climatización residenciales tipo split según la Regulación Ecuatoriana (RTE INEN 072 "Eficiencia Energética para Acondicionadores de Aire Sin Ducto").			

La Tabla 8 muestra los resultados de la línea base para la ZC3, de donde se seleccionó a Quito como ciudad representativa. La mayor demanda térmica de calefacción se observa para la vivienda unifamiliar de una planta. Esta diferencia está asociada a los valores de transmitancia térmica en el techo, para el caso de la vivienda unifamiliar de una planta este valor corresponde a Valor-U = 3,69 W/m²-K, mientras que para la Vivienda unifamiliar de interés social tiene un valor de Valor-U = 0,74 W/m²-K. Para esta zona climática tener un mayor aislamiento en techos reduce las pérdidas de calor y por tanto mejora su desempeño térmico. En cuanto a los resultados para el departamento en edificio multifamiliar se observa que mientras menos expuestas al exterior se encuentren las paredes, el desempeño térmico mejora. El departamento sin paredes adiabáticas muestra un caso extremo en donde todas las paredes tienen exposición con el exterior y por tanto mayores pérdidas de calor. En cuanto a horas de confort se observa que los departamentos en edificio presentan una mayor cantidad de horas de confort esto está asociado a menores pérdidas de calor por la envolvente. En cuanto a emisiones de CO₂ estas se encuentran de forma proporcional a la demanda térmica de calefacción de espacios, ya que a mayor demanda térmica se tiene un mayor consumo de electricidad y por tanto mayores emisiones.

Tabla 8: Demanda térmica, horas de confort y emisiones para ZC3

Tipología	Demanda térmica* (KWh/m ² -año)	Horas de confort (%)	Emisiones (kgCO ₂ /m ² -año)
Vivienda unifamiliar de una planta WWR=10%	192	32%	47
Departamento en edificio multifamiliar (sin paredes adiabáticas) WWR=25%	104	45%	26
Departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas) WWR=25%	56	66%	14
Vivienda unifamiliar de interés social WWR=20%	97	21%	24

*Para transformar la demanda térmica de calefacción en consumo eléctrico se consideran calentadores con resistencias eléctricas.

La Tabla 9 muestra los resultados de la línea base para la ZC4, de donde se seleccionó a Ambato como ciudad representativa. Se observa que la demanda térmica de calefacción es mayor que en la ZC3, esto debido a que las temperaturas medias exteriores son menores que las temperaturas de la ZC3. En cuanto a horas de confort y emisiones se presentan tendencias similares a las reportadas para la ZC3.

Tabla 9: Demanda térmica, horas de confort y emisiones para ZC4

Tipología	Demanda térmica* (KWh/m ² -año)	Horas de confort (%)	Emisiones (kgCO ₂ /m ² -año)
Vivienda unifamiliar de una planta WWR=10%	243	30%	60
Departamento en edificio multifamiliar (sin paredes adiabáticas) WWR=25%	88	46%	22
Departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas) WWR=25%	44	69%	11

Vivienda unifamiliar de interés social WWR=20%	97	19%	24
---	----	-----	----

*Para transformar la demanda térmica de calefacción en consumo eléctrico se consideran calentadores con resistencias eléctricas.

La Tabla 10 muestra los resultados de la línea base para la ZC5, de donde se seleccionó a Tulcán como ciudad representativa. Se observa que la demanda térmica de calefacción es mayor que para las ZC3 y ZC4, esto debido a que las temperaturas medias exteriores son menores. En cuanto a horas de confort y emisiones se presentan tendencias similares a las reportadas para la ZC3 y ZC4.

Tabla 10: Demanda térmica, horas de confort y emisiones para ZC5

Tipología	Demanda térmica* (KWh/m ² -año)	Horas de confort (%)	Emisiones (kgCO ₂ /m ² -año)
Vivienda unifamiliar de una planta WWR=10%	268	27%	66
Departamento en edificio multifamiliar (sin paredes adiabáticas) WWR=25%	104	45%	26
Departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas) WWR=25%	56	65%	14
Vivienda unifamiliar de interés social WWR=20%	111	18%	27

*Para transformar la demanda térmica de calefacción en consumo eléctrico se consideran calentadores con resistencias eléctricas.

4. Comparación de resultados entre caso BAU y caso NEC-HS-EE actualizada

A continuación, se presentan los resultados del impacto de la aplicación de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE en términos de reducción de demanda térmica de enfriamiento de espacios y de calefacción, incremento de horas de confort y mitigación de emisiones de CO₂.

La línea base de desempeño corresponde a los valores de referencia de una vivienda construida con las prácticas de construcción usuales en el mercado ecuatoriano, a estos casos se los denomina “Business-as-Usual” (BAU). La aplicación de la normativa constituye una mejora en el desempeño de las edificaciones, para cuantificar esta mejora es necesario realizar una evaluación del desempeño, a estos casos se los denomina como “Propuesta”.

4.1. Vivienda unifamiliar de una planta

a. Horas de Confort

A continuación, se presenta el porcentaje de horas al año dentro de la zona de confort para la vivienda unifamiliar de una planta. La Figura 8 y Figura 9 muestran los resultados para una vivienda cuya relación entre el área de las ventanas sobre el área de la pared (WWR) corresponde al 10% y 40%¹³ respectivamente. De forma general, se observa que el mayor incremento en horas de confort ocurre en zonas climáticas cálidas (ZC1 y ZC2), estas zonas climáticas son características de la Costa, Oriente y Región Insular del país. La ZC2 tiene una mejora aproximadamente del 40% respecto a la práctica común de construcción (BAU), esto al aplicar los valores prescriptivos de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE (Propuesta).

La Figura 8 muestra una mejora entre 21% y 39% para las zonas climáticas cálidas (ZC1 y ZC2). Para las zonas climáticas típicas de la Sierra (ZC3, ZC4 y ZC5) se tiene una mejora entre 16% y 28%, se observa que mientras más fría la zona climática se obtiene una mejora mayor.

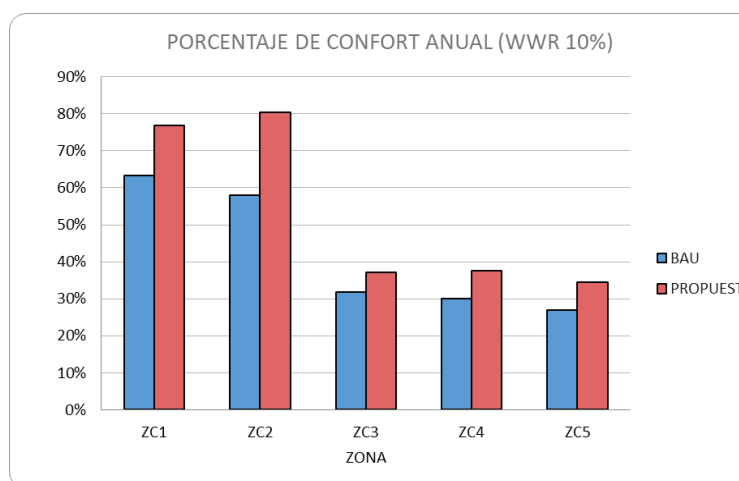


Figura 8: Porcentaje de confort para vivienda unifamiliar de una planta y razón de área ventana/pared del 10%

¹³ La relación del 40% corresponde al porcentaje máximo establecido en la actualización de la NEC-HS-EE para las exigencias prescriptivas (ver tabla 4).

La Figura 9 muestra una mejora entre 18% y 40% para las zonas climáticas cálidas (ZC1 y ZC2). Para las zonas climáticas más templadas y frías (ZC3, ZC4 y ZC5) se tiene un impacto menor, siendo la mejora entre 3% y 12%, al igual que en la Figura 8 se observa que mientras más fría la zona climática se obtiene una mejora mayor. Esta reducción del impacto está asociada a mayores pérdidas de calor por las ventas.

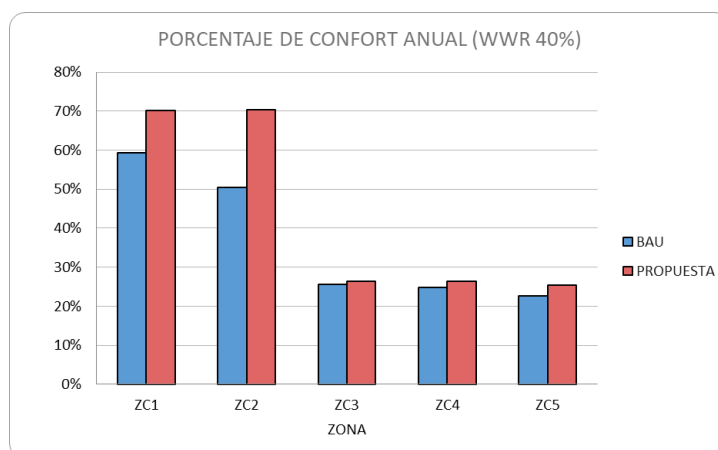


Figura 9: Porcentaje de confort para vivienda unifamiliar de una planta y WWR=40%

b. Demanda térmica

La Figura 10 y Figura 11 muestran los resultados para una vivienda cuya relación entre el área de las ventanas sobre el área de la pared corresponde al 10%, mientras que las Figuras 12 y 13 muestran los resultados cuando esta relación es del 40%¹⁴. La Figura 10 muestra que la demanda térmica de climatización se reduce entre 30% y 45% para las zonas climáticas 1 y 2 respectivamente (comparado con el caso BAU). Por otro lado, la demanda térmica de calefacción en climas típicos de la Sierra se reduce entre 25% y 41% para las zonas climáticas ZC3, ZC4 y ZC5. En promedio para zonas cálidas se tiene una reducción de demanda energética en climatización del 38%, mientras que en zonas templadas (ZC3, ZC4 y ZC5) se tiene en promedio una reducción del 35% en demanda energética de calefacción.

¹⁴ La relación del 40% corresponde al porcentaje máximo establecido en la actualización de la NEC-HS-EE para las exigencias prescriptivas (ver tabla 4).

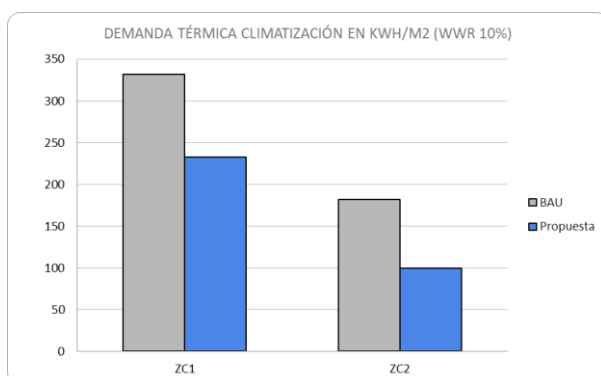


Figura 10: Demanda térmica de climatización por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 10%

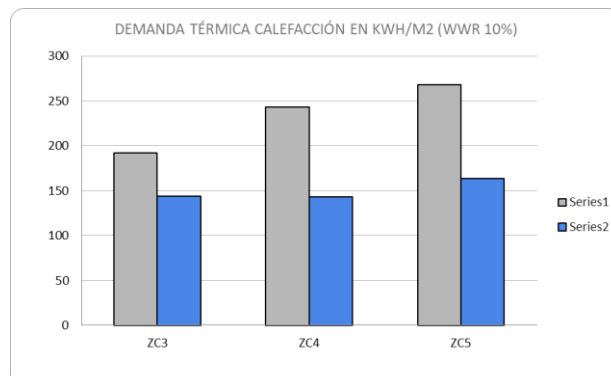


Figura 11: Demanda térmica de calefacción por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 10%

La Figura 12 y Figura 13 muestran mejoras porcentuales similares a las descritas para el caso con WWR 10%; sin embargo, en términos globales se tienen mayores reducciones de demanda energética, esto está asociado a un mayor consumo energético en sistemas de climatización y calefacción. En promedio para zonas cálidas se tiene una reducción de demanda energética en climatización del 35%, mientras que en zonas templadas (ZC3, ZC4 y ZC5) se tiene en promedio una reducción del 35% en demanda energética de calefacción.

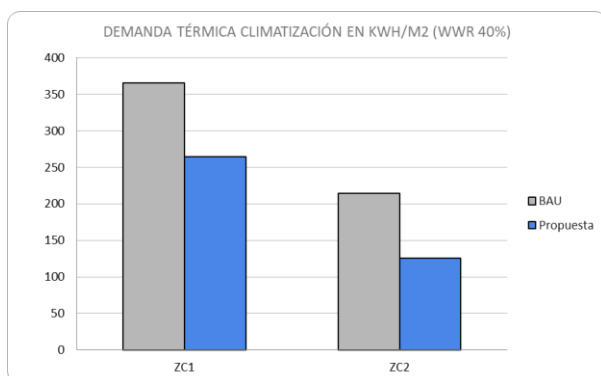


Figura 12: Demanda térmica de climatización por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 40%

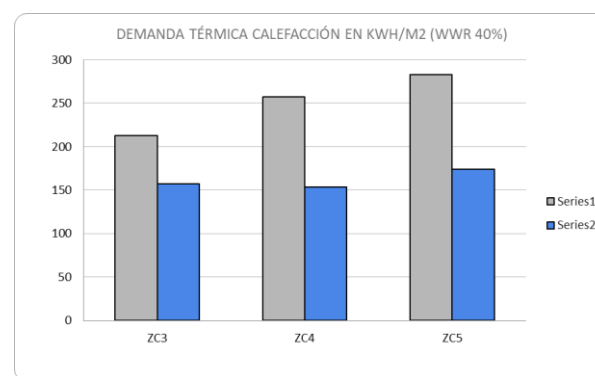


Figura 13: Demanda térmica de calefacción por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 40%

c. Mitigación de emisiones

La Tabla 11 presenta la mitigación de emisiones en sistemas de climatización empleados en climas cálidos, siendo la ZC1 la de mayor potencial de reducción. El caso con WWR 40% muestra un impacto mayor en mitigación de emisiones debido a la presencia de una mayor demanda térmica de climatización.

Tabla 11: Mitigación de emisiones en climatización (kgCO_2/m^2)

Zonas Climáticas	WWR 10%	WWR 40%
ZC1	10.0	10.2
ZC2	8.3	9.0

La Tabla 12 presenta la mitigación de emisiones en sistemas de calefacción empleados en climas templados y fríos. El caso con WWR 40% muestra un impacto mayor en mitigación de emisiones debido a la presencia de una mayor demanda térmica de calefacción.

Tabla 12: Mitigación de emisiones en calefacción (kgCO_2/m^2)

Zonas Climáticas	WWR 10%	WWR 40%
ZC3	15,5	18,2
ZC4	32,	33,7
ZC5	34,2	35,7

4.2. Departamento en edificio multifamiliar

Los resultados presentados a continuación muestran que para proyectos con bajo WWR, la mejora asociada con la aplicación de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE es pequeña; sin embargo, esta mejora se incrementa considerablemente cuando aumenta el WWR. En la Tabla 13 se muestran ejemplos del porcentaje de ventana respecto a la fachada frontal de la edificación de algunas tipologías de vivienda en Guayaquil. En edificaciones en altura, generalmente esta relación es más alta que en viviendas unifamiliares de una y dos plantas.

Tabla 13. Relación de Muro-Ventana (WWR Window-to-Wall Ratio) de algunas tipologías de vivienda en Guayaquil.



a. Horas de Confort

A continuación, se presenta el porcentaje de horas al año dentro de la zona de confort para un departamento en edificio multifamiliar. La Figura 14 y Figura 15 muestran los resultados para un departamento cuya relación entre el área de las ventanas sobre el área de la pared (WWR) corresponde al 25% y 40%¹⁵ respectivamente. Para esta tipología se elige un WWR de 25% para representar la práctica común de construcción para este tipo de vivienda y debido a que la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE considera como un WWR 25% para dividir la prescripción en el Valor U máximo (W/m²-K) para ventanas. De forma general, se observa que el mayor incremento en horas de confort ocurre en zonas climáticas cálidas (ZC1 y ZC2), estas zonas climáticas son características de la Costa, Oriente y Región Insular del país. La ZC1 tiene una mejora aproximadamente del 29% respecto a la práctica común de construcción (BAU), esto al aplicar los valores prescriptivos de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE (Propuesta).

La Figura 14 muestra una mejora entre 21% y 28% para las zonas climáticas cálidas (ZC1 y ZC2). Para las zonas climáticas típicas de la Sierra (ZC3, ZC4 y ZC5) se tiene en promedio una mejora del 4%.

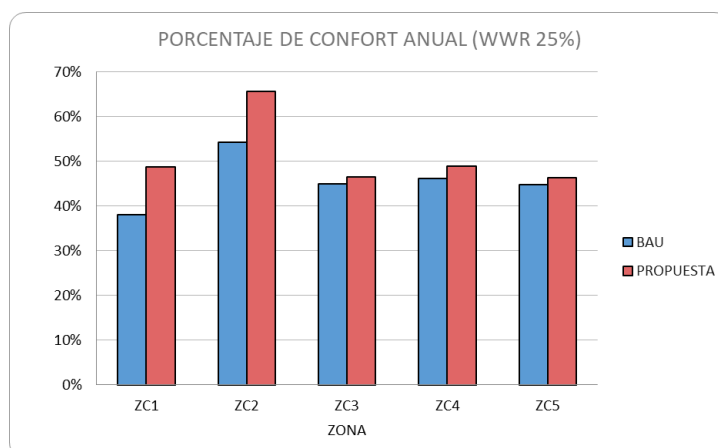


Figura 14: Porcentaje de confort para un departamento en edificio multifamiliar y razón de área ventana/pared del 25%

La Figura 15 muestra una mejora entre 25% y 30% para las zonas climáticas cálidas (ZC1 y ZC2). Para las zonas climáticas más templadas y frías (ZC3, ZC4 y ZC5) se tiene un impacto menor, siendo la mejora un 17% en promedio.

¹⁵ La relación del 40% corresponde al porcentaje máximo establecido en la actualización de la NEC-HS-EE para las exigencias prescriptivas (ver tabla 4).

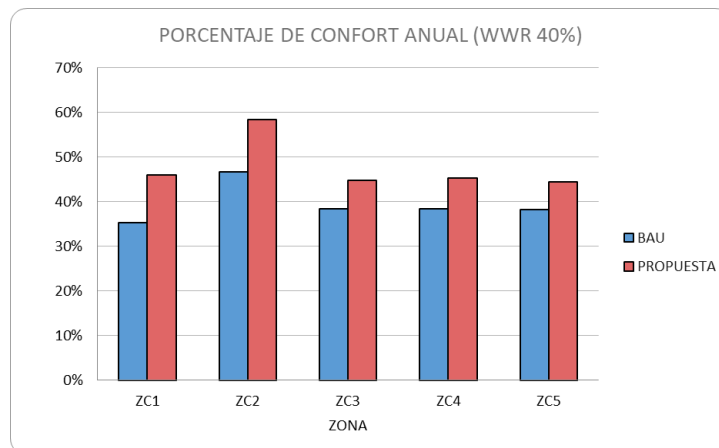


Figura 15: Porcentaje de confort para un departamento en edificio multifamiliar y razón de área ventana/pared del 40%

b. Demanda térmica

Dado que los valores prescriptivos de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE están dados para los elementos de la envolvente, la cuantificación de su impacto en demanda energética está asociada a climatización y calefacción (cuantifica en KWH/m² de área de construcción). La Figura 16 y Figura 17 muestran los resultados para una vivienda cuya relación entre el área de las ventanas sobre el área de la pared corresponde al 25%, mientras que la Figura 18 y Figura 19 muestran los resultados cuando esta relación es del 40%.

La Figura 16 muestra que la demanda térmica de climatización se reduce entre 18% y 35% para las zonas climáticas 1 y 2 respectivamente (comparado con el caso BAU). Por otro lado, la Figura 17 muestra que para climas templados de la Sierra (ZC3, ZC4 y ZC5) la demanda térmica de calefacción no presenta una mejora significativa cuando se tienen WWR por debajo de 25%.

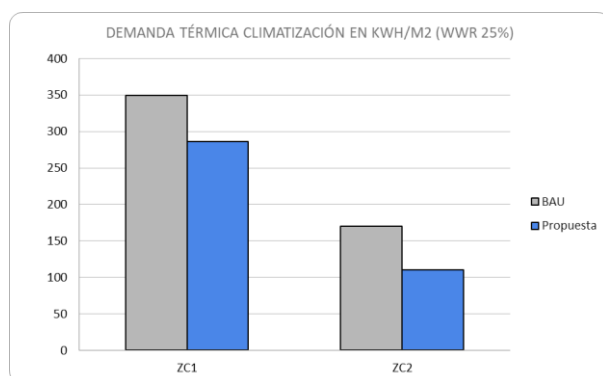


Figura 16: Demanda térmica de climatización por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 25%

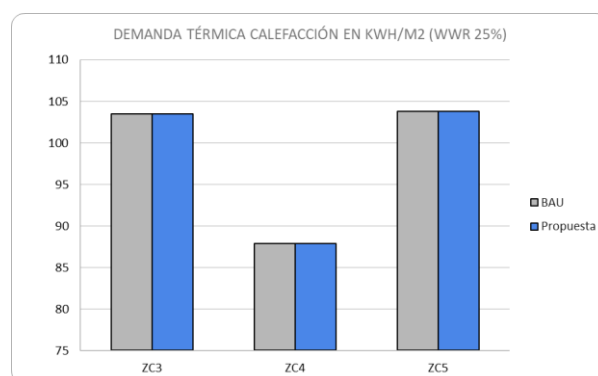


Figura 17: Demanda térmica de calefacción por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 25%

La Figura 18 muestra que la demanda térmica de climatización se reduce entre 22% y 40% para las ZC1 y ZC2 respectivamente (comparado con el caso BAU). Por otro lado, la Figura 19 muestra que para climas templados de la Sierra (ZC3, ZC4 y ZC5) la demanda térmica de calefacción se reduce en promedio un 21% cuando se tiene un WWR de 40%.

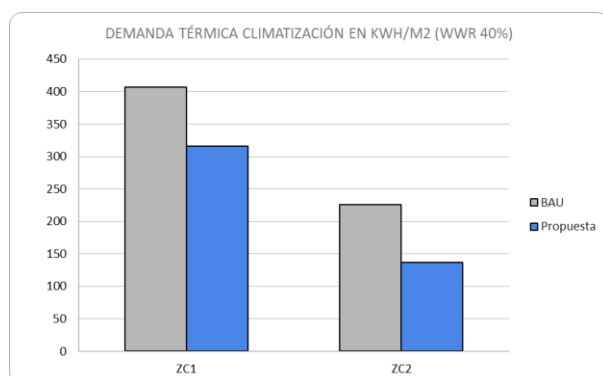


Figura 18: Demanda térmica de climatización por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 40%

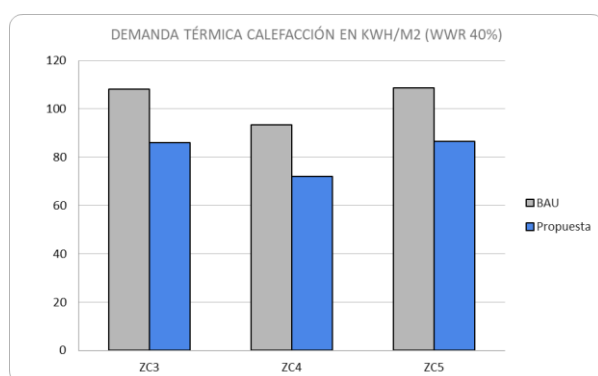


Figura 19: Demanda térmica de calefacción por m² de construcción y razón de área ventana/pared del 40%

c. Mitigación de emisiones

La Tabla 14 presenta la mitigación de emisiones en sistemas de climatización empleados en climas cálidos, siendo la ZC1 la de mayor potencial de reducción. El caso con WWR 40% muestra un impacto mayor en mitigación de emisiones debido a la presencia de una mayor demanda térmica de climatización.

Tabla 14: Mitigación de emisiones en climatización (kgCO_2/m^2)

Zonas Climáticas	WWR 25%	WWR 40%
ZC1	4,8	6,9
ZC2	4,6	6,8

La Tabla 15 presenta la mitigación de emisiones en sistemas de calefacción empleados en climas templados (ZC3, ZC4 y ZC5). El caso con WWR 40% muestra en general un impacto mayor en mitigación de emisiones debido a la presencia de una mayor demanda térmica de calefacción.

Tabla 15: Mitigación de emisiones en calefacción (kgCO_2/m^2)

Zonas Climáticas	WWR 25%	WWR 40%
ZC3	-	5,5
ZC4	-	5,3
ZC5	-	5,4

4.3. Vivienda unifamiliar de interés social

A continuación, se presenta una evaluación de cumplimiento de la Tipología de Vivienda de Interés Social – 1A propuesta por el MIDUVI, usando el método prescriptivo de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE. Se proponen mejoras para alcanzar el cumplimiento de los valores prescriptivos propuestos y se cuantifican las mejoras en términos de horas de confort y demanda térmica de climatización. Se asume que la construcción estará situada en una ZC1.

a. Evaluación de cumplimiento

A continuación, se presenta la evaluación de cumplimiento para los elementos de la envolvente de la vivienda propuesta, en caso de no cumplir con los valores prescriptivos de la actualización de la NEC-HS-EE se plantean mejoras.

Cubierta

Para la cubierta se evalúa la transmitancia térmica (Valor U en $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$) e índice de reflectancia solar (SRI). La Figura 20 muestra el cálculo del valor U para un panel tipo sánduche con poliuretano (PUR) de 40mm. En este caso, el material considerado no cumple con el requerimiento de la actualización de la NEC-HS-EE; por tanto, se sugiere

incrementar el aislamiento a 50 mm como lo muestra la Figura 21. Para el caso del SRI se recomienda usar colores claros en la cubierta (ver Figura 22).

Panel tipo sánduche 40mm

Capas	Espesor [m]	Conductividad [W/mK]	R = e / λ
Rce			0.040
Panel PUR 40mm	0.040	0.022	1.818
Rsi			0.100
Valor R Total			1.96
Valor U [W/m2K]			0.51



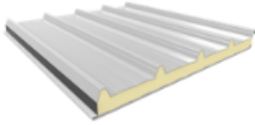
Zona Climática	Valor U Máx. (W/m²-K)
ZC1	0.44
ZC2	0.50
ZC3	0.79
ZC4	0.79
ZC5	0.79
ZC6	0.79

NO CUMPLE (Zonas ZC1 y ZC2)

SI CUMPLE (Zonas ZC3, ZC4, ZC5 y ZC6)

Figura 20: Evaluación de cumplimiento para el Valor U de la cubierta

Panel tipo sánduche 50mm



Empresas	Aislante	Valor U [W/m2K]
EMPRESA 1	Panel PUR/PIR 30mm	0.733
	Panel PUR/PIR 40mm	0.550
	Panel PUR/PIR 50mm	0.440
	Panel PUR/PIR 60mm	0.370
	Panel PUR/PIR 70mm	0.314
	Panel PUR/PIR 80mm	0.280
	Panel PUR/PIR 90mm	0.240
	Panel PUR/PIR 100mm	0.220

Zona Climática	Valor U Máx. (W/m²-K)
ZC1	0.44
ZC2	0.50
ZC3	0.79
ZC4	0.79
ZC5	0.79
ZC6	0.79

Figura 21: Propuesta de mejora para la cubierta

MATERIAL	COLOR	Índice de Reflectancia Solar (SRI)
Acero galvanizado sin acabado	-	37
Acero galvanizado con acabado prepintado	Blanco	85
	Beige	75
	Negro	0
	Rojo	36
	Lacre	34
	Azul marino	15
	Café claro	40
Verde	44	

NO CUMPLE (Negro, Rojo, Lacre, Azul marino)

Zona Climática	SRI Mín.
ZC1	32
ZC2	32
ZC3	-
ZC4	-
ZC5	-
ZC6	-

Figura 22: Evaluación de cumplimiento para el SRI de la cubierta

Paredes

Para las paredes se evalúa la transmitancia térmica (Valor U en W/m^2K). La Figura 23 muestra el cálculo del valor U para la pared de hormigón considerada en el proyecto. En este caso, el material considerado no cumple con el requerimiento de la actualización de la NEC-HS-EE; por tanto, se sugiere usar paredes construidas con bloques huecos de hormigón de 15cm como se muestra en la Figura 24.

Hormigón armado e=80mm, Acabado empaste y pintura

Capas	Espesor	Conductividad	R= e / λ
Resistencia si			0.130
Pintura elastomérica	0.00015	0.100	0.002
Empaste	0.001	0.170	0.006
Hormigón (2200-2400kg/m ³)	0.080	1.800	0.044
Empaste	0.001	0.170	0.006
Pintura elastomérica	0.00015	0.100	0.002
Resistencia se			0.040
		Valor R Total	0.229
		Valor U [W/m²K]	4.363

NO CUMPLE

Zona Climática	Valor U Máx. (W/m ² -K)
ZC1	2.55
ZC2	2.55
ZC3	2.55
ZC4	2.55
ZC5	2.55
ZC6	0.40

Figura 23: Evaluación de cumplimiento para el Valor U de las paredes

Bloque 15cm

Capas	Espesor	Conductividad	R= e / λ
Resistencia si			0.130
Mortero cemento para enlucido	0.010	1.000	0.010
Bloque de hormigón 15	0.150	0.635	0.236
Mortero cemento para enlucido	0.010	1.000	0.010
Resistencia se			0.040
		Valor R Total	0.426
		Valor U [W/m²K]	2.346



SI CUMPLE

Zona Climática	Valor U Máx. (W/m ² -K)
ZC1	2.55
ZC2	2.55
ZC3	2.55
ZC4	2.55
ZC5	2.55
ZC6	0.40

Figura 24: Propuesta de mejora para las paredes

Pisos

Para los pisos en contacto con el terreno se evalúa la transmitancia térmica (Valor U en W/m^2K). La Figura 25 muestra el cálculo del valor U para el piso de hormigón considerado en el proyecto. En este caso, el material considerado si cumple con el requerimiento de la actualización de la NEC-HS-EE de las ZC1 y ZC2.

Hormigón e=80mm, Cerámica antideslizante e=20mm

Capas	Espesor [m]	Conductividad [W/mK]	R = e / λ
Rsi			0.170
Cerámica	0.010	1.300	0.008
Bondex	0.010	0.500	0.020
Hormigón (2200-2400kg/m3)	0.100	2.100	0.048
Rse			0.000
Valor R Total			0.245
Valor U [W/m2K]			4.076



SI CUMPLE

NO CUMPLE

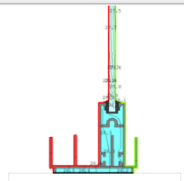
Zona Climática	Valor U Máx. (W/m^2-K)
ZC1	4.75
ZC2	4.75
ZC3	1.00
ZC4	1.00
ZC5	1.00
ZC6	0.32

Figura 25: Evaluación de cumplimiento para el Valor U de los pisos en contacto con el terreno

Ventanas

Para las ventanas se evalúa la transmitancia térmica (Valor U en W/m^2K) y el coeficiente de ganancia de calor solar (SGHC). La Figura 26 muestra una simulación de elementos finitos para estimar el valor U para una ventana típica con perfilera de aluminio y vidrio flotado de 6mm. La Figura 27 muestra valores típicos de SHGC para diferentes tipos de ventana, para el caso de la ventana considerada en el proyecto, no cumple con el requerimiento de la actualización de la NEC-HS-EE.

Perfilera aluminio, sistema corredizo, Vidrio e=6mm

MERCADO ACTUAL CONSTRUCCIÓN TIPO		Valor U (W/m^2-K)
Ventana corrediza Marco aluminio sistema "S200" Vidrio claro flotado e=6mm		5.80 - 5.40

SI CUMPLE

WWR: 0% - 25%

Zona Climática	Valor U Máx. (W/m^2-K)
ZC1	5.60
ZC2	5.60
ZC3	5.60
ZC4	5.60
ZC5	5.60
ZC6	1.99

Figura 26: Evaluación de cumplimiento para el Valor U de las ventanas

Perfilería aluminio, sistema corredizo, Vidrio e=6mm

MERCADO ACTUAL CONSTRUCCIÓN TIPO		SHGC	
Flotado Vidrio Claro e = 6mm		0.78	<p>NO CUMPLE</p> <p>Cumple: ZC3, ZC4, ZC5, ZC6.</p> <p>Cumple: ZC1, ZC2</p>
Lam. Reflectivo Gris + Claro - e = 10mm		0.54	
Lam. Reflectivo Verde oscuro + Claro - e = 10mm		0.36	
Lam. Verde oscuro + Low E - e = 10mm		0.34	
Cámara Azul/12/Low E - e = 10mm		0.35	

Zona Climática	SHGC Máx.
ZC1	0.40
ZC2	0.40
ZC3	0.60
ZC4	0.60
ZC5	0.60
ZC6	0.60

Figura 27: Evaluación de cumplimiento para el coeficiente de ganancia de calor solar (SGHC) de las ventanas

b. Impacto en demanda térmica y horas de confort

En esta sección se presentan los resultados de las simulaciones termo-energético de la tipología presentada por el MIDUVI y de la propuesta de mejorada. En la Tabla 16 se presenta un resumen de los materiales de construcción considerados en ambas simulaciones.

Tabla 16: Comparación de materiales de los elementos de la envolvente del Proyecto MIDUVI vs Propuesta Mejorada

Elemento de la envolvente	Proyecto MIDUVI	Propuesta Mejorada
Cubierta	Panel tipo sánduche 40mm	Panel tipo Sánduche 60mm + Tumbado
Paredes	Hormigón armado 80mm	Pared Bloque Hormigón 15 cm
Ventanas	Vidrio 6mm	Lam. Reflectivo Verde oscuro + Claro - e = 10mm
Pisos	Hormigón + cerámica e=100mm	Hormigón + cerámica e=100mm

Horas de confort

La Figura 28 y Figura 29 muestran el impacto en horas de confort, en total el porcentaje de horas de confort para el proyecto MIDUVI es de 57.4%, mientras que para la propuesta mejorada este porcentaje es de 65.1%.

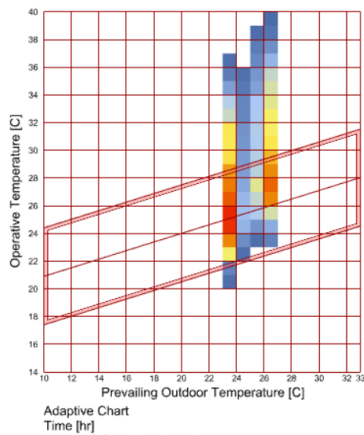


Figura 28: Horas dentro de la zona de confort adaptativo de la ASHRAE 55 para la tipología del MIDUVI analizada.

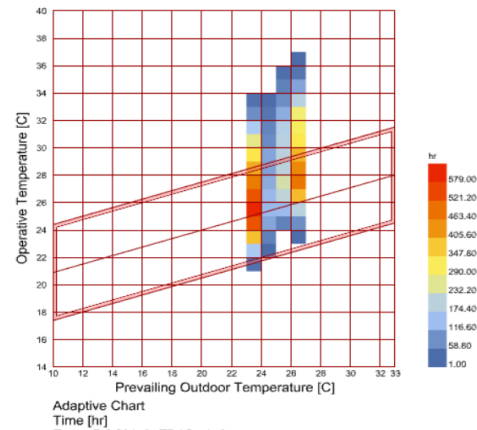
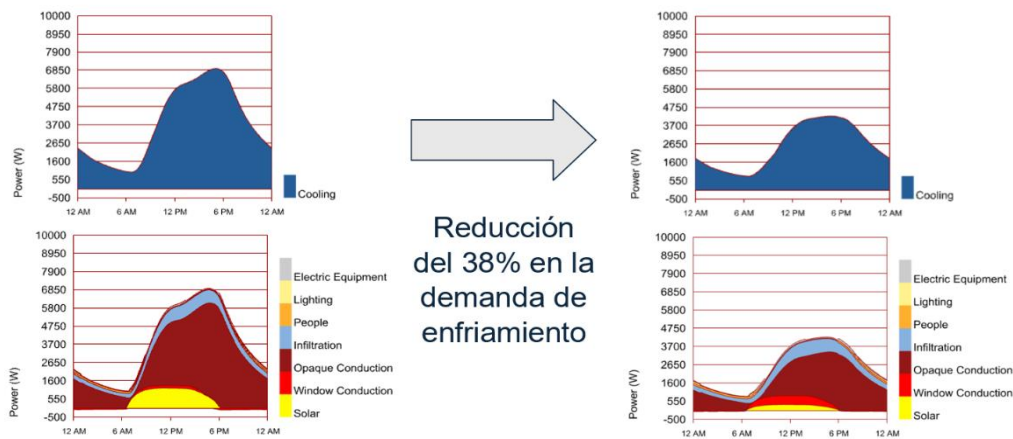


Figura 29: Horas dentro de la zona de confort adaptativo de la ASHRAE 55 considerando mejoras en los materiales de construcción.

Demanda térmica

En cuanto al impacto en la demanda de climatización, se puede observar una reducción considerable en la carga térmica de climatización, la cual corresponde a un 38% (ver Figura 30). Esta reducción proviene principalmente de la disminución de transferencia de calor hacia el interior a través de superficies opacas (techo y paredes).



Reducción
del 38% en la
demanda de
enfriamiento

Proyecto MIDUVI

Propuesta Mejorada

Figura 30: Impacto en la demanda energética de climatización

5. Análisis de desempeño con enfoque de inclusión

Existe una variedad de factores individuales que influyen en la percepción del confort térmico, incluyendo la edad y el género. Diversos estudios han explorado cómo estas características demográficas impactan en las preferencias térmicas de las personas. En general, la bibliografía sugiere que las personas mayores y las mujeres pueden experimentar el confort térmico de manera diferente en comparación con los jóvenes y los hombres, respectivamente. Estas diferencias tienen implicaciones importantes para el diseño de edificios, la configuración de los sistemas de climatización y el desarrollo de estándares de confort térmico inclusivos.

En relación con la edad, estudios como los levantados por Hwang y Chen (2010)¹⁶ en Taiwán, indican que las personas mayores tienden a presentar diferentes requisitos de confort térmico en comparación con los jóvenes¹⁷, por ejemplo, rangos de adaptabilidad más pequeños. El mismo estudio encontró que las temperaturas de neutralidad térmica para las personas mayores en entornos residenciales difieren de los reportados para personas más jóvenes. Concluyendo que las personas de mayor edad presentaron una menor tolerancia al frío en invierno y una preferencia por temperaturas ligeramente más cálidas en verano. Otro estudio, enfocado en las respuestas fisiológicas al confort térmico con incrementos de temperatura, también observó diferencias entre participantes jóvenes y mayores (Wu et al., 2023)¹⁸. Los estudios revelaron, por ejemplo, que las personas mayores son menos sensibles a los cambios graduales de calor a frío,

¹⁶ Hwang, R.-L., & Chen, C.-P. (2010). Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments. *Indoor Air*, 20(3), 235-245.

¹⁷ Hwang, R.-L., & Chen, C.-P. (2010). Field study on behaviors and adaptation of elderly people and their thermal comfort requirements in residential environments. *Indoor Air*, 20(3), 235-245.

¹⁸ Wu, Y., Zhang, Z., Liu, H., Li, B., Chen, B., Kosonen, R., & Jokisalo, J. (2023). Age differences in thermal comfort and physiological responses in thermal environments with temperature ramp. *Building and Environment*, 228, 109887.

o de frío a calor, en cortos periodos de tiempo; también se encontraron variaciones en la percepción del confort localizado para distintas zonas del cuerpo. Otro hallazgo que converge con otros estudios es que las poblaciones de mayor edad tienen preferencia por los entornos más cálidos. Estos resultados resaltan la importancia de considerar las necesidades térmicas específicas de la población de mayor edad.

Las estrategias de adaptación térmica también varían entre los grupos de edad. El estudio de Hwang y Chen (2010) reveló que la principal estrategia de adaptación para las personas mayores era abrir ventanas en verano y ajustar la vestimenta en invierno. Esto contrasta con las posibles estrategias de adaptación de los jóvenes, que pueden incluir el uso de ventiladores o aire acondicionado con mayor frecuencia. Además, la tolerancia a las temperaturas extremas puede ser menor en las personas mayores debido a cambios fisiológicos relacionados con la edad, como la disminución de la capacidad de termorregulación (Taylor et al., 1995; Tsuzuki & Ohfuku, 2002)¹⁹. Por lo tanto, proporcionar entornos térmicos estables y dentro de un rango confortable es crucial para el bienestar de este grupo de población.

En cuanto al género, Karjalainen (2011)²⁰ reportó diferencias en el confort térmico entre hombres y mujeres. A través de un meta-análisis encontró que las mujeres son más propensas a expresar insatisfacción térmica, especialmente en condiciones frías. Otro aporte de la investigación es que a través de los estudios revisados no se encontraron diferencias significativas en las temperaturas neutrales entre géneros. Sin embargo, las mujeres tienden a ser más sensibles a las desviaciones de la temperatura óptima y expresan más disconformidad Karjalainen (2011).

Otras investigaciones sobre entornos de oficina también señalan diferencias en la percepción del confort térmico debido al género de la población. Un estudio realizado por Maykot et al. (2018)²¹ en edificios de oficinas en Brasil encontró diferencias significativas para las temperaturas de confort entre hombres y mujeres. El estudio marcó una temperatura de confort de 24.0°C para las mujeres y 23.2°C para los hombres. De manera referencial el estudio sugiere que las mujeres pueden preferir temperaturas ligeramente más altas en estos entornos (alrededor de 0.8°C). De manera similar, un estudio en oficinas en India también observó el efecto del género en la percepción del confort térmico (Indraganti et al., 2015)²². Estas diferencias pueden estar

¹⁹ Taylor, N. A. S., Allsopp, N. K., & Parkes, D. G. (1995). Preferred room temperature of young vs aged males: the influence of thermal sensation, thermal comfort, and affect. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 50(4), M216-M221. Tsuzuki, K., & Ohfuku, T. (2002). Thermal sensation and thermoregulation in elderly compared to young people in Japanese winter season. In H. Level (Ed.), *Proceedings of Indoor Air 2002, Santa Cruz, CA, The 9th International Conference on Indoor Air Quality and Climate* (pp. 659-664).

²⁰ Karjalainen, S. (2011). Thermal comfort and gender: a literature review. *Indoor Air*, 22(2), 96-109.

²¹ Maykot, J. K., Rupp, R. F., & Ghisi, E. (2018). A field study about gender and thermal comfort temperatures in office buildings. *Energy & Buildings*, 178, 254-264.

²² Indraganti, M., Oookaa, R., & Rijal, H. B. (2015). Thermal comfort in offices in India: Behavioral adaptation and the effect of age and gender. *Energy and Buildings*, 103, 284-295.

relacionadas con factores fisiológicos, como las tasas metabólicas basales, que tienden a ser más bajas en las mujeres (Kingma & van Marken Lichtenbelt, 2015)²³.

Para abordar el enfoque de género y edad en los códigos de eficiencia energética en la construcción, como lo es la NEC-HS-EE, es crucial reconocer que los requisitos de confort térmico pueden variar significativamente entre estos grupos. Las recomendaciones deben incluir la promoción de diseños flexibles y zonificados que permitan a los ocupantes tener un mayor control sobre su entorno térmico local, considerando que las personas mayores pueden preferir temperaturas más cálidas y las mujeres tienden a expresar mayor sensibilidad al frío. Los códigos podrían fomentar la incorporación de sistemas de confort personalizables y la provisión de opciones de adaptación conductual, como ventanas operables y sistemas de ventilación ajustables. Además, se debería considerar la posibilidad de establecer rangos de temperatura aceptables más amplios o proporcionar directrices específicas para diferentes grupos de edad y género, basadas en la evidencia científica disponible, en lugar de un único estándar para todos. Finalmente, es importante fomentar la investigación continua y el ajuste en los diseños, para atender de mejor manera las necesidades térmicas específicas de estos grupos en diversos contextos climáticos, asegurando que los códigos de eficiencia energética sean inclusivos y promuevan el bienestar de todos los ocupantes.

6. Consideraciones finales

En este estudio se establece una línea base del desempeño de demanda térmica, de confort y de emisiones para cuatro tipologías de vivienda, estas tipologías corresponden a las prácticas comunes de construcción del país. Las tipologías analizadas son vivienda unifamiliar de una planta, departamento en edificio multifamiliar (sin paredes adiabáticas), departamento en edificio multifamiliar (con dos paredes adiabáticas) y vivienda unifamiliar de interés social.

Los resultados muestran que, para la ZC1, la tipología con la mayor demanda térmica de enfriamiento corresponde a la vivienda unifamiliar de interés social (361 kWh/m²/año). Para el resto de las zonas climáticas la tipología con menor desempeño térmico corresponde a la vivienda unifamiliar de una planta. En cuanto a las de horas de confort, los resultados muestran que, para la ZC1, las tipologías de departamento en edificio multifamiliar muestran el menor porcentaje de horas de confort (en promedio un 35% de horas de confort). Para el resto de las zonas climáticas, mientras más superficies de la envolvente se encuentren expuestas al exterior, se tendrá un menor porcentaje de horas de confort. En cuanto a emisiones se observa que mientras mayor la demanda térmica, se tienen mayores emisiones de CO₂.

Por otro lado, los resultados de la comparación entre caso BAU (prácticas comunes de construcción del país) y caso NEC-HS-EE actualizada, muestran que existe una mejora en cuanto al desempeño de las edificaciones aplicando los nuevos valores prescriptivos de

²³ Kingma, B., & van Marken Lichtenbelt, W. (2015). Energy consumption in buildings and female thermal demand. *Nature Climate Change*, 5(12), 1054-1056.

la actualización de la NEC-HS-EE. La propuesta de actualización de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-HS-EE) presenta un potencial de mejora en la eficiencia energética, el confort térmico y mitigación de emisiones en las diferentes tipologías de vivienda representativas del mercado residencial de Ecuador.

En el caso de la vivienda unifamiliar de una planta, la aplicación de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE tiene un potencial de mejora en el confort térmico desde un 3% para la zona climática tres, hasta un 40% para la zona climática dos, en comparación con las prácticas constructivas empleadas en el caso BAU (prácticas de construcción locales comunes). En las zonas climáticas cálidas se obtienen mayores incrementos de horas de confort al aplicar la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE. Asimismo, se evidencia una reducción sustancial en la demanda térmica de enfriamiento de espacios y de calefacción en comparación con el caso BAU. En promedio se reportan reducciones de demanda térmica de enfriamiento de espacios de hasta un 38% para las zonas climáticas cálidas y húmedas (ZC 1 y 2); y disminución de demanda térmica de calefacción del 35% en promedio para las zonas climática templadas y frías (ZC 3, ZC 4 y ZC 5).

Para los departamentos en edificios multifamiliares, el estudio revela que la mejora en el desempeño energético y de confort al aplicar la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE está influenciada principalmente por la relación ventana-pared (WWR) en paredes expuestas al exterior, dado que para estas tipologías el impacto de los elementos de pisos y techos es mínima. Si bien con bajos porcentajes de WWR la mejora es modesta, esta se incrementa considerablemente al aumentar la superficie acristalada. En general, las zonas cálidas experimentan los mayores beneficios en términos de horas de confort y reducción de la demanda de climatización.

En relación con la vivienda unifamiliar de interés social, el análisis de cumplimiento de un prototipo del MIDUVI frente a la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE identificó áreas de mejora en la envolvente para alcanzar los valores prescriptivos. Al implementar las mejoras sugeridas, como el incremento del aislamiento en la cubierta y el uso de bloques huecos de hormigón en las paredes, se logró un aumento en las horas de confort del 7.7% y una reducción notable en la demanda energética de climatización de aproximadamente 38%, lo que subraya la importancia de la normativa actualizada para garantizar estándares mínimos de eficiencia y confort incluso en viviendas de bajo costo.

La Figura A3 muestra que la demanda térmica de climatización se reduce entre 30% y 45% para las zonas climáticas 1 y 2 respectivamente (comparado con el caso BAU). Por otro lado, la demanda térmica de calefacción en climas típicos de la Sierra se reduce entre 25% y 41% para las zonas climáticas ZC3, ZC4 y ZC5. En promedio para zonas cálidas se tiene una reducción de demanda energética en climatización del 38%, mientras que en zonas templadas (ZC3, ZC4 y ZC5) se tiene en promedio una reducción del 35% en demanda energética de calefacción.

La reducción en demanda térmica se traduce directamente en una mitigación importante de las emisiones de CO₂ asociadas al uso de energía en estas viviendas. La

mitigación de emisiones para las tipologías de vivienda unifamiliar de una planta se encuentra en un rango de entre 8% y 36%. Mientras para departamentos en edificios multifamiliares la mitigación de emisiones se encuentra en un rango de entre 4,6% y 5,5%. Es importante destacar que, la normativa actualizada contribuye a la mitigación de emisiones.

Finalmente, el reporte incorpora un enfoque de inclusión al considerar las diferencias en la percepción del confort térmico basadas en la edad y el género. La bibliografía revisada sugiere que las personas mayores requieren rangos de temperaturas de confort más cortos. Así mismo, las investigaciones concluyen que las personas de mayor edad presentaron una menor tolerancia al frío y una preferencia por temperaturas ligeramente más cálidas. En términos de género, la bibliografía estudiada sugiere que las mujeres pueden preferir temperaturas de confort ligeramente más altas en estos entornos (alrededor de 0.8°C), lo que implica la necesidad de diseñar edificios y sistemas de climatización que permitan un mayor control individual sobre el entorno térmico. Se recomienda que a medio o largo plazo la NEC-HS-EE promueva la implementación de diseños más flexibles, zonificados y con opciones de adaptación conductual para asegurar el bienestar de todos los ocupantes, independientemente de su edad o género.

La implementación de la propuesta de actualización de la NEC-HS-EE representa un avance hacia la construcción de edificaciones más eficientes energéticamente, confortables y sostenibles en Ecuador, contribuyendo a la reducción del consumo de energía, la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero y la mejora de la calidad de vida de los habitantes.