



E3 Ingeniería
Estructuras y Eficiencia Energética

“Entregamos diseños estructuralmente estables, seguros y que maximizan el confort de los usuarios”

“Herramienta de cálculo de térmico como insumo para la comprobación de demanda energética para refrigeración Viviendas en Colombia”

Informe N°3

Tipo de Documento: Informe		Destinatario	
Código del Proyecto: P.2022.030.EE		Proyecto CEELA, mandante EBP Schweiz AG	
Versión: 02	Fecha: 26.05.2023		
Desarrollado			
E3 Ingeniería. Paola Valencia M. Matías Yachan V			

TABLA DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN	2
2	OBJETIVOS Y ALCANCE	3
2.1	Objetivo del proyecto	3
2.2	Objetivos específicos de la consultoría establecidos en las Bases de licitación.....	3
2.3	Alcance del Informe N°3.....	3
3	DESCRIPCIÓN HERRAMIENTA DE CÁLCULO	4
3.1	Introducción a herramienta basada en ISO 52.016: Cálculo mensual.....	4
3.2	Metodología de cálculo	4
3.3	Validación de resultados con casos ASHRAE 140	21
3.4	Análisis de sensibilidad herramienta ISO 52.016 calculo mensual.	23
3.5	Manual de uso “Herramienta de cálculo de térmico como insumo para la comprobación de demanda energética para refrigeración Viviendas en Colombia”.	24
4	HOJA DE RUTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EDIFICACIÓN COLOMBIA	25
4.1	Contexto	25
4.2	Propuesta de lineamientos generales para una Hoja de Ruta de Eficiencia Energética para Edificación Colombia	31
5	RESULTADO SOCIALIZACIÓN Y CAPACITACIÓN	39
5.1	Desarrollo Workshop - socialización.....	39
5.2	Propuestas de nuevas iniciativas levantadas en el workshop	41
5.3	Relación entre Propuesta de Lineamientos Hoja de Ruta con Propuestas realizadas en el Workshop.....	43
5.4	Capacitación online	43
6	CONCLUSIONES	45
7	GLOSARIO	47
8	ANEXO	50
8.1	Manual de uso “Herramienta de cálculo de térmico como insumo para la comprobación de demanda energética para refrigeración Viviendas en Colombia”	50
8.2	Presentación Workshop y Capacitación	50

1 INTRODUCCIÓN

El presente documento corresponde al informe N°3 del proyecto “Herramienta de cálculo de térmico como insumo para la comprobación de demanda energética para refrigeración Viviendas en Colombia”. Este proyecto se encuentra enmarcado en el programa “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina – CEELA” financiado por la Agencia de Cooperación del Gobierno Suizo (COSUDE) y ejecutado por el consorcio conformado por EBP, Carbon Trust y Efizity.

El objetivo global del proyecto CEELA es reducir las emisiones de CO₂ en el sector edificación de Latinoamérica y mejorar el confort térmico y la calidad de vida de los ocupantes, particularmente la población más vulnerable y en desventaja económica, gracias a un mejoramiento de las edificaciones.

A través del proyecto CEELA se 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.

El fin de este servicio es apoyar al el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) de Colombia, en proporcionar una herramienta de cálculo de evaluación energética para edificación residencial, que habilite en el futuro el desarrollo de un instrumento de etiquetado energético de edificación y procesos regulatorios.

2 OBJETIVOS Y ALCANCE

2.1 Objetivo del proyecto

Apoyar al el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio y la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME) de Colombia, en proporcionar una herramienta de cálculo de evaluación energética para edificación residencial, que permita determinar valores de transmitancia térmica de los elementos constructivos y estimar la demanda energética de estas edificaciones y que pueda ser utilizada por actores públicos y privados.

2.2 Objetivos específicos de la consultoría establecidos en las Bases de licitación

- **Estudio de demanda energética en edificaciones residenciales en Colombia:**

A través de un estudio paramétrico realizado mediante herramienta dinámica de cálculo, el equipo consultor deberá identificar la demanda energética de 3 tipos de edificaciones residenciales en los cuatro climas definidos en la Res 0549 de 2015, o en el manual de aplicación de esta.

- **Desarrollo de herramienta básica de cálculo de demanda térmica:**

Corresponde al desarrollo de una herramienta de cálculo de demanda térmica en base a una herramienta que determine la demanda térmica en base a cálculos de transferencia de calor de una vivienda para las 4 zonas climáticas de Colombia. Se deberá incluir un módulo de cálculo de transmitancia de soluciones constructivas.

- **Instrucciones de uso de herramienta de cálculo: Manual de uso**

Un documento técnico complementario a la herramienta de cálculo que facilite su uso mediante instrucciones paso a paso y la presentación de metodología de cálculo de esta. Se debe incluir la explicación de obtención de cada uno de los valores a ingresar a la herramienta y de cada dato que entrega como resultado.

Para el desarrollo de los productos indicados, el equipo consultor contará con información provista por la contraparte. En el caso que la información base no se encuentre disponible, el equipo consultor podrá proponer una metodología, que será validada con el equipo del proyecto CEELA.

2.3 Alcance del Informe N°3

- Descripción de Herramienta de Cálculo
- Propuesta Lineamientos Hoja de Ruta de Eficiencia Energética para Edificación Colombia
- Resultado de la socialización y capacitación.

3 DESCRIPCIÓN HERRAMIENTA DE CÁLCULO

3.1 Introducción a herramienta basada en ISO 52.016: Cálculo mensual

A continuación, se describe las características de la herramienta de cálculo de desempeño energético desarrollada para la presente consultoría.

Lo primero que se destaca es que la metodología de cálculo de la Herramienta está basada en la norma ISO 52.016: “Energy performance of buildings — Energy needs for heating and cooling, internal temperatures and sensible and latent heat loads — Part 1: Calculation procedures”. Esta norma propone una metodología para interrelacionar flujos calóricos, es decir que se calculan en un mismo instante de tiempo todos los flujos de un balance térmico y también utiliza diferentes estándares internacionales como referencia en lo que respecta a la definición de perfiles de uso o condiciones de ocupación. Particularmente en lo referente a la ISO 52.016 se utilizaron los procedimientos de cálculo, pero las condiciones de borde asociadas a ocupación fueron adecuadas en base a lo indicado en el capítulo 4 del informe 1, de tal manera de representar de mejor manera la realidad de Colombia.

Se destaca que, para la presente consultoría, la herramienta de cálculo basada en ISO 52.016 fue diseñada en base a la metodología de cálculo mensual, y solo se consideró el cálculo de la demanda para refrigeración debido a los antecedentes entregados y las condiciones climáticas de Colombia.

Esta herramienta realiza cálculos en viviendas analizadas de manera individual y como monozona (toda la vivienda se considera un único recinto de análisis), obteniéndose los siguientes resultados o indicadores:

- Demanda [kWh] en refrigeración
- Demanda [kWh] en deshumidificación
- Consumo [kWh] en refrigeración
- Consumo [kWh] para ACS Agua Caliente Sanitaria

En vista de ello, a continuación, se detalla la metodología de cálculo de la norma ISO 52.016 bajo los términos recién explicados la cual se basa en el cálculo del flujo de calor entre un recinto cerrado climatizado y el exterior u otros recintos cerrados no acondicionados. Para efectos de esta consultoría dicho recinto cerrado corresponde a una vivienda, por tanto, dependiendo de su tipología, su envolvente térmica, al igual que su perfil de uso y su ubicación geográfica son variables que son consideradas por este cálculo. Dicho lo anterior, esta metodología de cálculo es aplicable para cualquier tipo de vivienda siempre y cuando se posea la información acerca de las variables antes mencionadas.

Ahora bien, desde un punto de vista simplificado la metodología de cálculo aborda cuatro formas en las que la vivienda recibe o pierde calor. De estos cuatro flujos, dos dependen de la diferencia de temperatura que exista entre el interior del recinto y el exterior o recinto con el que esté en contacto directo. Estos flujos corresponden al flujo por conducción y convección. Estos flujos pueden ser bidireccionales, ya que el recinto puede ganar calor o perder calor. Los dos flujos restantes corresponden a ganancia solar y las ganancias internas.

3.2 Metodología de cálculo

Como fue mencionado en el capítulo anterior, con el objetivo de simplificar la explicación del cálculo que se ocupa en ISO 52.016, es posible separar los flujos de calor en dos categorías. En primer lugar, se tienen los flujos bidireccionales, los cuales corresponden a los flujos por conducción y convección. En segundo lugar, se tienen los flujos que siempre sumarán calor al recinto, los cuales corresponden al flujo de radiación solar y al flujo de cargas internas.

3.2.1 Marco normativo para el desarrollo de la herramienta de cálculo

Para el cálculo energético descrito en la metodología de la norma ISO 52.016 es posible diferenciar dos tipos de condiciones, condiciones variables y condiciones estandarizadas. Con respecto a las primeras, estas se relacionan directamente con las características arquitectónicas de la edificación. En cambio, las condiciones fijas se asocian a parámetros estandarizados, los cuales se seleccionan una vez se ingresan las condiciones variables y corresponden principalmente a parámetros de uso de la vivienda y a valores climáticos del lugar de emplazamiento. Cabe señalar que las condiciones fijas se encuentran estandarizadas en otras normas ISO relacionadas con la norma ISO 52.016 y la gran mayoría se pueden utilizar de manera directa, sin embargo, la adaptación nacional de algunas de ellas es fundamental para un correcto análisis por desempeño de una edificación.

Ahora bien, el cálculo de la demanda energética descrito en la metodología de la ISO 52.016 se compone de una serie de cálculos específicos relacionados con diversos mecanismos de transferencia de calor a los cuales está expuesta la edificación, sin embargo, en última instancia todos los cálculos se basan en las condiciones particulares que ingresará el usuario, por tanto, es importante que este cuente con la información planimétrica necesaria que le permita definir tales condiciones, las cuales se limitan exclusivamente a parámetros arquitectónicos que corresponden principalmente a superficies de elementos opacos y traslucidos organizados por orientación.

Por otra parte, las condiciones estandarizadas se encargan, en primer lugar, de definir las propiedades térmicas de los materiales utilizados para la construcción de la vivienda. En segundo lugar, definen las condiciones referentes al uso de la vivienda, tales como flujos de ventilación e infiltraciones, densidad de ocupantes y perfil semanal de uso de la vivienda. Por último, definen también variables asociadas al clima del lugar donde se ubicará el proyecto, por ejemplo, perfiles de temperatura, humedad relativa, radiación directa y radiación difusa. Finalmente, cabe mencionar que estas condiciones también dependen del usuario y las condiciones que este ingrese, sin embargo, al estar estandarizadas se simplifica su elección y minimiza la variabilidad.

3.2.2 Flujos ISO 52.016 método mensual

A continuación, se presenta el flujo principal de la ISO 52.016 para el cálculo de la demanda mensual para refrigeración:

Ecuación 3.1: Demanda anual de refrigeración

$$Q_{C;nd;ztc;an} = \sum_{m=1}^{12} Q_{C;nd;ztc;m}$$

Donde:

$Q_{C;nd;ztc;m}$ es la demanda mensual para refrigeración, para la zona climatizada ztc y el mes m , en [kWh].

Ecuación 3.2: Demanda mensual de refrigeración

$$Q_{C;nd;ztc;m} = a_{C;red;ztc;m} (Q_{C;gn;ztc;m} - \eta_{C;ht;ztc;m} \times Q_{C;ht;ztc;m})$$

Donde:

$Q_{C;ht;ztc;m}$ es la transferencia de calor total para refrigeración, en [kWh].

$\eta_{C;ht;ztc;m}$ es el factor adimensional de utilización de transferencia de calor.

$Q_{C;gn;ztc;m}$ es la ganancia total de calor para refrigeración, en [kWh].

$a_{C;red;ztc;m}$ es el factor de reducción adimensional para la refrigeración intermitente.

Ecuación 3.3: Transferencia de calor total

$$Q_{C;ht;ztc;m} = Q_{C;tr;ztc;m} + Q_{C;ve;ztc;m}$$

Donde:

$Q_{C;tr;ztc;m}$ es la transferencia de calor total por conducción para refrigeración, en [kWh].

$Q_{C;ve;ztc;m}$ es la transferencia total de calor por convección para refrigeración, en [kWh].

Ecuación 3.4 Ganancia de calor total

$$Q_{C;gn;ztc;m} = Q_{C;int;ztc;m} + Q_{C;sol;ztc;m}$$

Donde:

$Q_{C;int;ztc;m}$ es la suma de las ganancias de calor internas para refrigeración, en [kWh].

$Q_{C;sol;ztc;m}$ es la suma de las ganancias de calor solar para refrigeración, en [kWh].

El flujo se presenta hasta este punto puesto que más adelante comienza a disgregarse en múltiples cálculos más específicos que no son importantes para efectos de este capítulo. Sin embargo, sí es destacable que estas últimas cuatro variables pueden englobarse en los apartados de arquitectura, perfil de ocupación y archivo climático, por tanto, dependen principalmente de las condiciones estandarizadas y particulares que el usuario ingresará en la herramienta.

3.2.2.1 Flujo de calor por conducción

El flujo de calor por conducción depende en su totalidad de la arquitectura de la vivienda, y en última instancia de las propiedades térmicas de los elementos que conformen dicha arquitectura, el cálculo definido por la norma ISO 52.016 se detalla a continuación:

Ecuación 3.5: Cálculo de flujo de calor por conducción

$$Q_{C;tr;ztc;m} = \left(H_{H;tr(excl.gf;m)ztc;m} (\theta_{int;calc;H;ztc;m} - \theta_{e;a;m}) + H_{gr;an;ztc;m} (\theta_{int;calc;H;ztc;m} - \theta_{e;a;an}) \right) \cdot 0,001 \Delta t_m$$

En donde:

$Q_{C;tr;ztc;m}$	Flujo de calor por conducción.
$H_{C;tr(excl.gf;m)ztc;m}$	Coefficiente de transmisión de calor a través de elementos constructivos.
$\theta_{int;calc;C;ztc;m}$	Temperatura interior requerida para la vivienda.
$\theta_{e;a;m}$	Temperatura mensual promedio.
$H_{gr;an;ztc;m}$	Coefficiente de transmisión de calor a través de elementos constructivos conectados al terreno.
$\theta_{e;a;an}$	Temperatura anual promedio.
Δt_m	Cantidad de horas del mes m.

Dada esta ecuación, es necesario detallar algunas aristas importantes del cálculo. En primer lugar, el coeficiente de transmisión a través de elementos constructivos toma en cuenta el valor de transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente (muros, ventanas, puertas, pisos y cubiertas) y su superficie, siempre y cuando estos elementos delimiten el espacio interior de la vivienda con espacios que cuenten con una temperatura distinta.

Ecuación 3.6: Cálculo de flujo de calor para un elemento constructivo

$$Q = U \times A \times (T^{\circ}int - T^{\circ}ext)$$

En donde:

Q Flujo de calor por conducción para un elemento constructivo.

U Transmitancia térmica del elemento constructivo.

A Superficie del elemento constructivo.

$T^{\circ}int$ Temperatura interior.

$T^{\circ}ext$ Temperatura exterior.

En segundo lugar, tal como se aprecia en la ecuación 3.5 este cálculo se hace de manera diferenciada para aquellos elementos constructivos que están en contacto directo con el terreno. Para esto fue necesario incorporar la metodología de cálculo de la norma ISO 13.770, la cual posee la misma lógica que la ecuación 3.6, en donde se consideran variables adicionales como el cálculo de puentes térmicos particulares para elementos con contacto con el terreno y valores para la conductividad del terreno y la profundidad de la penetración periódica, estos últimos se obtuvieron de la misma norma y son utilizados en el cálculo del flujo calor.

Por otra parte, este cálculo también toma en cuenta el impacto de los puentes térmicos. Para esta herramienta, estos se calcularon previamente y mediante otra metodología, la cual se explica en el siguiente capítulo.

3.2.2.1.1 Puentes térmicos

3.2.2.1.1.1 Método Detallado

Los puentes térmicos se definen como singularidades en la arquitectura que debido a su geometría particular aumentan o disminuyen la tasa de flujo térmico. Estos suelen producirse en uniones de elementos constructivos y su impacto depende de la geometría de la unión, la materialidad de los elementos constructivos y particularidades relacionadas con la aislación térmica. Dado lo anterior los puentes térmicos se pueden dividir en seis categorías distintas, sin contar los que están asociados a elementos en contacto con el terreno, los cuales son calculados bajo la metodología de la norma ISO 13.370. Para el cálculo del flujo térmico lineal asociado a los demás puentes térmicos se modelaron distintas combinatorias en el software Therm, con lo cual se generaron 213 combinaciones de puentes térmicos modelados. Con estos resultados se realizó una interpolación lineal con el objetivo de obtener valores para la mayor cantidad posible de condiciones particulares de cada proyecto.

Las condiciones que se hicieron variar en las modelaciones en el software Therm fueron las siguientes:

Tabla 3.1 Condiciones variables en Therm.

Posición aislación	Espesores aislación [cm]	Retorno aislación	Posición ventanal	Elementos
Sin Aislación	-	Con	Interior	Pesado
Por la cara Interior	1	Sin	Centrada	Intermedio
Por la cara Exterior	10		Exterior	Madera
Por el interior del elemento				Liviano

Donde las condiciones particulares para cada tipo de materiales asociado con una categoría de elemento fueron las siguientes:

Tabla 3.2 Condiciones de masa y conductividad.

Elementos	Abreviación	Materiales	Densidad [kg/m³]	Conductividad térmica [W/mK]	Espesor [cm]
-----------	-------------	------------	------------------	------------------------------	--------------

Donde:

- L Longitud del puente térmico en [m],
 ΔT : La diferencia de temperaturas entre el interior y el exterior en [K].
 ψ : El coeficiente lineal de transferencia de calor en [W/m K].

Aplicando la definición del flujo de calor por un puente térmico en la primera ecuación se tiene:

Ecuación 3.8: Flujo de calor por puentes térmicos

$$\psi \cdot L \cdot \Delta T = (\overline{U}_{cp} - \overline{U}_{sp}) \cdot A \cdot \Delta T = (\overline{U}_{cp} - \overline{U}_{sp}) \cdot L \cdot B \cdot \Delta T$$

Donde:

- \overline{U}_{cp} es el coeficiente global de transferencia de calor del sistema completo, incluido el puente térmico y se obtiene a partir de un análisis por elementos finitos en 2 dimensiones.
 \overline{U}_{sp} es el coeficiente de transferencia de calor del elemento sin considerar el puente térmico y se obtiene a partir de un análisis teórico del elemento sin perturbación.
 A Área en [m²], siendo lo mismo que B x L

Por lo que el flujo queda como:

Ecuación 3.9: Flujo de calor por puentes térmicos

$$\psi = (\overline{U}_{cp} - \overline{U}_{sp}) \cdot B \left[\frac{W}{m K} \right]$$

Siendo el valor ψ del puente térmico independiente del ΔT .

El método recién descrito apunta a un cálculo más detallado por lo cual es necesario diferenciar entre los distintos tipos de puentes térmicos y luego poder extraer de la arquitectura su longitud. Como alternativa a dicho método, se incluyó una alternativa para el cálculo simple de puentes térmicos.

3.2.2.1.2 Método simplificado

Este segundo método denominado como método simple, dado que no es necesario ingresar información acerca de los puentes térmicos. Esta alternativa fue implementada con el objetivo de facilitar el ingreso de información. Los valores por defecto que se muestran en la siguiente tabla fueron obtenidos a través de una modelación por medio del método detallado de distintas tipologías de vivienda, resultando en una relación del flujo asociado a conducción versus el flujo asociado a conducción + puentes térmicos. Además, en dicha modelación se incluyeron arquitecturas que contaban con su cubierta en contacto con el exterior y otras en las que su cubierta estaba en contacto con un recinto climatizado. Lo anterior con el fin de verificar cuánto afecta aumentar la superficie expuesta al ambiente. Dicho porcentaje se incrementó en un 25% como factor de seguridad.

Tabla 3.3 Puentes térmicos según cubierta

Tipo de adyacencia de la cubierta	Cubierta Exterior	Cubierta Adiabática
% de puentes térmicos respecto al flujo térmico por conducción	2,4%	7,6%

Estos resultados indican que, para viviendas con su cubierta en contacto con el exterior, la magnitud del calor transferido por puentes térmicos es el 2,4% del calor transferido por la envolvente, en el caso de una vivienda que posee una cubierta adiabática es porcentaje sube

al 7,6%. Estos porcentajes son aplicados en caso de que se opte por el método simple para puentes térmicos. De todas formas, es recomendable impulsar estudios dedicados a cuantificar magnitud de los puentes térmicos en viviendas colombianas, en pro de ajustar la precisión de los cálculos a la realidad nacional.

3.2.2.2 Flujo de calor por convección

El flujo de calor por convección depende de los caudales de aire que entran y salen de la vivienda, por tanto, para el cálculo de este flujo es necesario conocer estos caudales y sus temperaturas. La ecuación que se presenta en ISO 52.016 es la siguiente:

Ecuación 3.10: Transferencia de calor por convección

$$Q_{C;ve;ztc;m} = H_{C;ve;ztc;m} \cdot (\theta_{int;calc;C;ztc} - \theta_{e;a;m}) \cdot \Delta t_m$$

En donde:

$Q_{C;ve;ztc;m}$	Flujo de calor por convección en [kWh]
$H_{C;ve;ztc;m}$	Coefficiente de transmisión de calor a través de elementos constructivos en [W/K]
$\theta_{int;calc;C;ztc;m}$	Temperatura interior requerida para la vivienda en [°C]
$\theta_{e;a;m}$	Temperatura mensual promedio [°C]
Δt_m	Cantidad de horas del mes m en [h]

Para este cálculo, la herramienta considera tres tipos de caudales de aire, los cuales presentan diferencias entre sí, principalmente por las condiciones que influyen en el volumen que ingresa y en segundo lugar la temperatura del volumen de aire que ingresa. A continuación, se detalla cada uno de estos caudales:

1. Caudal por infiltraciones: Este caudal está relacionado directamente con la hermeticidad de la vivienda, pues se asocia a volúmenes de aire que entran de manera permanente a través de las carpinterías presentes en la envolvente (puertas y ventanas). Para esta herramienta fueron utilizados valores conocidos en Chile por medio de ensayos Blowerdoor, sin embargo, es recomendable realizar estudios y ensayos similares para viviendas típicas en Colombia, con el objetivo de obtener estos valores y ajustar la precisión del cálculo a la realidad nacional. Dicho esto, para esta herramienta se han definido tres categorías de hermeticidad de vivienda, dichas categorías tienen asociado un número de renovaciones de aire por hora, extraído de los ensayos a viviendas en Chile, como fue expuesto anteriormente. Las categorías y sus valores se muestran a continuación:

Tabla 3.4 Valores de infiltraciones según hermeticidad de la vivienda

Hermeticidad de la vivienda	Infiltraciones [1/h]
Hermeticidad Alta	0,5
Hermeticidad Intermedia	1,5
Hermeticidad Baja	2

Estos valores se encuentran fijos para los usuarios de la planilla, sin embargo, si se desarrollan los estudios para ajustar estos valores, su modificación en la planilla de cálculo es simple y directa.

2. Caudal por salubridad: El caudal asociado a salubridad es el caudal mínimo que se necesita para mantener condiciones el aire en condiciones óptimas dentro de un recinto. El cálculo de este caudal fue elaborado en base a la metodología de IDA presente en ASHRAE 62.1, la cual toma en cuenta los niveles de CO₂ presentes en base a la actividad metabólica de los usuarios del recinto.
3. Caudal por ventilación nocturna: Este caudal se incorpora al cálculo cuando se opta por un método de ventilación nocturna, el cual se basa en la apertura de vanos durante la noche, con el fin de liberar calor aprovechando la menor temperatura del aire nocturno. Existen dificultades para medir el volumen de este caudal, por ende, se deja la posibilidad de ingresar el caudal manualmente. La temperatura de este volumen de aire se considera igual a la del aire exterior.

Por otra parte, en cuanto a la ecuación del coeficiente de transmisión de calor por convección, es importante explicar los factores de ajuste que se muestran en la ecuación:

Ecuación 3.11: Coeficiente de transmisión de calor por convección

$$H_{C;ve;ztc;m} = \rho_a \cdot c_a \cdot \sum_k (b_{ve;k;C;m} \cdot q_{V;k;C;m} \cdot f_{ve;dyn;k;m})$$

1. $b_{ve;k;C;m}$: Este factor de ajuste depende exclusivamente de las temperaturas a la que ingresa el volumen de aire inyectado de manera mecánica. Si este caudal posee la misma temperatura que el aire exterior entonces este factor es igual a 1.
2. $f_{ve;dyn;k;m}$: Para esta herramienta el valor de este factor de ajuste fue el que indica la ISO 52.016 por defecto para el método mensual, el cual es igual a 1.
3. $\rho_a \cdot c_a$: Capacidad calorífica del aire por unidad de volumen [J/m³K].
4. $q_{V;k;C;m}$: Flujo mensual promedio de aire k que entra a la zona [m³/s].

3.2.2.3 Flujo de calor por cargas internas

Las ganancias de calor mediante cargas internas se producen debido a tres categorías, equipos, iluminación y usuarios.

1. Para efectos de esta herramienta el aporte de equipos se asume despreciable puesto que en viviendas no es común tener una cantidad importante de estos.

Dicho esto, se da paso a describir el cálculo de las fuentes de calor restantes:

2. Iluminación: Las ganancias de calor asociadas a los aparatos de iluminación dependen de la tecnología utilizada. Para el cálculo se considera el número total de aparatos y la densidad de potencia de la tecnología utilizada. Los valores considerados para estas herramientas han sido levantados en base al manual de Evaluación y Calificación de la Certificación Edificio Sustentable (CES)¹, sin embargo, es recomendable establecer valores oficiales que sean representativos para las tecnologías de iluminación utilizadas en las viviendas en Colombia.

Tabla 3.5 Densidad de potencia según tecnología de iluminación

Tipo de tecnología de iluminación	Densidad de potencia [W/m²]
Incandescente	15
Fluorescente	10

¹ <https://www.certificacionsustentable.cl/documentos/>

3. Usuarios: Las ganancias de calor asociadas a usuarios, tienen relación con el calor que emiten los usuarios principalmente a través de su actividad metabólica. Para el cálculo se utiliza el número total de personas que habitan la vivienda y el calor latente de una persona promedio, este valor fue extraído del manual Certificación Edificios Sustentables (CES) de Chile y se establece como 82 [W/pers].

3.2.2.4 Flujo de calor por radiación solar

La ganancia solar sobre un recinto se determina considerando la radiación solar incidente sobre cada uno de los elementos de su envolvente. Esta radiación incidente dependerá de la radiación global para la ubicación del recinto, de la orientación e inclinación de cada elemento de la superficie y de sus propiedades físicas (absortividad en el caso de materiales opacos y transmitancia térmica para elementos traslucidos).

A continuación, se describen las metodologías utilizadas para la estimación del impacto de las ganancias solares en el cálculo de la demanda de refrigeración.

3.2.2.4.1 Ubicación del disco solar y ángulos de incidencia sobre la envolvente

Para el cálculo de la posición solar es necesario conocer los valores de longitud y latitud de la ciudad en donde se ubica el proyecto. En el caso de esta herramienta estos datos ya se encuentran incorporados y cambian según la selección de la ciudad por parte del evaluador.

A continuación, con los valores antes mencionados y adicionalmente los valores de GHR, DNI y DHI de la ciudad, se calcula la posición solar, lo que permitirá determinar los ángulos relativos entre cada elemento de la envolvente y el disco solar, para así determinar las componentes directas y difusas que inciden sobre este elemento. Se considera un único día representativo de cada mes según lo indicado en la siguiente tabla:

Tabla 3.6 Días representativos considerados para cada mes. Los días representativos se indican como un día entre 1 y 365.

Mes	Día Representativo (n)
Enero	17
Febrero	47
Marzo	75
Abril	105
Mayo	135
Junio	162
Julio	198
Agosto	228
Septiembre	258
Octubre	288
Noviembre	318
Diciembre	344

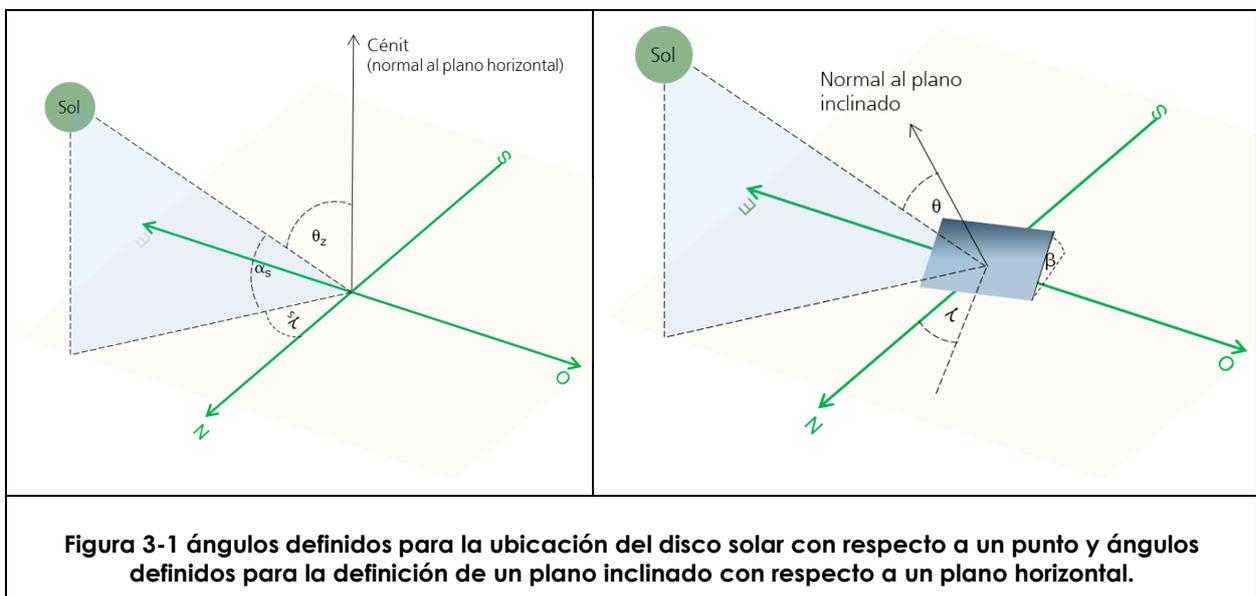
Fuente: Elaboración propia en base a recomendaciones de Solar Engineering of Thermal Processes.

Las relaciones geométricas entre un plano de cualquier orientación y la posición del sol con respecto a un plano, pueden ser definidas en términos de una serie de ángulos, que se definen a continuación:

- ϕ – Latitud: La ubicación angular al norte o al sur con respecto al ecuador, considerando valores mayores a 0 para latitudes norte y menores a 0 para latitudes sur $-90^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$

- δ – Declinación: Corresponde al ángulo entre la línea Sol – Tierra y la proyección del ecuador terrestre. Considera valores mayores que 0 para latitudes norte. $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45$
- β – inclinación: Corresponde al ángulo entre el plano de la superficie en cuestión y la horizontal. $180^\circ \leq \beta \leq 180$
- γ – Ángulo de azimut de la superficie: Corresponde a la desviación de la proyección en un plano horizontal de la normal a la superficie. Considera un valor de 0 para el norte, positivo para el este y negativo para el oeste. $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$
- ω – Ángulo horario: Corresponde al desplazamiento angular del sol al este u oeste del meridiano local, debido a la rotación de la tierra sobre su eje. El desplazamiento es de 15° por cada hora y se considera negativo en la mañana y positivo en la tarde.
- θ – Ángulo de incidencia: Corresponde al ángulo entre la radiación directa en una superficie y la normal a dicha superficie.
- θ_z – Ángulo Cénit: Corresponde al ángulo entre la vertical y una línea hacia el sol. Es decir, corresponde al ángulo de incidencia para una superficie horizontal.
- α_s – Ángulo de incidencia solar: Corresponde al ángulo entre la horizontal y una línea hacia el sol. Es decir, corresponde al complemento del ángulo Cénit.
- γ_s – Ángulo azimut solar: Corresponde al desplazamiento angular con respecto al norte de la radiación directa del sol en un plano horizontal.

Los principales ángulos utilizados para la determinación de la radiación solar y de la ubicación del disco solar, se muestran a continuación:



Para cada día representativo, se analizan diversos parámetros que permiten calcular la posición del disco solar, tanto en azimut como en inclinación. El primer parámetro que se calcula corresponde a la declinación δ .

Ecuación 3.11: Parámetro declinación

$$\delta = 23,45 \cdot \left(360 \cdot \frac{284 + n}{365} \right)$$

Para una superficie, el ángulo de incidencia θ se calcula como:

Ecuación 3.12: Parámetro ángulo de incidencia

$$\cos(\theta) = \text{seno}\delta \cdot \text{seno}\phi \cdot \cos\beta - \text{seno}\delta \cdot \cos\phi \cdot \text{seno}\beta \cdot \cos\gamma + \cos\delta \cdot \cos\phi \cdot \cos\beta \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \text{seno}\phi \cdot \text{seno}\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos\omega + \cos\delta \cdot \text{seno}\beta \cdot \text{seno}\gamma \cdot \text{seno}\omega$$

Para obtener el valor de incidencia solar θ_z se utiliza la ecuación anterior para una superficie plana, es decir con $\beta = 0$

El azimut solar γ_s puede tener valores entre 180° y -180° . Para latitudes entre $-23,45^\circ$ y $-66,45^\circ$, γ_s toma valores de entre 90° y -90° para días de menos de 12 horas de duración, mientras que, para días con más de 12 horas entre la salida y la puesta del sol, γ_s podrá tomar valores mayores a 90° o menores a -90° . Para latitudes tropicales, γ_s puede tomar cualquier valor cuando $\delta - \phi$ es negativo. Por lo tanto, γ_s es negativo cuando ω es negativo y positivo cuando ω es positivo. Por lo tanto, la posición del azimut solar se determina de la siguiente manera para un plano horizontal:

Ecuación 3.12: Parámetro azimut solar

$$\gamma_s = \text{signo}(\omega) \left| \cos^{-1} \left(\frac{\cos\theta_z \cdot \text{seno}\phi - \text{seno}\delta}{\text{seno}\theta_z \cdot \cos\phi} \right) \right|$$

3.2.2.4.2 Radiación en plano inclinado

Para determinar la radiación incidente sobre un plano inclinado, se utiliza la metodología del estándar ISO 52.010-1, el que se describe de manera simplificada a continuación:

En primer lugar, se determina la radiación directa total sobre una superficie inclinada, la cual se determina con la irradiación directa, más la componente circumsolar de la radiación difusa:

Ecuación 3.13: Radiación directa total

$$I_{dir;tot} = I_{dir} + I_{circum}$$

En donde

$I_{dir;tot}$ corresponde a la radiación total directa sobre la superficie inclinada, en $[W/m^2]$

I_{dir} es la radiación directa sobre la superficie inclinada, en $[W/m^2]$

I_{circum} es la irradiación circumsolar, que corresponde a la porción de la radiación solar asociada al anillo alrededor del sol que cubre una región angular de entre $0,53^\circ$ y 5° grados.

Por otro lado, la radiación solar difusa total que incide sobre el plano inclinado ($I_{dif;tot}$) se calcula a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.14: Radiación solar difusa

$$I_{dif;tot} = I_{dif} - I_{circum} + I_{dif;grnd}$$

En donde

$I_{dif;tot}$ corresponde a la radiación difusa total incidente sobre la superficie inclinada, en $[W/m^2]$

I_{dif} corresponde a la radiación difusa incidente sobre la superficie inclinada, en $[W/m^2]$

$I_{dif;grnd}$ corresponde a la radiación difusa en la superficie inclinada por reflexión en el piso, en $[W/m^2]$

La radiación circumsolar I_{circum} se calcula a partir de los datos de radiación difusa en un plano horizontal, obtenidos de los datos horarios de clima, como se muestra a continuación:

Ecuación 3.15: Radiación circumsolar

$$I_{circum} = G_{sol;d} \cdot F_1 \cdot \frac{a}{b}$$

En donde:

$G_{sol;d}$ corresponde a la radiación difusa sobre un plano horizontal, obtenida de los datos de clima de la localidad.

F_1 corresponde al coeficiente de brillo circumsolar, el que a su vez depende de un índice de cielo despejado, de un parámetro de luminosidad del cielo y la posición del sol.

a, b corresponden a parámetros adimensionales que dependen de la posición del sol y del ángulo de incidencia del haz solar sobre la superficie.

La radiación directa incidente sobre la superficie inclinada I_{dir} se calcula como el producto de la radiación solar directa por el ángulo de incidencia θ :

Ecuación 3.16: Radiación directa incidente

$$I_{dir} = G_{sol;b} \cdot \cos(\theta)$$

En donde:

$G_{sol;b}$ corresponde a la radiación solar directa obtenida de los datos de clima.

Por último, la radiación solar difusa que incide sobre un plano inclinado, I_{dif} , se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 3.17: Radiación difusa incidente

$$I_{dif} = G_{sol;d} \cdot \left\{ (1 - F_1) \cdot \frac{[1 + \cos(\beta_{ic})]}{2} + F_1 \cdot \frac{a}{b} + F_2 \cdot \text{seno}(\beta_{ic}) \right\}$$

En donde:

$G_{sol;d}$ corresponde a la radiación difusa medida sobre un plano horizontal, obtenida de los datos climáticos locales.

β_{ic} corresponde a la inclinación del elemento de envolvente analizado

F_2 corresponde a un factor de brillo horizontal, el que a su vez depende de un índice de cielo despejado, de un parámetro de luminosidad del cielo y la posición del sol.

F_1, a, b parámetros definidos anteriormente

3.2.2.4.3 Áreas traslúcidas

Las ganancias solares a través de las zonas traslúcidas para la zona a calcular se ingresan en el lado derecho del balance térmico a nivel de zona (ver Ecuación 3.5: 3.19).

Ecuación 3.18 Flujo radiativo a través de elementos traslucidos.

$$\Phi_{sol;ztc;t} = \Phi_{sol;dir;ztc;t} = \sum_{wi=1}^{wi=n} [g_{gl;wi;t} \cdot (I_{sol;dif;wi;t} + I_{sol;dir;wi;t} \cdot F_{sh;obs;wi;t}) \cdot A_{wi} \cdot (1 - F_{fr;wi})]$$

Donde para la zona térmica ztc en el intervalo de tiempo t :

$\Phi_{sol;dir;ztc;t}$	Suma de las Ganancias solares sobre todas las ventanas en [W]
$g_{gl;wi;t}$	Ganancia solar del cristal corregida por factor de cristal según tabla B.22 de ISO 52.016
$I_{sol;dif;wi;t}$	Flujo radiación difusa en [W]
$I_{sol;dir;wi;t}$	Flujo radiación directa en [W], modificado según orientación
$F_{sh;obs;wi;t}$	Reducción ganancias solares según obstrucciones externas

A_{wi} Área de cada ventana [m²]
 $F_{fr,wi}$ Porcentaje de marco [%]

Los flujos de radiación tanto difusa como directa corresponden a los valores obtenidos del archivo climático, el resto son constantes o dependen de la arquitectura particular.

3.2.2.4.4 Cálculo de sombras por obstrucción

3.2.2.4.4.1 Obstrucciones pertenecientes a la edificación

El cálculo de sombras por obstrucción, para el caso propuesto, se realiza utilizando la metodología horaria indicada por la ISO 52.016-1, cuyos principales elementos se describen a continuación.

El factor de reducción por sombras para un elemento k , en el tiempo t se denomina $F_{sh,obst;k;t}$ y se define como:

Ecuación 3.19: Factor de reducción por sombramiento

$$F_{sh,obst;k;t} = \frac{F_{sh,dir;k;t} \cdot I_{dir,tot;k;t} + I_{dif,tot;k;t}}{I_{dir,tot;k;t} + I_{dif,tot;k;t}}$$

En donde:

$F_{sh,dir;k;t}$ Factor de reducción por radiación directa.

$I_{dir,tot;k;t}$ Radiación directa total, obtenida de los datos climáticos para cada comuna.

$I_{dif,tot;k;t}$ Radiación difusa total, obtenida de los datos climáticos para cada comuna.

El valor de $F_{sh,dir;k;t}$ se obtiene analizando la geometría de los distintos elementos de sombra. En principio, se establece que los obstáculos se pueden identificar como aleros verticales u horizontales, cuyas dimensiones características se pueden apreciar en la siguiente figura:

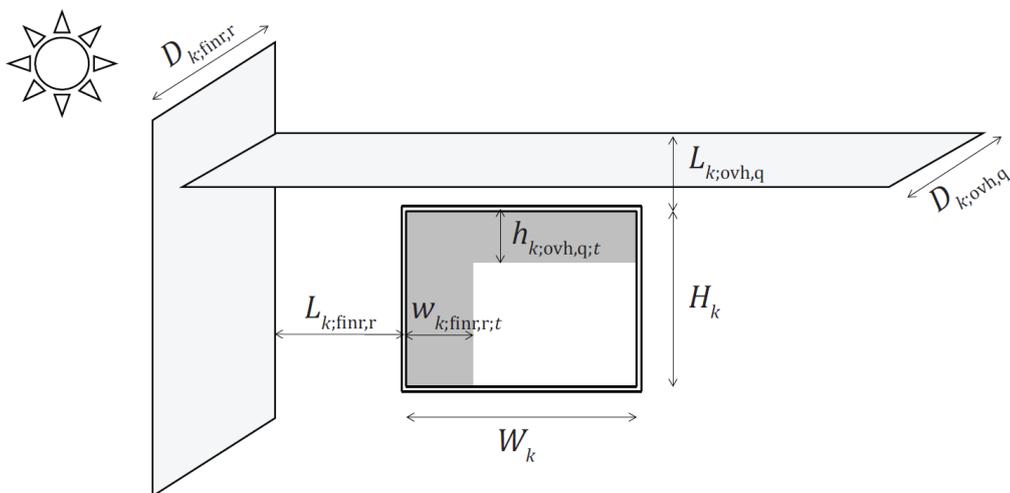


Figura 3-2: Dimensiones utilizadas para caracterizar la sombra generada por aleros horizontales y verticales. Fuente: ISO 52016-1

En el caso de los aleros horizontales, la altura de la sombra proyectada sobre el elemento de la fachada se denomina $h_{k,ovh,q,t}$ define de la siguiente manera:

Ecuación 3.20: Altura de la sombra proyectada por aleros

$$h_{k;ovh;q;t} = \frac{D_{k;ovh;q} \cdot \tan(\alpha_s)}{\cos(\gamma_s - \gamma_k)} - L_{k;ovh;q}$$

En donde los valores de $h_{k;ovh;q;t}$ y $L_{k;ovh;q;t}$ son los indicados en la Figura 3-2 y los valores α_s y γ_s son los indicados en la sección 3.2.2.4.1.

Para el caso de los aleros verticales, el ancho de la sombra proyectada por el alero derecho r sobre el elemento k se determina de la siguiente manera:

Ecuación 3.21: Ancho de la sombra proyectada por alero derecho e izquierdo

$$w_{k;fin;r;t} = D_{k;fin;r} \cdot \tan(\gamma_{sol} - \gamma_k) - L_{k;fin;r}$$

Para el caso del alero izquierdo, la ecuación es análoga, pero utilizando las dimensiones del alero izquierdo ($D_{k;fin;l}$ y $L_{k;fin;l}$).

Finalmente, el factor $F_{sh;dir;k;t}$ se determina a través de la siguiente ecuación:

Ecuación 3.22: Factor de sombra por aleros

$$F_{sh;dir;k;t} = \frac{h_{k;sun;t} \cdot w_{k;sun;t}}{H_k \cdot W_k}$$

En donde H_k y W_k corresponden a las dimensiones del elemento k según lo indicado en la Figura 3-2. Los valores $h_{k;sun;t}$ y $w_{k;sun;t}$ corresponden a las mayores de las sombras proyectadas por los aleros horizontales y verticales respectivamente.

3.2.2.4.2 Obstrucciones ajenas a la edificación

3.2.2.4.2.1 Método simple

Cabe destacar que, para esta herramienta, al igual que para el cálculo de puentes térmicos, se ha optado por entregar la posibilidad de ejecutar un método de cálculo simple y uno detallado para las obstrucciones solares.

Para la metodología de cálculo simple, se han establecido ciertas condiciones de borde, las cuales tienen relación con la geometría de la obstrucción y su posición con respecto a la vivienda evaluada. Dichas condiciones corresponden a la distancia del objeto u obstrucción, altura de la obstrucción y ancho de la obstrucción, además de considerar que dicha obstrucción siempre está centrada con respecto al proyecto evaluado. Para más claridad ver la figura 3-5 donde se muestran estas dimensiones gráficamente.

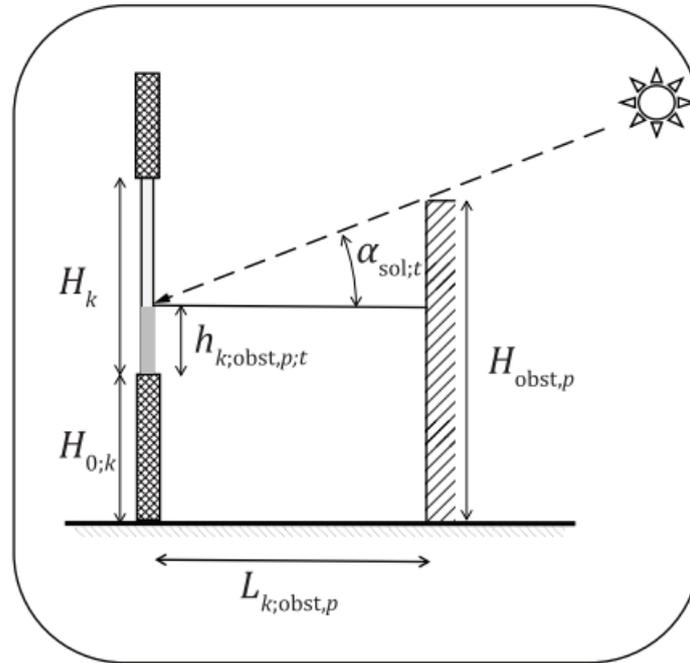


Figura 3-5 Dimensiones para caracterizar la sombra producida por una obstrucción solar. Fuente: ISO 52.016-1

3.2.2.4.4.2 Método detallado

Para el método detallado no hay condiciones establecidas por lo tanto el impacto de la sombra en la radiación recibida por el proyecto evaluado se llevará a cabo con sus valores reales de geometría y posición. En este último punto, en cuanto a la posición de la obstrucción, esta no se considera centrada, sino que se aplica la metodología de cuadrantes para definir su posición real. Para más detalle revisar la figura 3-6.

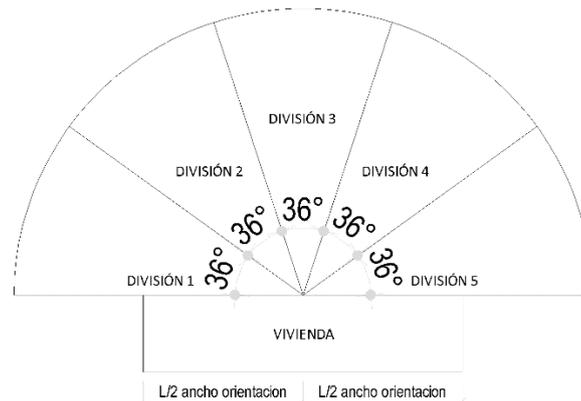


Figura 3-6 División por cuadrantes de la visión de la vivienda.

3.2.2.4.5 Áreas opacas

Las superficies opacas también son susceptibles a una variación de su temperatura superficial exterior. La metodología de cálculo mensual agrega un % de flujo al interior del recinto debido a la potencia radiativa que reciben las superficies opacas.

3.2.2.5 Factores que afectan el flujo total.

3.2.2.5.1 Inercia Térmica

Para el cálculo de la demanda de refrigeración es necesario tomar en cuenta la inercia térmica de la vivienda, la cual tiene un impacto importante ya que, de forma simplificada determina la capacidad de absorber y retener el calor en los elementos constructivos, retrasando así la emisión de este calor hacia el interior de la vivienda.

Dicho esto, en ISO 52.016 se entregan dos métodos. El primero corresponde a un método simplificado para el cálculo mensual en el cual se entregan valores por defecto para categorías de recintos según la masa de sus elementos. El segundo es un método detallado, el cual utiliza las propiedades particulares de cada elemento constructivo que previamente ingresó el evaluador.

Para la herramienta diseñada en esta asesoría se incluyen ambos métodos, entregando la posibilidad de elegir el método según la precisión que se requiera en los resultados o a la información disponible referente a los materiales utilizados en la construcción. Este punto es relevante pues para realizar el cálculo detallado de inercia térmica se han utilizado las propiedades de materiales normados y ensayados en la industria de la construcción chilena, por tanto, es recomendable realizar estudios o programas que normalicen los materiales constructivos presentes en el mercado colombiano en pro de ajustar los resultados a la realidad nacional.

De todas formas, en el caso que se prefiera el método simplificado y los valores por defecto entregados por ISO 52.016, tales se muestran a continuación:

Class	Monthly method $C_{m;int;eff;ztc}$ J/K [J/(K·m ²) · m ²]
Very light	$80\ 000 \times A_{use;ztc}$
Light	$110\ 000 \times A_{use;ztc}$
Medium	$165\ 000 \times A_{use;ztc}$
Heavy	$260\ 000 \times A_{use;ztc}$
Very heavy	$370\ 000 \times A_{use;ztc}$

Figura 3-5: Valores por defecto para inercia térmica entregados por ISO 52.016.

3.2.2.5.2 Factores adimensionales

La metodología de cálculo posee algunos factores adimensionales y que impactan directamente en resultado de la demanda para refrigeración. Por tanto, es necesario tener en cuenta su función y algunos valores que se han dejado por defecto.

3.2.2.5.2.1 Factor adimensional b_{ztu}

El primero es el factor b_{ztu} el cual se encarga de incluir el efecto que tienen los recintos no climatizados adyacentes a la vivienda a evaluar en el flujo térmico global de esta. Este factor es una relación entre el coeficiente de transferencia de calor entre el recinto no climatizado y el exterior y el coeficiente de transferencia de calor entre el recinto no climatizado y el recinto evaluado. El cálculo de estos coeficientes se remite a la ISO 13.789, en el cual se recogen valores por defecto para algunas variables según la metodología de esta norma. En relación con lo anterior se asume el flujo de aire entre el recinto acondicionado y el exterior igual al valor de

infiltraciones y Flujo de aire entre el recinto acondicionado y el recinto no acondicionado como despreciable.

Dicho lo anterior, también cabe destacar que para el cálculo de este factor la ISO 52.016 hace la distinción entre dos tipos de recintos no climatizados. Por un lado, está el recinto no climatizado interior que es recinto que no posee ninguna adyacencia con el exterior, y por otro lado está el recinto no climatizado exterior, el cual si posee alguna fachada en contacto con el exterior.

Este factor aplica a las superficies que cuenten con condición de adyacencia a los recintos no climatizados como RNC interior o RNC exterior

3.2.2.5.2.2 Factor adimensional $\gamma_{C;ztc;m}$

Este factor es un coeficiente de balance de calor y su resultado expresa la relación entre el flujo térmico de conducción y convección y las ganancias de calor por radiación y cargas internas. Si el valor de este factor adimensional es superior a 2 la demanda para refrigeración se asume igual a cero, puesto que el flujo térmico por conducción y convección es positivo lo cual indica que la vivienda está absorbiendo calor del ambiente.

3.2.2.5.2.3 Factor adimensional $\eta_{C;ht;ztc;m}$

Este factor depende del coeficiente de balance de calor y de un parámetro numérico asociado directamente a la inercia térmica. Este factor modifica el flujo térmico en caso de que estos sean flujos térmicos negativos. Por otra parte, cabe mencionar que para el cálculo del parámetro numérico antes mencionado se utilizaron valores por defecto entregados por ISO 52.016.

Para un mejor entendimiento de la relación de estos factores con los resultados de las demandas energéticas ver Ecuación 3.23

Ecuación 3.23: Relación entre factores adimensionales

$$\text{if } \gamma_{C;ztc;m} > 0 \text{ and } \gamma_{C;ztc;m} \neq 1: \quad \eta_{C;ht;ztc;m} = \frac{1 - (\gamma_{C;ztc;m})^{-a_{C;ztc;m}}}{1 - (\gamma_{C;ztc;m})^{-(a_{C;ztc;m}+1)}}$$

$$\text{if } \gamma_{C;ztc;m} = 1: \quad \eta_{C;ht;ztc;m} = \frac{a_{C;ztc;m}}{a_{C;ztc;m} + 1}$$

$$\text{if } \gamma_{C;ztc;m} \leq 0: \quad \eta_{C;ht;ztc;m} = 1$$

with

$$\gamma_{C;ztc;m} = \frac{Q_{C;gn;ztc;m}}{Q_{C;ht;ztc;m}}$$

3.2.2.6 Cálculo para demanda de deshumidificación

La metodología para el cálculo de la demanda de deshumidificación fue elaborada en base a más de 1.300 modelaciones utilizando la metodología entregada por ISO 52.016 método horario. Los resultados de estas modelaciones fueron tabulados y promediados, obteniendo un valor único para cada ciudad el cual indica la energía requerida para deshumidificar la vivienda por cada persona que habite en ella. Adicionalmente, es importante mencionar que dichos cálculos consideran el límite máximo de humedad relativa en un 75%. Aunque este valor se encuentra cercano al límite superior de humedades confortables, se consideró aceptable para zonas húmedas como las presentes en Colombia. Con estudios particulares de cada zona se puede ajustar e incluso diferenciar por ciudad en versiones posteriores.

Los valores obtenidos por ciudad son los siguientes:

Tabla 3.7 Demanda de deshumidificación por persona para cada ciudad

Ciudad	DHU kWh-año/pers
Barranquilla	2900
Cali	570
Medellín	290
Bogotá	0

3.2.2.7 Archivo Climático y temperaturas de operación

En cuanto a los archivos climáticos, estos fueron descargados desde <https://clima.cbe.berkeley.edu/> para las cuatro ciudades que entran en el alcance de esta asesoría.

Por otra parte, las temperaturas de operación consideradas dentro de la herramienta para cada ciudad son las temperaturas indicadas en las fichas de modelación recibidas por parte del ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT). En el caso que sea requiera modificar los rangos de confort térmicos y con ello las temperaturas incluidas en la herramienta, esta cuenta con la posibilidad de cambiarlas.

3.3 Validación de resultados con casos ASHRAE 140

Para validar los resultados de la herramienta se utilizó la metodología Building Energy Simulation Test “Bestest” desarrollada en los años 90 por un grupo de trabajo del International Energy Agency (IEA) con el objeto de contar con una metodología de análisis comparativo para verificar diferencias en el desempeño de herramientas de cálculo energético de carácter dinámico para edificios. Esta metodología fue formalizada posteriormente por medio de la norma en Ashrae 140:2007.

Esta metodología establece que se deben evaluar con las herramientas de cálculo energético diferentes modelos que se establecen en la misma y que varían de modelos básicos a modelos con mayor complejidad, los que se denominan con números desde el 200 al 990. La información existente de otros modelos en la actualidad es del grupo de los 600 y los 900.

Los casos 600 corresponden a casos de envolvente liviana, la diferencia entre el caso 600, 610, 620, 630, 640 y 650 es que se les van agregando aleros, tabiques y diferentes elementos que le dan complejidad al modelo. Los casos 900 se diferencian de los 600 porque la envolvente tiene más masa térmica. Por otra parte, la metodología establece parámetros de entrada idénticos para todos los casos como clima, renovaciones de aire, iluminación y carga ocupación, iguales para todos los casos de manera de permitir una comparación objetiva entre las diferentes herramientas.

En particular, la norma establece utilizar un clima que está ubicado la Latitud 39° del hemisferio norte y 104,9° oeste, que es coincidente con la ciudad de Denver, EEUU, cuyo tipo de clima es inviernos fríos y veranos calurosos y secos.

A continuación, presentamos los resultados de demanda de refrigeración obtenidos para los casos 600 y 900 utilizando la herramienta de cálculo desarrollada y que en adelante se señala como “herramienta ISO 52.016”.

Tabla 3.8 Resultados caso 600 y 900 de herramienta mensual basada en ISO 52.016

Caso	Demanda Refrigeración [MWh]
Caso 600	6,0
Caso 900	3,1

Por otro lado, se presentan los resultados de demanda de refrigeración que de softwares internacionales son los siguientes:

Tabla 3.9 Resultados para caso 600 y 900 de softwares internacionales.

Caso	Demanda Refrigeración [MWh]						
	UK-DMU ESP	US/IT BLAST	USA DOE2	USA SRES	UK-BRE SERI	SPAIN S3PAS	BEL/UK TRNSYS
Caso 600	6,1	6,4	7,1	7,3	8,0	6,5	6,5
Caso 900	2,1	2,6	2,5	3,2	3,4	2,6	2,5

A continuación, se presenta un gráfico que compara los resultados de la Herramienta ISO 52016 con las demás herramientas dinámicas que se han evaluado con esta metodología.

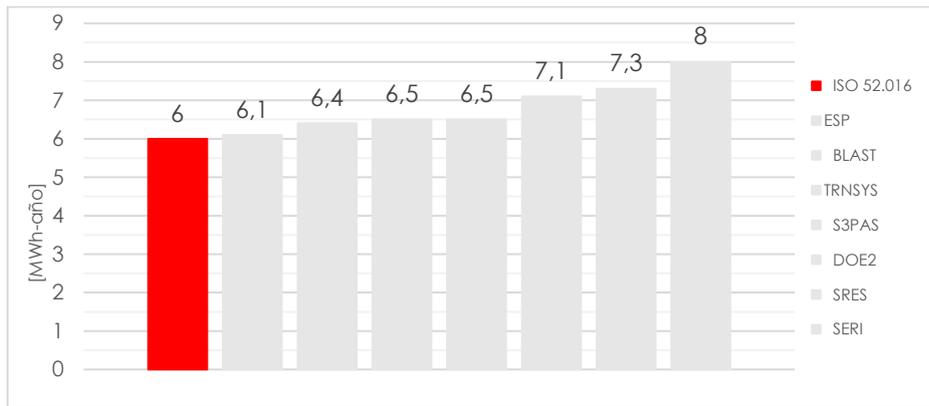


Gráfico 3.1 Comparación demanda energética para caso 600

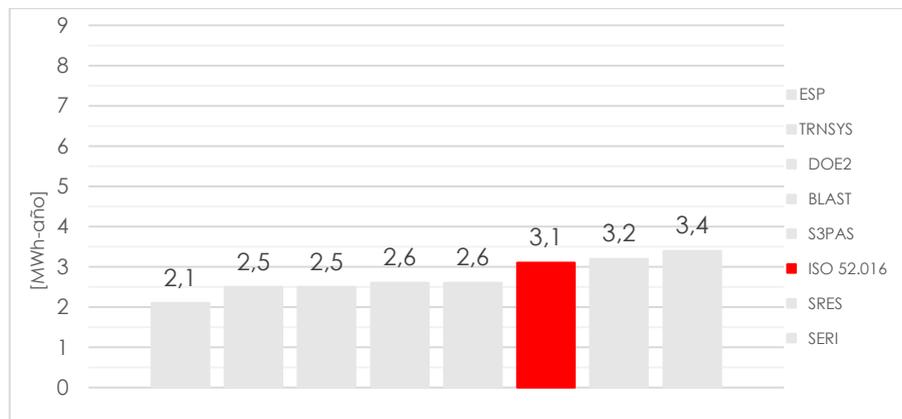


Gráfico 3.2 Comparación demanda energética caso 900

Tabla 3.10 Resumen comparativo para herramienta de cálculo ISO 52.016

Software	Demanda [MWh-año]	
	Caso 600	Caso 900
ESP	6,1	2,1
BLAST	6,4	2,6
DOE2	7,1	2,5
SRES	7,3	3,2
SERI	8,0	3,4
S3PAS	6,5	2,6
TRNSYS	6,5	2,5
ISO 52.016	6,0	3,1
MIN	6,1	2,1
MAX	8,0	3,4
% fuera de rango	2%	-

3.4 Análisis de sensibilidad herramienta ISO 52.016 calculo mensual.

La verificación de la herramienta bajo estándar Ashare 140 permite contar con una herramienta validada internacionalmente. Particularmente los climas revisados en Colombia corresponden a climas cálidos, pero no extremos, como es el caso de Denver que es un clima con temperaturas extremas.

Durante el desarrollo de la herramienta identificamos que el promedio de temperaturas de Cali y Medellín son cercanas al rango de confort, o incluso se encuentran dentro del rango de confort en algunos meses. Considerando una metodología de cálculo mensual, la cual trabaja con temperaturas promedios mensuales, las variables que tengan dentro de sus cálculos el diferencial de temperatura, como es el caso del calor transferido por conducción y convección, tienden a cero o valores muy pequeños, trasladando gran parte de la responsabilidad de la estimación de la demanda mensual a los factores adimensionales.

Frente a esta observación, se buscó información en la ISO 52.016, sin embargo, no se encontraron salvedades para su utilización en climas templados o cercanos a los rangos de confort.

En base al anterior análisis, se modelaron distintos recintos con metodología ISO 52.016 pero de análisis horario, y se compararon con análisis mensual, observándose que efectivamente existe una diferencia acentuada en los resultados entre ambos esquemas horarios para estas 2 ciudades.

Lo anterior se plantea, ya que el alcance de esta asesoría correspondía a el desarrollo de una herramienta simplificada de cálculo, validada bajo metodología internacional, lo cual se cumple. Sin embargo, en vista que no existen muchos casos de análisis en climas como los de Colombia, se recomienda avanzar en metodologías de cálculo de mayor precisión justamente para evitar conflictos invisibles como el detectado, ya que las metodologías cumplen, pero para climas más extremos, típicos en las evaluaciones de los países quienes desarrollan dichas normas. Esto va de la mano con lo planteado en el “Extracto Informe N°1: Propuesta metodológica para cuantificar” donde es fundamental estandarizar para las condiciones locales y nacionales, así con lo planteado en la propuesta metodológica con la cual se presentó esta asesoría, en la cual se recomendaba metodologías de cálculo más exactas para climas tropicales en vista de posibles diferencias en los resultados.

3.5 Manual de uso “Herramienta de cálculo de térmico como insumo para la comprobación de demanda energética para refrigeración Viviendas en Colombia”.

La herramienta de cálculo corresponde a una planilla Excel®, en la cual, el evaluador debe introducir datos relacionados con la arquitectura de la edificación a evaluar, así como también datos asociados a caudales de ventilación, densidad de potencia lumínica y cargas de ocupación.

Para este propósito la herramienta cuenta con tres hojas con las que el evaluador podrá interactuar, donde las dos primeras están destinadas al ingreso de información; Hoja 1. INGRESO DATOS y hoja 2. ENVOLVENTE TÉRMICA y finalmente la hoja restante cumple con la función de entregar los resultados de forma resumida; hoja 3. RESULTADOS.

La filosofía de diseño tras la planilla de cálculo responde a agrupar la información en 3 conjuntos:

1. Biblioteca: Una biblioteca de soluciones constructivas para los elementos de la envolvente, piso, techo, muros ventanas con sus marcos y puertas. Esto se realiza en la hoja “Envolvente térmica”. Aquí se incorporan las propiedades descritas generalmente en las Especificaciones técnicas.
2. Arquitectura: Una vez definidas las soluciones constructivas con las cuales cuenta el proyecto, el usuario deberá plasmar la información de los planos de arquitectura. Para lo anterior el usuario en la hoja “ingreso de datos” cita a través de menús desplegables las soluciones definidas en “Envolvente térmica” y le asigna áreas o longitudes de dichos elementos en las distintas orientaciones.
3. Resultados: Finalmente, la hoja “Resultados” entrega un resumen de los resultados.

Se adjunta Manual al presente informe como 8.1.

4 HOJA DE RUTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA EDIFICACIÓN COLOMBIA

4.1 Contexto

El sector edificación en su ciclo completo, es decir desde la extracción y fabricación de materiales, construcción y operación, de la edificación es uno de los sectores con mayores niveles de impacto ambiental a nivel global, tanto en intensidad de consumo de energía (36%), como en emisiones de efecto invernadero (37%)², generación de residuos (35%)³, uso de agua y uso de recursos naturales.

Como se puede observar de lo señalado anteriormente la intensidad de uso de energía y sus consecuentes niveles de emisión son unos de los principales desafíos que tiene el sector. En ese contexto la realidad en Colombia es muy similar a lo identificado a nivel global ya que, de acuerdo con el Balance de energía del 2019, la operación del sector edificación consume el 29% de los recursos energéticos del país, siendo responsable de un 22% el sector residencial y de un 7% el sector comercial y público⁴.

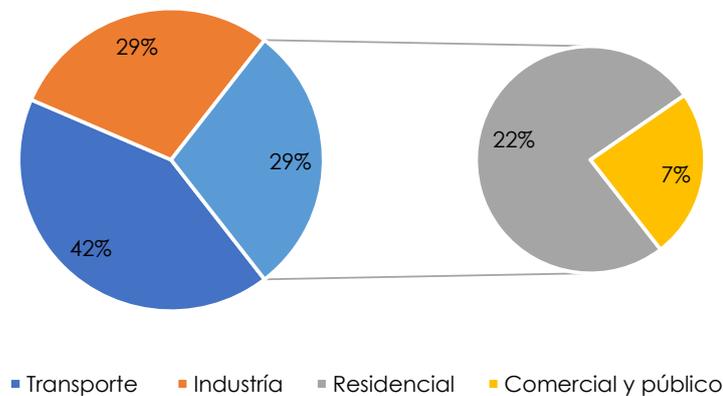


Gráfico 4.1: Distribución consumo de energía en operación de edificios en Colombia

Fuente: Plan de Acción Indicativo PROURE 2022-2030, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia

Por otra parte, la operación de la edificación residencial se estima que genera el 10,5 % del total del inventario nacional de gases de efecto invernadero (GEI)⁵. Según el Ministerio de Minas y Energía y la UPME (2016), las edificaciones residenciales concentran sus principales consumos (39%) en los equipos de refrigeración, seguido por los televisores (20 %), y los aparatos de iluminación (10 %) ⁶. A partir de esta información se observa que el consumo de energía en climatización de viviendas no está dentro de los principales consumos. De acuerdo con información levantada en el Balance Energético de Colombia del año 2018, se identifica que la participación porcentual de sistemas de climatización (aire acondicionado) es sólo de 3%⁷, por lo que se estima que existe pobreza energética vinculada a confort térmico.

Dada la relevancia que tiene este sector dentro del contexto nacional es que el Estado colombiano ha implementado desde hace varios años diferentes instrumentos de política pública que buscan reducir el consumo de energía de este sector. Es importante destacar que estos instrumentos están muy relacionados con los Instrumentos de Cambio Climático.

² Global ABC 2021, "The 2021 Global Status Report For Buildings And Construction"

³ Solís-Guzmán et al., 2009; Ajayi et al., 2016,

⁴ Plan de Acción Indicativo PROURE 2022-2030, Ministerio de Minas y Energía, República de Colombia

⁵ Ideam (2015) y UPME (2015). Cálculos del DNP con base en el Inventario Nacional de GEI del Ideam

⁶ Conpes 3919, Política Nacional de Edificaciones Sostenibles, 2018.

⁷ Plan energético nacional 2020- 2050

4.1.1 Política Nacional de Cambio Climático (PNCC)

Es así como el año 2014 se publica Política Nacional de Cambio Climático (PNCC), impulsada por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, la cual menciona la necesidad de incentivar la eficiencia energética en edificaciones de uso residencial y no residencial, así como la construcción sostenible, baja en carbono. Además, establece medidas de mitigación relacionadas a eficiencia energética en el sector de las edificaciones a nivel nacional.

En el Marco de la Política Nacional de Cambio Climático (PNCC) se desarrolló el plan de acción sectorial de mitigación para el sector vivienda y desarrollo territorial, donde se identifican las áreas prioritarias de acción en el sector de las edificaciones. Dentro de esta jerarquización de medidas se encuentra una normativa de construcción y uso eficiente de la edificación para la reducción de consumo energético y de agua.

4.1.2 Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE)

Por otro lado, el mismo año, la Ley 1715 de 2014 establece el primer Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), del Ministerio de Minas y Energía. Este Plan es la guía para la concreción de las actuaciones del sector público en materia de eficiencia energética, el establecimiento de plazos para la ejecución de las mismas, la atribución de responsabilidades y la identificación de las diferentes formas de financiación y necesidades presupuestarias.

4.1.3 Resolución N° 0549 de 2015

Por otro lado, en el 2015 el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio (MVCT), impulsa una serie de modificaciones en su marco reglamentario con el fin de avanzar en la incorporación de medidas de sustentabilidad en la edificación y dentro de estas medidas la eficiencia energética cumple un rol muy relevante.

Es así como el año 2015 se promulga el Decreto N°1285 que modifica el Decreto Único Reglamentario 1077 de 2015 del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. El Decreto 1077 es el único reglamento del sector vivienda, ciudad y territorio de Colombia y corresponde a un compilado de normas de construcción y urbanísticas. La función del Decreto N°1285 fue adicionar al Título 7 a la parte 2 del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, el artículo 2.2.7.1.2. donde dispone que: “El Gobierno Nacional a través del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, adoptará mediante resolución, los parámetros y lineamientos técnicos para la Construcción Sostenible y se adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones”. Lo que da pie a la posterior promulgación de la Resolución N°0549. Esto queda plasmado en el Decreto N°1077 en su Parte 2, T Título 7 (Urbanización y construcción Sostenible), Capítulo 1 (Construcción sostenible) lo siguiente:

Implementación de los lineamientos de construcción sostenible: (...) En lo relacionado con las medidas para el ahorro de agua y energía en edificaciones, los parámetros que se adopten deberán contener como mínimo los siguientes aspectos:

1. Porcentajes obligatorios de ahorro en agua y energía según clima y tipo de edificaciones.
2. Sistema de aplicación gradual para el territorio de conformidad número de habitantes de los municipios.
3. Procedimiento para la certificación de la aplicación de las medidas.
4. Procedimiento y herramientas de seguimiento y control a la implementación de las medidas.
5. Promoción de Incentivos a nivel local para la construcción sostenible.

De alguna manera este capítulo busca establecer una visión estratégica de construcción sostenible en Colombia.

A partir de lo anterior, el Gobierno nacional, a través del Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, adoptó la Resolución N° 0549 de 2015, que tiene como fin reglamentar el Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015. Esta Resolución estableció los porcentajes obligatorios de ahorro de agua y energía para el sector de las edificaciones en el país, los lineamientos generales de sostenibilidad para edificaciones, los conceptos asociados a la construcción sostenible, la implementación de mesas interinstitucionales y la reglamentación de la política.

Este instrumento adopta el uso de dos documentos de apoyo a la industria para su implementación; El Anexo 1 "*Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*", la cual entrega la Línea Base de Referencia y las medidas recomendadas para lograr los ahorros establecidos en la Resolución, mediante la implementación de medidas activas (inclusión de aparatos y tecnologías ahorradoras) y medidas pasivas (acondicionamiento arquitectónico. Además, adopta el Anexo 2 que corresponde al "*Mapa de Clasificación del Clima en Colombia según la Temperatura y la Humedad Relativa y listado de municipios*" Elaborado por el IDEAM y cuyo fin es la identificación de los requisitos de la resolución según el piso térmico.

Esta normativa es de carácter diferencial para las cuatro zonas climatológicas del país (i.e. clima frío, templado, cálido seco y cálido húmedo), y de cumplimiento obligatorio a nivel nacional desde el 2 de agosto de 2017 para edificaciones con distintos usos entre ellos educativos, oficinas, comerciales y viviendas, excepto VIS y VIP, con un sistema de aplicación gradual según la población de los municipios.

Es importante señalar que, aunque la Resolución N°0549 sólo aplica a edificación nueva.

4.1.4 Política Nacional de Edificaciones Sostenibles

Por otra parte, el año 2018, se publica la Política Nacional de Edificaciones Sostenibles (Conpes 3919) por parte del Consejo Nacional de Política económica y social (Conpes), del Departamento de Planeación del Gobierno, cuyo objetivo general es "Impulsar la inclusión de criterios de sostenibilidad para todos los usos y dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones a través de ajustes normativos, el desarrollo de mecanismos de seguimiento y la promoción de incentivos económicos, que contribuyan a mitigar los efectos negativos de la actividad edificadora sobre el ambiente, mejorar las condiciones de habitabilidad y generar oportunidades de empleo e innovación" y sus objetivos específicos son:

- OE1. Diseñar e implementar instrumentos de política pública que permitan incluir criterios de sostenibilidad para todos los usos y dentro de todas las etapas del ciclo de vida de las edificaciones.
- OE2. Establecer mecanismos de seguimiento al mercado de edificaciones para garantizar la implementación de la normativa que incluya criterios de sostenibilidad a través de sistemas de información e indicadores.
- OE3. Desarrollar un programa de incentivos financieros para la construcción de proyectos de edificaciones sostenibles.

Esta Política plantea, en el marco del Comité Técnico de la Comisión Interinstitucional de Cambio Climático, crear una mesa de trabajo de edificaciones sostenibles con el propósito de mejorar la coordinación de todos los sectores involucrados.

Dentro de las brechas identificadas en este documento, y que tienen injerencia en las políticas de eficiencia energética destacamos:

- Falta de coordinación entre entidades públicas
- Ausencia de Estrategia ni Hojas de Ruta en Eficiencia Energética para edificaciones

- Falta de definición y reglamentación de criterios de sostenibilidad en edificación
- Falta de mecanismos de seguimiento a la aplicación de la normativa
- Se requiere actualización de líneas base
- Se identifica débil implementación de la Resolución N°0549 por baja coordinación interinstitucional, barreras de divulgación, implementación y control por parte de las entidades territoriales.
- Se requiere reforzar el diseño de indicadores que permitan hacer seguimiento a la implementación de lineamientos de sostenibilidad en el mercado de edificaciones.
- Ausencia de programas de financiamiento focalizados en la construcción y compra de edificaciones con criterios de sostenibilidad.
- Se identifica que la construcción de edificaciones públicas no cuenta con criterios de sostenibilidad
- Se identifica que no existe un sistema de información integrado con sistemas de seguimiento.
- La ausencia de implementación de etiquetado energético para edificación.

Se destaca que existen iniciativas a escala de ciudad o municipal para implementar construcción sustentable como:

- Programa de Eficiencia Energética en Edificaciones (BEA) de Bogotá
- Política Pública de Ecurbanismo y Construcción Sostenible de Bogotá,
- Acuerdo Metropolitano 023 de 2015 que adopta la política de construcción sostenible del Valle de Aburrá

Por otra parte, se menciona que el Ministerio de Minas y Energías y UPME (2016), a través de auditorías realizadas a 27 sedes de entidades públicas del orden nacional, regional y local, encontró que existe un potencial de ahorro en consumo de energía, en edificación del sector público, del 42%, lo que apoyaría el cumplimiento de los ahorros de consumo de energía establecidos en la Resolución N°0549. Este potencial responde a la reconversión de equipos (24,0 %), el acondicionamiento arquitectónico (10 %), las buenas prácticas operativas (5,3 %) y la utilización de energías alternativas (2,7 %) (Ministerio de Minas y Energías y UPME, 2016).

Esta Política cuenta con un Plan de Acción para cada uno de los objetivos específicos en donde hacer referencia a los siguientes lineamientos estratégicos:

- Construcción de una estrategia de transición normativa e institucional para implementar la presente política.
- El MVCT realizará ajustes a los criterios de construcción sustentable al reglamento y se deberán ajustar metas para viviendas urbanas y rurales.
- Establecer mecanismos de seguimiento, que además deberán estar integrados con el Sistema Único de Información de Servicios Públicos Domiciliarios de la Superintendencia de Servicios Públicos, para efectos de monitoreo de consumos de agua y energía.
- Inclusión de criterios de sostenibilidad en los términos de referencia de los procesos de compra y arrendamiento de inmuebles para uso del Gobierno nacional.
- La UPME elaborará una guía para el diseño y la implementación de planes de gestión eficiente de la energía de las entidades públicas en el marco de PROURE 2017-2022.
- Se implementarán programas que fomenten sustitución de equipos, capacitaciones de buenas prácticas e implementación de energías renovables.
- La UPME formulará una etiqueta voluntaria energética para edificaciones que garanticen reducciones de consumo de energía y reducción de GEI articulada a incentivos que faciliten promover su uso. La etiqueta energética permitirá incorporar criterios de eficiencia en las edificaciones y asimismo aportar al seguimiento y evaluación del

cumplimiento de metas de eficiencia energética y de emisiones GEI. Esta etiqueta estará articulada con los lineamientos en consumo energético de la Resolución N° 0549 de 2015.

- Se implementarán Programas de gestión eficiente de la energía en entidades públicas.
- Se deberá mejorar la coordinación interinstitucional la efectiva implementación de estas políticas

4.1.5 Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) 2022-2030

El año 2021, se publica el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) 2022-2030, las medidas de eficiencia energética propuestas para el sector residencial, en este documento, corresponden a la sustitución de combustibles para la cocción (específicamente leña), la renovación de equipos y el mejoramiento de iluminación. Entre las acciones propuestas para construcción sostenible se menciona que UPME está preparando el desarrollo de un sistema de etiquetado energético de edificaciones SEEE.

4.1.6 Etiquetado energético para el sector edificación

Entre los años 2020 y 2021 la UPME con MINCIENCIAS desarrollaron un estudio sobre “Lineamientos técnicos para el establecimiento de un sistema de etiquetado energético de edificaciones en Colombia a partir de simulaciones energéticas”

En este estudio se establece la “Hoja de ruta para el establecimiento de un sistema de etiquetado energético de edificaciones para Colombia (SEEE)” que permita dar información a los usuarios sobre el consumo energético del edificio y promueva las mejoras y adecuaciones en edificaciones antiguas, así como la aplicación de nuevos estándares de eficiencia en las nuevas construcciones.

En la hoja de ruta para el etiquetado de edificios se define los siguientes temas:

- Línea base
 - Donde se realiza un estudio sobre de sistemas de etiquetado nacionales e internacionales existente, del mercado energético,
 - Definición de actores públicos y privados relevantes
 - Estudio de normas relacionadas a la implementación del etiquetado
- Brechas
 - Del estado, sector construcción, proveedores, usuarios, academia, asesores, certificador y sector bancario.
- Ejes estratégicos

A partir de la información levantada en la etapa previa se establecen los siguientes ejes estratégicos:



Figura 3: Ejes estratégicos “Hoja de Ruta para el establecimiento e implementación de un sistema de etiquetado energético de edificaciones para Colombia”

- Plan de acción

A partir de estos ejes se establece un Plan de acción dividido en dos etapas

- Etapa 1
 - Desarrollo Técnico: Comprende una identificación energética de diversas edificaciones tipo vivienda y oficinas en todas las regiones de Colombia, el desarrollo de una escala energética para la calificación de edificaciones y una herramienta de evaluación energética de edificaciones.
 - Normativa: Generar el marco normativo necesario para el desarrollo, implementación y actualización de un sistema de etiquetado energético en Colombia.
 - Estrategia Financiera: Tiene por objetivo Reglamentar la obtención de beneficios tributarios para las edificaciones que hagan parte del SEEE.
 - Socialización: Tiene por objetivo, desarrollar procesos de comunicación orientados a informar a todo el público interesado sobre el SEEE.
 - Apoyo: Tiene por objetivo dar soporte formativo, de investigación y adaptación a los actores del SEEE, de tal forma que se fortalezca la cadena de valor.
- Etapa 2
 - Procesos de desarrollo: Tiene por objetivo desarrollar y poner en marcha los procesos de evaluación energética en sitio (edificación evaluada), junto con los procesos administrativos para la gestión de los procesos de certificación del sistema de etiqueta energética de las edificaciones.
 - Validación: Tiene por objetivo generar la validación del proceso de evaluación energética en sitio con prototipos reales, seguido de la evaluación general de los procesos que involucran el SEEE.
- Identificación de actores principales:
 - Se definieron los actores del sistema, tales como: Interesados, asesor energético, reglamentación, normalización, certificación de la conformidad, inspección y control, educación y entidad financiera.

4.1.7 Contribución Determinada a Nivel Nacional de Colombia (NDC) 2020

Por otra parte, la actualización de la Contribución Determinada a Nivel Nacional (NDC, por sus siglas en inglés) de Colombia, para el período 2020-2030, incorpora dentro de las medidas sectoriales del MVCT para Mitigación, la medida N°7 que plantea un potencial escenario de reducción de 0,09 Mt CO₂eq, en los 10 años señalados. Esta medida consiste en definir “Lineamientos para el diseño y construcción de edificaciones sostenibles, logrando reducciones en el consumo energético, que permita reducir los GEI ligados al desarrollo de la vivienda y otras edificaciones, mediante 1) Reducción del consumo de gas natural y energía eléctrica en vivienda nueva sin incluir Vivienda de Interés Social y Prioritario (VIS y VIP) y 2) Reducción del consumo de gas natural y energía en edificaciones nuevas diferentes a vivienda.

La meta establece la implementación gradual hasta llegar a un 100% de las edificaciones nuevas a nivel nacional a 2026, mantenido hasta 2030.

Para lograr reportar estos niveles de reducción de emisiones, se recomienda contar con un mecanismo de reporte que sea objetivo y verificable, para lo cual se estima que el sistema etiquetado energético es un componente de gran valor para el mecanismo. Sin embargo, este sistema de etiquetado debe contar con una herramienta de cálculo normada (cuya metodología cumpla con estándares nacionales y/o internacionales), estandarizada (para que permita comparabilidad de datos) y acreditada internacionalmente (para que permita acceder a instrumentos financieros internacionales).

El sistema de etiquetado permitirá proyectar reducciones de emisión de proyectos nuevos.

4.2 Propuesta de lineamientos generales para una Hoja de Ruta de Eficiencia Energética para Edificación Colombia

Como se observa en el contexto presentado Colombia ya cuenta con al menos tres instrumentos por parte del estado que buscan definir estrategias de implementación de Sostenibilidad y/o Eficiencia energética en Edificación, estos son:

- Política Nacional de Edificaciones Sostenibles (CONPES 3919)
- Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional de Energía (PAI-PROURE) 2022-2030.
- “Hoja de ruta para el establecimiento de un sistema de etiquetado energético de edificaciones para Colombia (SEEE)”

En estos documentos se establecen lineamientos construidos a partir de las brechas identificadas en el sector. Por lo que la presente propuesta se basa en primer lugar en el trabajo ya avanzado por el estado de Colombia en este tema y se complementará con algunas recomendaciones técnicas, basadas en el conocimiento experto del presente equipo consultor.

4.2.1 Coordinación intersectorial e interinstitucional

Se identificó en los documentos analizados que una de las principales brechas de implementación de la Resolución N°0594 ha sido la baja coordinación interinstitucional, barreras de divulgación, implementación y control por parte de las entidades territoriales. Por lo que, se estima que es fundamental contar con una orgánica institucional que permita coordinar a los actores para impulsar en forma conjunta la agenda no sólo de eficiencia energética sino de sostenibilidad.

Para esto se recomienda en primer lugar contar con una Mesa Técnica entre los Ministerios relacionados a la implementación regulatoria de iniciativas y criterios de Construcción Sostenible. En segundo lugar, se propone contar con Mesas Técnicas con representantes de los mismos ministerios en cada región de manera de asegurar la coordinación con los municipios.

Y, en tercer lugar, se recomienda formalizar una mesa de trabajo con el sector público, privado y academia que permita ir discutiendo los nuevos estándares y medidas a implementar en la industria y lograr avances bajo consenso sectorial.

4.2.2 Definición de nivel de pobreza energética en relación con el confort térmico

Tanto esta hoja de ruta, así como los documentos citados y desarrollados por las distintas entidades colombianas definen estándares, guías o manuales que buscan promover el uso sostenible de los recursos disponibles y reducir el consumo energético. Estos documentos parten de la premisa que los cálculos que se realizan satisfacen las condiciones que se buscan. En el caso del confort térmico, foco de esta hoja de ruta, la premisa fundamental tras las metodologías parte de la base en que los usuarios tendrán confort térmico, dicho de otras palabras, la temperatura dentro de los recintos se encontrará dentro de los rangos aceptables, los cuales definidos en la Resolución 0549 corresponden al rango entre 21° C y 25°C.

Lamentablemente los estudios indican que el porcentaje de viviendas que cuentan con equipos de climatización rondan el 3% de las viviendas, y salvo Medellín que cuenta con perfiles de temperatura exterior similares a 21°C-25°C el resto de las ciudades necesitará el apoyo de equipos de climatización. La carencia de estos equipos imposibilita la satisfacción de la premisa inicial, ya que no será posible contar con Confort térmico. Esto se conoce como pobreza energética en el marco de esta asesoría.

Es por esto que se identifica la necesidad de que el MVCT realice auditorías energéticas y monitoreos térmicos en las diferentes tipologías de edificación con el objeto de identificar los niveles de Pobreza Energética vinculados a las brechas de confort térmico en las diferentes regiones del País. Esta información permitirá definir mejores estándares térmicos de edificación.

4.2.3 Definición de marco técnico bajo consenso con la industria

En base a la experiencia del equipo consultor en el desarrollo de herramientas de cálculo energético y a análisis previo de literatura internacional, se proponen tres pasos estratégicos para estandarizar, calcular y cuantificar energía asociada a las edificaciones y que se describen a continuación:

- Paso 1: Definición de estándares
- Paso 2: Homologación de condiciones de cálculo; herramientas de cálculo
- Paso 3: Comparación y gestión de resultados

Se estima fundamental que exista coordinación entre el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio, el Ministerio de Minas y Energía y la industria para el éxito en estos temas.

4.2.3.1 Paso 1: Definición de estándares

En vista del análisis de sensibilidad realizado en el informe 1, donde se observó variaciones en los resultados para refrigeración de hasta un 35% y a su vez, en consideración de las condiciones de borde impuestas en la herramienta de cálculo entregada por esta consultoría, es que se recomienda contar con ensayos de laboratorio locales u homologaciones internacionales de países con climas similares de al menos los siguientes puntos:

- **Archivos Climáticos:** Actualmente Colombia no cuenta, o no fueron facilitados para esta consultoría, archivos climáticos estandarizados, es decir en formatos típicamente utilizados por herramientas de simulación dinámica, como .ewb, .tmy, etc., para las distintas ciudades o zonas del país. Se recomienda contar con una base de datos nacional de archivos climáticos para modelamiento energético de edificación. Para el desarrollo de la herramienta que se entrega con esta consultoría, sólo se incluyen 4 archivos climáticos, los cuales fueron descargados de la web⁸. Se presenta como un caso

⁸ <https://clima.cbe.berkeley.edu/>

de ejemplo la experiencia de Chile, en donde se desarrolló bajo el Ministerio de Energía un mapa de interpolación de bases climáticas permitiendo descargar archivos climáticos⁹ con una precisión de 1km². Esta base de información es una excelente manera estandarizar el ingreso de información para cualquier modelación dinámica.

- **Información técnica sobre Materiales:** Se recomienda coordinar con los laboratorios técnicos del país y con la industria la elaboración de una base de datos o Registro de información técnica y térmica de los materiales y soluciones constructivas. Para construir esta base de datos el Estado deberá exigir que tanto los materiales como soluciones constructivas que quieran ser parte de este registro contar con ensayos de laboratorio que estandaricen las propiedades de los materiales más utilizados en la construcción y que hacen parte de la envolvente de las edificaciones. Las propiedades que debiesen contar con un valor estandarizado corresponden al menos a las siguientes:
 - **Conductividad [W/m·K]**
 - **Densidad [kg/m³]**
 - **Emisividad**
 - **Calor específico [J/kg·K]**

Para generar este registro el Ministerio de Vivienda deberá generar un marco regulatorio que defina las condiciones técnicas y de calidad para los laboratorios de ensayo y para los certificados otorgados por los mismos. Además, se podrán establecer ciertos beneficios para las soluciones constructivas que cuenten con esta información, de manera de incentivar estas prácticas en el mercado.

- **Infiltraciones:** Los niveles de flujos de aire no controlados se encuentran directamente relacionados con las buenas o malas prácticas constructivas de cada país, por lo que se recomienda definir ensayos de laboratorio para caracterizar el nivel de infiltraciones de las construcciones colombianas.
Al igual que en el punto anterior se deberá contar con un registro de laboratorios autorizados para realizar las pruebas de hermeticidad al igual que la definición de las condiciones técnicas de los certificados de hermeticidad.
- **Puentes térmicos:** La literatura cuenta con vasta información sobre puentes térmicos para climas fríos en condición de invierno, sin embargo, no se repite para climas tropicales, por lo que se recomienda desarrollar cálculos más precisos o ensayos de laboratorio para la definición de este fenómeno en condición de climas cálidos.

En conjunto con lo anterior, y particularmente para la herramienta que se entrega como parte de esta asesoría, se recomienda estandarizar en base a realidad local lo siguiente:

- **Iluminación artificial:** Potencias [W] de distintas tecnologías y densidades lumínicas [W/m²] utilizadas en las viviendas de Colombia.
- **Eficiencia de equipos de climatización:** Potencias [W] y eficiencias de los distintos equipos utilizados en las viviendas de Colombia.

4.2.3.2 Paso 2: Homologación de condiciones de cálculo; herramientas de cálculo

Gran cantidad de países han considerado la existencia de una herramienta única para reportar consumos energéticos en operación de la edificación ya que permite homologar, comparar y gestionar resultados de manera simplificada. Aunque no es obligatorio contar con una herramienta única, en caso de no existir, la existencia de estándares robustos es fundamental ya que se convierten en el único criterio para homologar, comparar y gestionar resultados.

Dado que contar con una única herramienta de cálculo permite homologar y comparar resultados, fundamental para el Paso 3, es que se recomienda que Colombia considere la implementación de una herramienta única de cálculo.

Para la definición de que tipo de herramienta de desempeño utilizar, ya sea estática o dinámica, se consideran 3 factores relevantes:

⁹ <https://solar.minenergia.cl/>

- Colombia cuenta con el Anexo 1 de la Resolución N° 0549 la cual solicita el cumplimiento de consumos energéticos máximos para las distintas tipologías de viviendas, lo cual técnicamente se recomienda que derive de un análisis por desempeño.
- El clima particular de Colombia es básicamente cálido, donde los consumos en climatización a cuantificar corresponden a los de refrigeración (aire acondicionado) y no calefacción. Los análisis estáticos son técnicamente recomendados para climas fríos, ya que arrojan errores aceptables en presencia de baja radiación, sin embargo, no son recomendables para climas cálidos, o cálculos de refrigeración ya que los resultados son imprecisos.
- Independiente del tipo de herramienta a utilizar, se considera fundamental que la metodología de cálculo se encuentre estandarizada (normada) y validada internacionalmente.

En consideración a los 3 puntos anteriormente señalados los cuales consideran puntos normativos y técnicos, se recomienda que Colombia utilice herramientas de cálculo únicas, por desempeño y con metodologías de cálculo estandarizadas.

En este contexto, la “Herramienta de cálculo de térmico como insumo para la comprobación de demanda energética para refrigeración Viviendas en Colombia” desarrollada para la presente consultoría, se considera como un primer paso en el desarrollo de una herramienta única nacional y estandarizada. Por ahora esta herramienta entrega información sobre la demanda y consumo para refrigeración y agua caliente sanitaria de una vivienda, sin embargo, a través de los Workshop, se identificó la necesidad de contar con una herramienta, que incorpore calefacción, iluminación y equipos, por cada unidad de vivienda y en el caso de ser un edificio para el total ponderado del edificio. La Herramienta actual es la base sobre la cual se recomienda hacer estas adiciones y otras que identifique tanto la industria como el estado.

En una siguiente etapa, para incrementar la precisión en los resultados, se recomienda que la herramienta definitiva tenga metodología de cálculo horario y tenga la opción de importar información desde un modelo BIM.

4.2.3.3 Paso 3: Comparación y gestión de resultados

En consideración que Colombia ya cuenta con la Resolución N° 0549 la cual hace obligatorio el entregar un valor de consumo energético para las edificaciones nuevas, y considerando que los 2 pasos anteriormente se desarrollen, Colombia podría contar en con una base de datos comparable y homologable la cual irá acumulando información de manera continua. En base a la información recibida por parte del ministerio, la solicitud que se hará a los proyectos que se ejecutarán tiene que ver con un cumplimiento de la Res N° 0549 sin embargo no hace referencia directa a un desempeño, estandarizado por lo que actualmente no se están cumpliendo los Paso 1 y Paso 2

De cumplirse los 3 pasos, este punto permitirá contar con una línea de referencia¹⁰ auto alimentada por los datos que van ingresando al sistema de tal manera que permite la mejora continua en la definición de nuevas metas.

4.2.4 Sistema de etiquetado

Dado que la UPME ya cuenta con una Hoja de Ruta de Implementación de Etiquetado Energético para Edificación, la cual está fundada en un estudio profundo de la realidad nacional e internacional, se recomienda trabajar con esos lineamientos. Sin embargo, se complementa la información existente con aportes técnicos en base a la experiencia del consultor.

¹⁰ Por línea de referencia se entiende una comparación contra valores de otras edificaciones con condiciones similares. Como ejemplo, las viviendas VIS en Barranquilla ingresadas al sistema consumen XX [kW/m²-año] en promedio. Frente a este valor, las nuevas metas públicas se establecen en reducir en YY [%] dicho valor.

Este equipo también valora la propuesta de la UPME y recomienda esta iniciativa incorporando los 3 pasos anteriormente mencionados lo que permite a su vez transmitir de manera simple a los usuarios los atributos de su vivienda.

Un sistema de etiquetado está compuesto por las siguientes partes:

1. Estándares
2. Herramientas de cálculo
3. Metodología de comparación
4. Certificado, Etiqueta y/o Sello
5. Informe o Reporte complementario
6. Plataforma de reporte
7. Registro de evaluadores
8. Manual de procedimiento
9. Escala o clasificación de eficiencia

Ya se ha explicado en profundidad las primeras tres partes: estándares, herramienta de cálculo y metodología de comparación, por lo que a continuación se explicará en qué consisten las demás partes.

4. **Certificado, Etiqueta y/o Sello:** Instrumento gráfico que entrega información resumida del desempeño energético del edificio, mostrando resultados principales, indicadores energéticos y escala de eficiencia.
5. **Informe o reporte:** Informe que debe emitir la herramienta de cálculo al final del proceso de cálculo con los resultados del comportamiento energético y térmico del edificio y los resultados de comparación. Se caracteriza por contener información detallada del edificio y de su comportamiento energético.
6. **Plataforma de reporte:** en general se recomienda contar con una plataforma web que permite ingresar la información de los proyectos, verificar estándar de cumplimiento, ordenar la información ingresada necesaria para la evaluación energética y permitir la emisión del certificado, etiquetado y/o sello y el informe energético del proyecto. Esta plataforma puede asegurar que los datos obtenidos de los etiquetados energéticos están archivados de una forma organizada y centralizada (una base de datos única)
7. **Registro de evaluadores:** Es fundamental que el sistema considere un registro de evaluadores acreditados para cumplir con la función de llevar a cabo la calificación o certificación de edificios. Este registro es parte del sistema y debe ser administrado por la parte responsable del procedimiento para la certificación o etiquetado energético.
8. **Manual de procedimiento:** Documento que contiene las directrices técnicas, procedimentales y de gestión, necesarias para realizar calificaciones o certificaciones energéticas de edificios.
9. **Escala o clasificación de eficiencia:**

Además del indicador numérico de eficiencia energética, ejemplo 15 kWh/m² año, el certificado o etiquetado energético puede contener clases de eficiencia energética. A continuación, se presentan dos formas de representar clases o escalas de eficiencia en un etiquetado.

- El del lado izquierdo está desarrollado con un indicador y con clasificación en escala de letras, donde A es el con mejor comportamiento y G con el comportamiento más desfavorable.
- El del lado derecho está desarrollado a partir de un indicador y en vez de contar con una clasificación energética, presenta el desempeño del edificio en una banda de comportamiento sin clasificarlo.

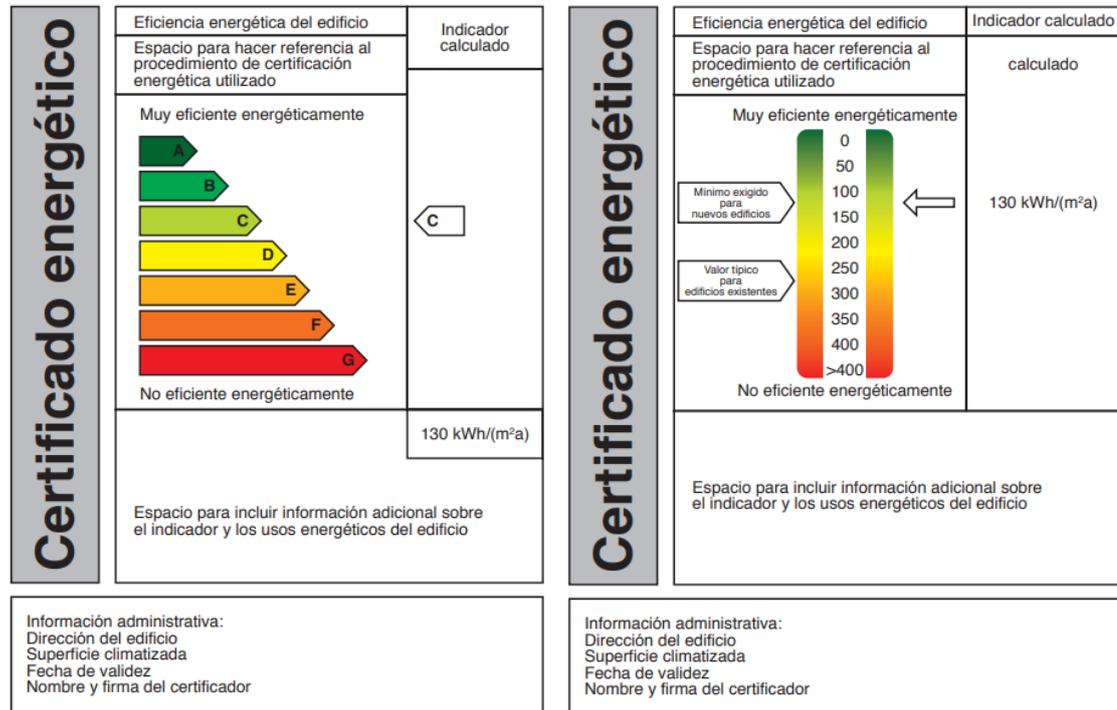


Figura 4: dos tipologías de etiquetado con y sin sistema de clasificación

4.2.5 Sistemas de Control y Gestión

En los tres documentos estratégicos para construcción sostenible se hace referencia a la importancia de contar con Mecanismos de Control y Gestión tanto de la implementación normativa como de los instrumentos como un etiquetado energético. En este sentido el MVCT ha estado trabajando en un "mecanismo de seguimiento y control" de cumplimiento de la Resolución N° 0549 que es una herramienta única que permitirá comparar resultados. Sin embargo, se hace mención en la Política Nacional de Edificación Sostenible la relevancia de integrar este sistema de control a un Sistema Único de Información. Pero se recalca que hay que identificar la diferencia entre los datos de consumo teóricos obtenidos de simulaciones energéticas de proyectos v/s los datos de consumo real levantados de cuentas eléctricas. Por lo que se estima necesario contar con sistemas de información independientes para bases de datos de etiquetados o simulaciones energéticas v/s auditorías energéticas.

4.2.6 Incentivos

A pesar de que en Colombia existe una serie de incentivos financieros que apoyan la implementación de construcción sostenible tanto del sector público como privado y desde los municipios locales. A continuación, se mencionan algunos:

- EcoBERTURA, iniciativa articulada entre el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, el Ministerio de Hacienda y Crédito Público y el Departamento Nacional de Planeación, que busca dinamizar la vivienda No VIS sostenible en el país.
- Acuerdo municipal 066 de 2017: por medio de la cual se expide la normativa sustantiva aplicable a los tributos vigentes en el municipio de Medellín, la cual establece incentivos tributarios a proyectos de construcción sostenible.
- Incentivo en el marco del artículo 255 del Estatuto Tributario para edificaciones que se encuentren certificadas en su fase de diseño por un ente certificador acreditado nacional o internacionalmente en construcción sostenible (Decreto 2205 de 2017, Resolución 0367 que adiciona la Resolución 1988 de 2017).

- La exclusión del IVA, incentivo en el marco de lo contenido en el Estatuto Tributario orientado a promover algunas medidas pasivas en la construcción de edificaciones que se encuentren en proceso de obtener alguna certificación energética o ambiental, de orden nacional o internacional (Plan de Acción Indicativo del PROURE 2017-2022), incentivo aplicable en el marco del artículo 424 numeral 7 del Estatuto Tributario para edificaciones que se encuentren certificadas en su fase de diseño por un ente certificador acreditado de orden nacional o internacional en construcción sostenible (Decreto 1564 de 2017, Resolución 1988 de 2017 y Resolución UPME 585 de 2017).
- Por otra parte, se destaca la emisión de bonos verdes y bonos clima, dos productos financieros diseñados para conseguir recursos que ayuden a fondear proyectos con ahorros en energía y agua en industrias como transporte, desechos, agricultura, industria y construcción, lo que incluye vivienda.

Dado que existe un ecosistema de instrumentos financieros, se recomienda una mayor coordinación entre las entidades para contar con un sistema de incentivos que esté alineado por una parte con la Resolución N°549 y por otra parte con la agenda de etiquetado energético de edificación que está desarrollando la UPME.

4.2.7 Resumen de lineamientos propuestos

Hoja de Ruta de Eficiencia Energética para Edificación				
Lineamientos Generales	Descripción	Tiempos	Responsable	Instituciones involucradas
Coordinación intersectorial e interinstitucional	<p>Contar con una orgánica institucional que permita coordinar a los actores para impulsar en forma conjunta la agenda no sólo de eficiencia energética sino de sostenibilidad. Para esto, se propone contar con:</p> <p>1.- Mesa Técnica entre los Ministerios relacionados a la implementación regulatoria de iniciativas y criterios de Construcción Sostenible.</p> <p>2.- Mesas Técnicas con representantes de los mismos ministerios en cada región de manera de asegurar la coordinación con los municipios.</p> <p>3.- Formalizar una mesa de trabajo con el sector público, privado y academia que permita ir discutiendo los nuevos estándares y medidas a implementar en la industria y lograr avances bajo consenso sectorial.</p>	Indefinido	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio	<p>1 y 2) Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio, Ministerio de Minas y Energía, y Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.</p> <p>3) ídem 1 y 2 más Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, Camacol, Sociedad Colombiana de Arquitectos y universidades.</p>
Definición de nivel de pobreza energética en relación con el confort térmico	Realizar auditorías energéticas y monitoreos térmicos en las diferentes tipologías de edificación con el objeto de identificar los niveles de Pobreza Energética vinculados a las brechas de confort térmico en las diferentes regiones del País. Esta información permitirá definir mejores estándares térmicos de edificación.	Al menos 1 año	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio, Ministerio de Minas y Energía

Definición de marco técnico bajo consenso con la industria	Se proponen tres pasos estratégicos para estandarizar, calcular y cuantificar energía asociada a las edificaciones y que se describen a continuación: Paso 1: Definición de estándares Paso 2: Homologación de condiciones de cálculo; herramientas de cálculo Paso 3: Comparación y gestión de resultados	Paso 1 mínimo 3 años si se consideran ensayos Paso 2: un año Paso 3: tres años	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio, Ministerio de Minas y Energía, más Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, Camacol, Sociedad Colombiana de Arquitectos y universidades.
Sistema de etiquetado	Trabajar bajo lineamientos de la Hoja de Ruta de implementación de Etiquetado de la UPME.	3 años en desarrollo, puesta en marcha e implementación definitiva	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio, Ministerio de Minas y Energía
Sistemas de Control y Gestión	Contar con sistemas de información independientes para bases de datos de etiquetados o simulaciones energéticas v/s auditorías energéticas.	3 años en desarrollo, puesta en marcha e implementación definitiva	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio, Ministerio de Minas y Energía
Incentivos	Se recomienda una mayor coordinación entre las entidades para contar con un sistema de incentivos que esté alineado por una parte con la Resolución N°549 y por otra parte con la agenda de etiquetado energético de edificación que está desarrollando la UPME.	3 años en desarrollo, puesta en marcha e implementación definitiva	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio	Ministerio de Vivienda Ciudad y territorio, Ministerio de Minas y Energía y Ministerio de Hacienda

5 RESULTADO SOCIALIZACIÓN Y CAPACITACIÓN

5.1 Desarrollo Workshop - socialización

El día lunes 10 de abril, en el marco de un Workshop organizado por CEELA para presentar los resultados de la primera etapa del proyecto CEELA en Colombia, se realizó la primera capacitación de la “Herramienta de cálculo de demanda energética para refrigeración Residencial”.

A continuación, se presenta el programa de la jornada:

Tabla 5.1: Segunda parte programa workshop

Parte 2	3:50 - 5:30	capacitación: Herramienta de cálculo térmico como insumo para la comprobación de demanda energética de viviendas en Colombia	Nicola Borregaard - Codirectora del Proyecto CEELA
		Contexto internacional de etiquetado energético	Ayesha Salas, Paola Valencia y Matías Yachan (E3)
		Contexto nacional de desarrollo de políticas de eficiencia energética	
		Descripción y objetivo de la herramienta	
		Marco normativo que define la metodología de trabajo de la herramienta.	
		Explicación de la herramienta	
	Ejemplos de uso y resultados		
	5:30 - 5:50	Dinámica consulta pública herramienta Colombia	Angélica Ospina- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible
	5:50 - 6:00	Conclusiones y cierre	Nicola Borregaard - Codirectora del Proyecto CEELA

En la segunda parte de la jornada, se realizó una introducción dirigida por Nicola Borregaard sobre los objetivos de la herramienta y se solicita a los participantes que respondan un formulario que se entregó previamente para identificar el interés del público en la herramienta, en capacitarse en ésta y si puede ser una herramienta útil para facilitar el cumplimiento de la Res. 0549. La idea es que al final de la sesión se pueda conversar sobre las visiones de los participantes sobre la herramienta.

Adicionalmente, se les hace entrega de la herramienta a los asistentes y se les solicita a los que tengan computador que la abran para revisarla mientras se va realizando la capacitación.

A partir de ese momento se da inicio al bloque de capacitación, donde en una primera etapa, Paola Valencia y Ayesha Salas presentan un contexto político-técnico nacional, sobre políticas que impulsan la construcción sustentable y en específico la eficiencia energética y que a su vez da justificación para la existencia de esta herramienta. En la segunda etapa, Matías Yachan realiza la presentación de la herramienta y muestra ejemplos de uso.

Al finalizar la presentación, Nicola Borregaard comenta que la herramienta puede ser muy útil para los diferentes participantes, y solicita retroalimentación en los formatos para ver cuáles podrían ser los próximos pasos de la herramienta y conocer las oportunidades de mejora. En este punto Angélica Ospina del CCCS, pide que se incluyan en el formato los puntos claves de evolución de la herramienta y cómo puede mejorar en el futuro.

A partir de ese momento, se abre la discusión con los asistentes frente a preguntas y comentarios que tengan de la herramienta. A continuación, se presentan los principales comentarios:

- a) Se pregunta ¿si es posible evaluar una edificación de manera completa y no por vivienda?
 - o Respuesta: Matías comenta que se puede, pero el volumen de aire será mucho más grande y que se perderán detalles específicos relativos a la ubicación de cada vivienda, por lo que se recomienda mostrarlo por unidad.
 - o Nicola complementa la respuesta especificando que para estos casos lo mejor es tomar las tipologías del edificio. Adicionalmente se comenta que mostrarlo por unidad es una estrategia de marketing que utilizan los desarrolladores en Chile donde el etiquetado es por unidad de vivienda
 - o Se destaca que en Colombia es importante contar con la información del desempeño energético del edificio para acceder a instrumentos financieros verdes, por lo que se solicita revisar la posibilidad de incorporar este indicador en la herramienta.

- b) ¿Cuál es la diferencia entre esta herramienta y EDGE App? y ¿cuál es la línea base que tiene la herramienta? Adicionalmente, se pregunta por los otros sistemas que consumen energía y la razón de por qué no se incluyen en la herramienta y que pueden ser muy significativos en el ahorro energético de un edificio.
 - o Respuesta: Se aclara que esta herramienta es específica para el cálculo térmico de confort y climatización en refrigeración, razón por la que no incluye sistemas de agua caliente y ascensores, entre otros. Con respecto a EDGE, el cálculo de esta herramienta al ser por unidades es distinto y tiene que ver con que el cálculo se relaciona con un flujo de aire y por lo tanto depende de la acumulación de calor según la orientación del edificio. Cuando se pone esto en una gran unidad (como sucede en Edge, sin diferenciación por orientación) se pierde el efecto de acumulación calórica. Adicionalmente en EDGE se limitan un poco las opciones de mejora, por lo que esta herramienta es más flexible.

- c) Se consulta sobre ¿Cuál es la utilidad de la plataforma para lograr los objetivos de la Resolución 0549? y ¿Qué tienen que ver con cómo integrar lo que hace falta para lograr las metas de la Resolución? También se señala que la Resolución incluye todos los consumos de energía y haría falta incluirlos, también en cómo lograr que se refleje el consumo real de energía y que permita tener una línea base ajustada a esta realidad.
 - o Respuesta: Matías comenta que solo el 4% de las viviendas en Colombia son climatizadas, por lo que cuando se inició con la herramienta se tenía la duda de si tener una línea base que refleje una condición de confort o una que refleje consumos reales. Se tomó la decisión de asumir que los usuarios estuvieran en una vivienda confortable ya que este es el objetivo, lograr eficiencia, pero en condiciones de confort y por esto es importante, aunque no se refleje el consumo real de energía.

- d) Surge la duda de cómo saber si se cumple o no con la Resolución 0549.
 - o Respuesta: Nicola explica que se espera que en algunos años se tenga una herramienta directa para la Resolución 0549 y que en el momento es una herramienta más de apoyo para el diseño de los proyectos. Paola comenta que este es un primer puente de comunicación entre la Resolución y el etiquetado

energético, pensando en cómo puede colaborar la herramienta con ambos requerimientos.

- e) Otros comentarios del público:
- Se señala que se puede trabajar en ciudades o departamentos como Cali, Antioquia y Bogotá, con el fin de hacer uso de la herramienta de manera efectiva.
 - También se destaca que más allá de una herramienta exacta, existe una oportunidad para la toma de decisiones desde las primeras etapas de diseño de los proyectos y hacer comparaciones con diferentes soluciones constructivas, que permitan su evaluación a nivel presupuestal para tomar decisiones considerando factores ambientales, financieros y de confort al usuario
 - Se resalta que es una herramienta muy importante para Colombia al ser de código abierto. También comenta que es necesario capacitar y calificar la utilidad de la herramienta y volver más objetivo el marco normativo que es lograr eficiencia, pero en confort y para lo cual se debe cambiar la práctica actual de construcción.
 - Se comenta que la herramienta es paso muy importante y que se le pueden adicionar los otros consumos de energía de manera más sencilla. Lo que ya se hizo es lo más difícil, pero es necesario estandarizar los rangos de confort.
- f) Consulta: ¿qué tan viable es modificar los rangos de confort adaptativos?, debido a que los rangos para Bogotá son diferentes a los que se están manejando y se pregunta cómo se podría integrar la ventilación natural. El confort no solo se logra desde la climatización, sino que Colombia tiene la oportunidad de integrar la ventilación natural como solución pasiva.
- Matías comenta que respecto al confort adaptativo no es posible cambiar el rango y se trabajó con el rango de la Resolución 0549. Respecto a la ventilación ya se incluyó en la herramienta, a través de una casilla que permite reflejar la apertura de ventanas.

5.2 Propuestas de nuevas iniciativas levantadas en el workshop

Por otra parte, se le solicitó a los asistentes del workshop que realizaran una serie de propuestas de iniciativas que estimaban eran necesaria para seguir avanzando en Eficiencia Energética en el sector edificación de Colombia. Los resultados de esas propuestas se muestran a continuación:

5.2.1 Marco regulatorio

- Acciones para la implementación efectiva de la Res 0549:
 - Desarrollo de herramientas para el monitoreo y control de la resolución.
 - Capacitación a personas y en municipios para la implementación efectiva de la resolución.
 - Generar equivalencias entre las diferentes herramientas y la Resolución: etiquetado y sistemas de certificaciones.
 - Alinear el proyecto de etiquetado con la Resolución 0549.
 - Apoyar este proceso de actualización y el siguiente (actualización línea base, inclusión de otros aspectos de sostenibilidad).
- Apoyar el proceso de etiquetado de edificios nuevos, pero también trabajar sobre edificios existentes ya que en esto último hay un gran vacío en el país.
- Trabajar en esquema legal para vivienda rural sostenible y vivienda social sostenible.
- Apoyar procesos de implementación de la resolución 0549 a nivel local, así como el desarrollo de incentivos municipales.
- Apoyar la articulación de actores para el desarrollo de instrumentos normativos eficaces.

- Trabajar en una regulación frente a una adecuada ventilación de los espacios.
- Estandarizar indicadores y procedimientos para medir y reportar el carbono operacional y embebido de las edificaciones.

5.2.2 Capacitación

- Realizar formación dirigida al gobierno tanto nacional como municipal
- Establecer programas de formación dirigidos al usuario final, hacer campañas de sensibilización.
- Capacitar en temas de diseño bioclimático, materiales y confort como tema central en uno de los programas de formación.
- Realizar capacitación sobre la Resolución 0549.
- Promover concursos para tener proyectos ejemplares donde la academia y los estudiantes se puedan integrar a estos procesos.
- Usar otras metodologías de capacitación como el storytelling, metodología de talleres de diseño, videos interactivos, etc. Dirigidos a diferentes tipos de actores.
- Replicar acciones a través de plataformas virtuales.
- Apoyarse en los gremios y asociaciones para lograr mayor difusión de las capacitaciones.
- Realizar educación a copropiedades y operadores.
- Dirigir capacitaciones al personal de obra.
- Realizar acuerdos con universidades para incluir el tema de construcción sostenible en los pensum de las carreras de la cadena de valor de la construcción.

5.2.3 Financiamiento

- Apoyar el fortalecimiento de beneficios e incentivos.
- Apoyar el desarrollo de modelos de negocio alternativos como el producto como servicio y otros que permitan avanzar hacia neto cero.
- Apoyar la ampliación de diferentes esquemas de financiamiento y la creación de nuevos orientados a la construcción sostenible como los créditos flexibles.
- Apoyar a los municipios en la creación de incentivos locales y dar acompañamiento en términos de financiación.
- Apoyar el desarrollo de financiamiento verde para proyectos existentes.

5.2.4 Otros:

- Desarrollar una guía nacional que consolide los incentivos que existen en el país a nivel nacional y local, y cómo se puede acceder a estos.
- Desarrollar una plataforma de proveedores de construcción sostenible

5.3 Relación entre Propuesta de Lineamientos Hoja de Ruta con Propuestas realizadas en el Workshop

Se puede observar que las propuestas realizadas por el público del workshop se alinean, en su mayoría, con los propuestos por la presente consultoría tanto en el desarrollo metodológico como en la hoja de ruta. A continuación, se destacan las principales propuestas:

- Promover la coordinación interinstitucional y con actores de la industria
- Alinear el desarrollo entre la Res. N°0549 y el sistema de etiquetado
- Apoyar proceso de implementación de la Res. N°0549
- Desarrollo de herramientas para el monitoreo y control de la resolución.
- Avanzar en regulación en esta materia
- Estandarizar indicadores y procedimientos para reportar carbono operacional y embebido.
- Promover capacitación al gobierno, municipios y gremios en estos temas.

5.4 Capacitación online

El día miércoles 17 de mayo, se llevó a cabo la segunda capacitación sobre la Herramienta. En esta ocasión el evento fue desarrollado en modalidad webinar y fue organizado en forma conjunta entre el equipo CEELA y la Sociedad Colombiana de Arquitectos.

La capacitación quedó grabada en el siguiente link [WEBINARr- CYCLUS: PROYECTO CEELA](#).

A continuación, se presentan algunas imágenes de diferentes partes del evento. La primera corresponde al inicio donde se realiza una introducción del proyecto CEELA, la segunda corresponde a la presentación del contexto político y normativo de Eficiencia Energética para edificación en Colombia, presentado por Paola Valencia y la tercera imagen corresponde a la etapa en donde Matías Yachan presenta el marco técnico y la operación de la herramienta de cálculo.



Figura 5: Imagen de los inicios del webinar.

Políticas Construcción Sostenible MinVivienda Resolución N° 0549 de 2015

Cuenta con dos documentos de apoyo:

Anexo 1 "Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones", la cual entrega la Línea Base de Referencia y medidas activas y pasivas recomendadas para lograr los ahorros establecidos en la Res. 0549.

Anexo 2 "Mapa de Clasificación del Clima en Colombia según la Temperatura y la Humedad Relativa y listado de municipios", cuyo fin es la identificación de los requisitos de la resolución según zonificación climática.

Anexo No. 1
Línea Base de consumo de energía

Municipio	Res	Temperatura	Cálculo	Consumo
Medellín	96,1	19,1	115,1	217,4
Bogotá	249,8	19,2	244,1	344,1
Cali	81,2	19,2	116,2	217,4
Cúcuta	81,8	19,8	118,8	218,1
El Valle	40,2	40,2	70,2	208
Manizales	40,2	40,2	70,2	208
Medellín	40,2	40,2	70,2	208
Medellín	40,2	40,2	70,2	208
Medellín	40,2	40,2	70,2	208
Medellín	40,2	40,2	70,2	208

Figura 6: Presentación del contexto político y normativo de Eficiencia Energética

Flujos de calor simplificado

Diagram illustrating the components of heat flow: Solar radiation, Internal gains, Envelope losses, Thermal bridges, Thermal inertia, Air infiltration, Ventilation, and Climatic control.

$$Q[W] = \sum Q_{\text{cargas internas}} + Q_{\text{ganancia solar}} \pm [Q_{\text{envoltorio}} \pm Q_{\text{puentes térmicos}} \pm Q_{\text{inercia térmica}}] \pm [Q_{\text{filtraciones}} \pm Q_{\text{ventilación}}] \pm Q_{\text{climatización}}$$

Toda esta parte del flujo es lo que tiene que ver las condiciones que tenemos que afrontar el clima, y como lo abordamos con nuestra arquitectura, el **Diseño Pasivo**

El resultado es: **Demanda de energía**

Figura 7: Presentación marco técnico y la operación de la herramienta de cálculo

6 CONCLUSIONES

Este estudio hace entrega de una herramienta de cálculo por desempeño bajo la metodología establecida en la norma ISO 52.016 – cálculo mensual. Dicha herramienta fue comparada con los resultados presentados en la norma Ashrae 140 concluyendo satisfactoriamente para los casos de análisis 600 y 900.

Por otra parte, se ha solicitado como un adicional a la consultoría desarrollar una propuesta de lineamientos generales para construir una Hoja de ruta de eficiencia energética para edificación, para su desarrollo se ha trabajado en primera instancia en la recopilación de antecedentes desarrollados en los últimos años por diversas instituciones del Estado de Colombia los cuales ya habían identificado brechas, que en su mayoría se comparten por el presente equipo consultor. Por lo que los lineamientos propuestos están basados principalmente en definiciones previas realizadas por el Estado de Colombia más aportes técnicos y estratégicos por parte del presente equipo consultor basados en la experiencia técnica y política en estos temas.

Desde el Marco técnico se recomienda colocar especial atención en el desarrollo de los siguientes tres pasos definidos en nuestra propuesta de Hoja de Ruta:

- **Paso 1: Definición de estándares**
 - Se identifica una brecha relevante para un correcto desarrollo de una hoja de ruta, por lo que la estandarización de condiciones de entrada para futuros cálculos de cuantificación cobra relevancia. Los puntos más relevantes a estandarizar en una primera etapa a través archivos, manuales o ensayos nacionales corresponden a:
 - Archivos climáticos
 - Propiedades de los materiales
 - Ensayos de Infiltraciones y puentes térmicos.
 - Potencias y eficiencias de equipos
- **Paso 2: Homologación de condiciones de cálculo; herramientas de cálculo**
 - Como equipo asesor, frente a la realidad nacional colombiana proponemos que se desarrolle una herramienta única de cálculo, que contemple los estándares indicados en el Paso 1 y que cuya metodología responda a un marco normativo internacional, de tal manera de cuantificar, comparar y homologar sus resultados facilitando su futura gestión.
- **Paso 3: Comparación y gestión de resultados**
 - Respetando los pasos 1 y 2 propuestos, lo cual facilita la gestión de resultados, se recomienda el desarrollo e implementación de un sistema de etiquetado, sistema que va alineado con las políticas de eficiencia energética en Colombia.

Se recalca la importancia de la coordinación estrecha entre el Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio y el Ministerio de Minas y Energía tanto para la definición de línea base, estándares, herramienta de cálculo y sistema de etiquetado.

Por otra parte, se destaca la realización de dos actividades de difusión, la primera fue un workshop de sensibilización de la herramienta con los actores más relevantes de la industria y la segunda correspondió a una capacitación ampliada por medio de un webinar. Se destaca la participación de los asistentes a ambas capacitaciones, lo que, de alguna manera, permitió delinear nuevas iniciativas, en concordancia con los lineamientos para una Hoja de Ruta de Eficiencia Energética establecidos en este documento y que permitirán dar cuerpo a una segunda etapa del proyecto CEELA y al desarrollo de la herramienta, con el fin de apoyar a la política de Construcción Sostenible y Eficiencia Energética de Colombia.

Se observó que las propuestas realizadas por el público en los workshop se alinean, en su mayoría, con los propuestos por la presente consultoría tanto en el desarrollo metodológico como en la hoja de ruta. A continuación, se destacan las principales propuestas:

- Promover la coordinación interinstitucional y con actores de la industria
- Alinear el desarrollo entre la Res. N°0549 y el sistema de etiquetado
- Apoyar proceso de implementación de la Res. N°0549
- Desarrollo de herramientas para el monitoreo y control de la resolución.
- Avanzar en regulación en esta materia
- Estandarizar indicadores y procedimientos para reportar carbono operacional y embebido.
- Promover capacitación al gobierno, municipios y gremios en estos temas.



Paola Valencia M.
Gerenta de Sostenibilidad E3 Ingeniería
Arquitecta



Matías Yachán V.
Ingeniero Civil Estructural.
Pp. E3 Ingeniería SpA

pvm/myv /dus

Santiago, mayo 2023

7 GLOSARIO

- a) **Condiciones de borde:** Para efectos del desarrollo de una herramienta de cálculo energético de edificación, corresponden a los datos de entrada que permitirán evaluar el comportamiento energético del edificio en condiciones predeterminadas para permitir comparar datos entre los diferentes edificios a evaluar. Los datos de entrada o condiciones de borde que se recomienda queden preestablecidos son:

Datos climáticos

- Archivo con los datos climáticos del lugar a analizar, como temperatura, humedad radiación

Datos de operación

- Horarios de uso de persona, iluminación y otros equipos.
- Cantidad de persona, iluminación y otros equipos de acuerdo con los diferentes horarios.
- Cantidad de energía emitida por persona, iluminación y otros equipos.
- Indicadores de ventilación natural, forzada e infiltraciones.

- b) **Consumo de energía:** Cantidad de energía utilizada para satisfacer la demanda energética para calefacción o refrigeración, dependiendo del rendimiento del sistema de clima. (Bustamante, 2009)
- c) **Demanda de energía:** Es la energía necesaria para mantener en el interior del edificio las condiciones de confort definidas mediante el uso del edificio. Se determina la demanda energética de calefacción, correspondiente a los meses de la temporada de calefacción y la de refrigeración, corresponde a los meses de la temporada de refrigeración. (Energética, 2022)
- d) **Dióxido de carbono equivalente (Co₂ eq):** es una medida universal utilizada para indicar en términos de CO₂, el equivalente de cada uno de los gases de efecto invernadero con respecto a su potencial de calentamiento global. Es usado para evaluar los impactos de la emisión (o evitar la emisión) de diferentes gases que producen el efecto invernadero. (Ambiente, 2022)
- e) **Método de cálculo horario para herramientas de cálculo de energía en edificios:** normado por la ISO 52.016-1 y basado en la norma ISO 52.017-1. El objetivo principal del método de cálculo horario es poder tener en cuenta la influencia de las variaciones horarias y diarias en el clima, el funcionamiento (persianas solares, termostatos, necesidades, ocupación, acumulación, etc.) y sus interacciones dinámicas para calefacción y refrigeración. La entrada adicional de datos para el usuario en comparación con el método de cálculo mensual se mantiene al mínimo. (Standard, 2017)
- f) **Método de cálculo mensual:** Con el método de cálculo mensual se realiza el balance térmico del edificio o zona térmica del edificio en un intervalo de tiempo mensual. Los efectos dinámicos se tienen en cuenta mediante corrección y factores de ajuste que pueden desarrollarse sobre la base de series de cálculos utilizando los procedimientos de cálculo por hora.
Debido a que las condiciones de uso y los supuestos (p. ej., sobre la cantidad de ventilación) pueden ser diferentes durante los días con necesidades de calefacción y los días con necesidades de refrigeración, se realizan dos cálculos independientes para cada mes: primero, el cálculo de la energía necesaria para calefacción, utilizando el supuesto condiciones de calefacción y, en segundo lugar, el cálculo de la energía necesaria para la refrigeración, utilizando las condiciones supuestas para la refrigeración.

El cálculo mensual de la energía necesaria para calefacción y refrigeración se basa en las mismas suposiciones y condiciones límite que el cálculo horario de la energía necesaria para calefacción y refrigeración. También se utilizan las mismas entradas, en la medida de lo posible, aunque se promedian mensualmente y, cuando corresponde, se corrigen para aproximar el impacto de los efectos y las interacciones dinámicos (por ejemplo, calor recuperable o frío de los sistemas técnicos del edificio, acciones de control) que no están cubiertos por el intervalo de tiempo mensual. (Standard, 2017)

- g) **Motor o herramienta de cálculo energético:** herramientas que permiten calcular o estimar la cantidad de energía necesaria para satisfacer la demanda de energía asociada a un uso típico del objeto evaluado, como la demanda para calefacción y refrigeración de un edificio. (Standard, 2017)
- h) **Motor de cálculo estático:** herramientas simplificadas de cálculo energético, funcionan en régimen estacionario considerando un número limitado de factores. Se utilizan para el etiquetado energético con el fin de comparar los diferentes rendimientos en estándar condición de uso. El software simula solo parcialmente el desempeño real del edificio, ya que no considera los cambios periódicos de temperatura para evaluar la eficiencia energética general. La corrección y precisión de los datos de entrada, por supuesto, tienen una importancia fundamental para determinar los resultados finales. (R.S. ADHIKARI, 2013)
- i) **Motor de cálculo dinámico:** es una herramienta que analiza en detalle las contribuciones de la inercia térmica de los muros, la variabilidad de la temperatura exterior, la radiación solar, la ventilación natural y la gestión de usuarios. Se deben utilizar datos detallados para describir tanto las condiciones climáticas como las propiedades del edificio. (R.S. ADHIKARI, 2013)
- j) **Pobreza energética:** De esto deriva la definición de pobreza energética a nivel de hogar cuando este no tiene acceso equitativo a servicios energéticos de alta calidad (adecuados, confiables, no contaminantes y seguros) para cubrir sus necesidades fundamentales y básicas, que permitan sostener el desarrollo humano y económico de sus miembros. (Calvo, 2021). Y con respecto a la pobreza energética en climatización se refiere a la incapacidad de satisfacer la cantidad de energía necesaria para mantener la edificación en rangos de confort térmico definidos.
- k) **Vivienda de Interés Social (VIS):** Es aquella que reúne los elementos que aseguran su habitabilidad, estándares de calidad en diseño urbanístico, arquitectónico y de construcción cuyo valor máximo es de ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMLM). Actualmente 1 SMLM está en \$1 millón de pesos¹¹.
- l) **Vivienda de Interés Social Prioritaria (VIP):** Es aquella vivienda de interés social cuyo valor máximo es de setenta salarios mínimos legales mensuales vigentes (70 SMLM).
- m) **Vivienda No VIS:** Es aquella vivienda cuyo valor supera los ciento treinta y cinco salarios mínimos legales mensuales vigentes (135 SMLM).
- n) **Estrato socioeconómico:** La estratificación socioeconómica es una clasificación en estratos de los inmuebles residenciales que deben recibir servicios públicos. Se realiza principalmente para cobrar de manera diferencial por estratos los servicios públicos domiciliarios permitiendo asignar subsidios y cobrar contribuciones en esta área.

¹¹ <https://www.minvivienda.gov.co/viceministerio-de-vivienda/vis-y-vip>

De esta manera, quienes tienen más capacidad económica pagan más por los servicios públicos y contribuyen para que los estratos bajos puedan pagar sus facturas.

- Estrato 1 y 2 (bajo)
- Estrato 3 y 4 (medio)
- Estrato 5 y 6 (alto)

Unifamiliar: Edificaciones o espacios empleados principalmente como vivienda o dormitorio de una o dos familias, o de menos de 20 personas.

Multifamiliar: Edificaciones o espacios empleados principalmente como vivienda o dormitorio de tres o más familias, o de más de 20 personas.

8 ANEXO

8.1 Manual de uso “Herramienta de cálculo de térmico como insumo para la comprobación de demanda energética para refrigeración Viviendas en Colombia”

8.2 Presentación Workshop y Capacitación

Se adjunta PDF presentación workshop del 10 de abril del 2023.