



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

# **Investigación pre-normativa de control térmico en fachadas de edificios multifamiliares tipo VIS en la ciudad de Bogotá D.C.**

**Jaiber Leandro Vega Trujillo**

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Bogotá D.C. Colombia

2016



# **Investigación pre-normativa de control térmico en fachadas de edificios multifamiliares tipo VIS en la ciudad de Bogotá D.C.**

**Jaiber Leandro Vega Trujillo**

Tesis como requisito parcial para optar al título de:  
**Magister en Construcción**

Director:

Arquitecto MSc. Andrés Felipe Pérez.

Línea de Investigación:

Profundización en Tecnología

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Artes

Bogotá D.C. Colombia

2016



*Dedicatoria*

*A mi madre, cuyo esfuerzo siempre  
ha sido soporte del mío.*



## **Agradecimientos**

Un agradecimiento especial a todas las personas que de una u otra manera han participado en la realización de esta tesis, y muy especialmente al profesor Andrés Felipe Pérez por su asistencia en todas las etapas de este proceso.





## Resumen

Colombia se presenta como un país con todos los pisos térmicos y ciudades ubicadas desde las costas hasta las montañas, con diferentes climas que exigen la utilización de diferentes técnicas y materiales constructivos que permitan responder de manera eficiente a las condiciones climáticas locales, sin embargo no existe certeza de que esto sea así. Por esta razón, se realiza este estudio en el que se analiza la influencia en el confort térmico, de los materiales en los tipos de fachada utilizados en la vivienda de interés social, esta vista como principal mecanismo del gobierno nacional para satisfacer el déficit habitacional en los colectivos de menos recursos, y por tanto una población sensible.

Para lograr este objetivo, se contrasta el comportamiento térmico de las fachadas, con modelos de confort adaptados a las condiciones particulares de Bogotá D.C, obteniendo resultados que permiten realizar una propuesta de anteproyecto de norma, para control térmico de fachadas, permitiendo avanzar en el comportamiento de los cerramientos y de esta forma mejorar el confort térmico en las viviendas de interés social.

**Palabras clave: confort, VIS, vivienda, transmitancia térmica, reglamentación térmica, condensaciones**

## Abstract

Colombia is presented as a country with all thermal floor and cities located from the coasts to the mountains, with different climates that require the use of different construction techniques and materials, that allow respond efficiently to local climatic conditions way, however there certainty that this is so. For this reason this study that the influence is analyzed in comfort and thermal behavior of the materials in the types of facade used in social housing, is seen as the main mechanism of the national government is made to meet the housing shortage in groups of fewer resources, and therefore a sensitive population.

To achieve this, the thermal behavior of the facades is contrasted with models of comfort adapted to the particular conditions of Bogotá D.C. obtaining results that allow a proposed pre-standard for thermal control of facades thus further the behavior of enclosures and thus improve thermal comfort in social housing.

**Keywords: Comfort, VIS, housing, thermal transmittance, thermal regulation, condensations**



# Contenido

	Pág.
<b>Resumen .....</b>	<b>IX</b>
<b>Contenido.....</b>	<b>XI</b>
<b>Lista de figuras .....</b>	<b>XIII</b>
<b>Lista de tablas .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Lista de ecuaciones .....</b>	<b>XVI</b>
<b>Definiciones .....</b>	<b>XVII</b>
<b>Lista de Símbolos y abreviaturas .....</b>	<b>XX</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
<b>1. Formulación del problema .....</b>	<b>3</b>
1.1 Delimitación del problema .....	4
1.2 Justificación .....	6
1.3 Objetivo General .....	8
1.4 Objetivos Específicos .....	9
<b>2. Marco Teórico.....</b>	<b>11</b>
2.1 Antecedentes .....	11
2.1.1 La vivienda VIS Multifamiliar .....	11
2.1.2 Estudios realizados .....	12
2.1.3 El proceso de normalización en Colombia .....	14
2.1.4 Normativa nacional sobre vivienda y confort .....	15
2.1.5 Normativa Internacional.....	18
2.2 Parámetros para el análisis del comportamiento térmico de fachadas.....	22
2.2.1 Clima y factores climáticos .....	22
2.2.2 Envoltente de la edificación y su influencia en el confort .....	24
2.2.3 Confort.....	32
2.2.4 Estrategias bioclimáticas para el control de temperatura interior.....	35
2.2.5 Resumen .....	37
<b>3. Metodología .....</b>	<b>39</b>
3.1 Presentación .....	39
3.2 Planteamiento del problema.....	40
3.3 Diseño de la investigación.....	40
3.3.1 Preguntas de investigación .....	40

---

3.3.2	Fuentes de datos.....	41
3.3.3	Unidades de análisis .....	41
3.3.4	Muestra.....	41
3.4	Recolección de datos .....	42
3.5	Análisis de datos .....	43
3.6	Reporte de caso .....	43
<b>4.</b>	<b>Desarrollo de la Investigación .....</b>	<b>45</b>
4.1	Confort térmico en la ciudad de Bogotá D.C.....	45
4.1.1	Caracterización climatológica de Bogotá D.C. ....	45
4.1.2	Valores de referencia de confort térmico en la ciudad de Bogotá D.C. ....	53
4.2	Fachadas VIS en la ciudad de Bogotá D.C.....	56
4.2.1	Sistemas constructivos utilizados en la vivienda VIS .....	56
4.2.2	Definición de tipologías de fachada.....	58
4.2.3	Caracterización.....	63
4.3	Rendimiento térmico de fachadas VIS en la ciudad de Bogotá D.C. ....	75
4.3.1	Análisis de comportamiento higrotérmico de tipologías de fachada. ...	75
4.3.2	Valores de referencia de control higrotérmica para Fachadas.....	80
4.3.3	Discusión .....	81
<b>5.</b>	<b>Propuesta de anteproyecto de norma para el control térmico de fachadas en vivienda VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C. ....</b>	<b>84</b>
5.1	Alcance.....	85
5.2	Objeto .....	85
5.3	Definiciones .....	85
5.4	Exigencias .....	87
5.5	Verificación y justificación del cumplimiento de las exigencias.....	88
5.5.1	Procedimiento de verificación.....	88
5.5.2	Justificación del cumplimiento de las exigencias .....	88
5.6	Métodos de cálculo .....	88
5.6.1	Transmitancia térmica de fachadas partes opacas .....	88
5.6.2	Transmitancia térmica de ventanas.....	90
5.6.3	Calculo de condensaciones.....	90
5.6.4	Temperatura radiante plana .....	91
5.7	Conformidad .....	92
5.8	APENDICE A - Clima de referencia .....	93
5.9	APENDICE B – Catálogo de materiales.....	94
5.10	APENDICE C – Formato de descripción de tipología de fachada. ....	95
5.11	APENDICE D - Recomendaciones .....	97
<b>6.</b>	<b>Conclusiones y recomendaciones .....</b>	<b>99</b>
6.1	Conclusiones.....	99
6.2	Recomendaciones.....	100
<b>7.</b>	<b>Bibliografía.....</b>	<b>101</b>

## Lista de figuras

	Pág.
<b>Figura 1-1.</b> Esquema área de influencia fachadas .....	6
<b>Figura 2-1.</b> Proceso General de Normalización .....	15
<b>Figura 2-2.</b> Flujo de calor.....	26
<b>Figura 2-3.</b> Distribución mecánica de aire caliente.....	36
<b>Figura 2-4.</b> Distribución y acumulación a aire a través de una doble piel. ....	36
<b>Figura 3-1.</b> Metodología de estudio de caso .....	39
<b>Figura 4-1.</b> Precipitación y humedad relativa – Bogotá D.C.....	46
<b>Figura 4-2.</b> Localización estaciones meteorológicas – Bogotá D.C. ....	46
<b>Figura 4-3.</b> Temperatura media mensual estaciones meteorológicas Bogotá D.C. ....	48
<b>Figura 4-4.</b> Temperatura media – Variación mensual en Bogotá D.C.....	48
<b>Figura 4-5.</b> Temperatura máxima media mensual estaciones meteorológicas Bogotá D.C. .....	49
<b>Figura 4-6.</b> Temperatura máxima media – Variación mensual en Bogotá D.C.....	50
<b>Figura 4-7.</b> Temperatura mínima media mensual estaciones meteorológicas Bogotá D.C. .....	51
<b>Figura 4-8.</b> Temperatura mínima media – Variación mensual en Bogotá D.C.....	51
<b>Figura 4-9.</b> Resumen variación de temperatura anual en Bogotá .....	52
<b>Figura 4-10.</b> Intervalo recomendado del aislamiento de la ropa que brinda condiciones aceptables a una temperatura operativa dada para personas que realizan actividades principalmente sedentarias ( $\leq 1,2$ met). ....	54
<b>Figura 4-11.</b> Intervalos aceptables de temperatura operativa y humedad para personas que usan ropa de verano o invierno típica durante actividad principalmente sedentaria ( $\leq$ 1,2 met) Los intervalos se basan en un criterio de insatisfacción del 10% definido por la NTC 5316. ....	55
<b>Figura 4-12.</b> Evolución sistemas constructivos vivienda VIS en Bogotá D.C.....	57
<b>Figura 4-13.</b> Tipos de sistemas constructivos año 2015 .....	57
<b>Figura 4-14.</b> Ejemplo de mampostería confinada.....	60
<b>Figura 4-15.</b> Ejemplo de edificación realizada con sistemas industrializados.....	61
<b>Figura 4-16.</b> Formaleta tipo túnel .....	62
<b>Figura 4-17.</b> Formaleta tipo manoportable .....	62

## Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Temperaturas promedio.....	3
<b>Tabla 1-2.</b> Porcentaje de influencia fachadas.....	6
<b>Tabla 2-1.</b> Transmitancia térmica máxima de muros y huecos de la envolvente térmica	20
<b>Tabla 2-2.</b> Transmitancia térmica máxima de muros y huecos de la envolvente térmica.	22
<b>Tabla 2-3.</b> Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en $m^2 \cdot K / W$ Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor .....	27
<b>Tabla 2-4.</b> Transmitancia térmica lineal $\Psi_v$ .....	29
<b>Tabla 3-1.</b> Muestra seleccionada.....	41
<b>Tabla 4-1.</b> Temperatura media por estaciones meteorológicas en Bogotá D.C. ....	47
<b>Tabla 4-2.</b> Temperatura máxima media mensual por estaciones meteorológicas en Bogotá D.C.....	49
<b>Tabla 4-3.</b> Temperatura mínima media mensual por estaciones meteorológicas en Bogotá D.C.....	50
<b>Tabla 4-4.</b> Resumen variación de temperatura anual en Bogotá D.C. ....	52
<b>Tabla 4-5.</b> Valores de aislamiento de ropa para hombres. ....	53
<b>Tabla 4-6.</b> Valores de aislamiento de ropa para mujeres. ....	54
<b>Tabla 4-7.</b> Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valores conductividad térmica de materiales. ....	64
<b>Tabla 4-8.</b> Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valores resistencia térmica de materiales. ....	65
<b>Tabla 4-9.</b> Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valor de resistencia térmica total. ....	65
<b>Tabla 4-10.</b> Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valor de transmitancia térmica .....	66
<b>Tabla 4-11.</b> Cerramiento Tipo 1. Muro de mampostería estructural con bloques de concreto.....	66
<b>Tabla 4-12.</b> Cerramiento Tipo 1. Análisis de transmitancia térmica .....	67
<b>Tabla 4-13.</b> Cerramiento Tipo 2. Muro de mampostería estructural en ladrillos de arcilla	67
<b>Tabla 4-14.</b> Cerramiento Tipo 2. Análisis de transmitancia térmica .....	68
<b>Tabla 4-15.</b> Cerramiento Tipo 3. Muro de mampostería confinada con bloques de concreto.....	68
<b>Tabla 4-16.</b> Cerramiento Tipo 3. Análisis de transmitancia térmica .....	69
<b>Tabla 4-17.</b> Cerramiento Tipo 4. Muro de mampostería confinada con bloques de arcilla. ....	69
<b>Tabla 4-18.</b> Cerramiento Tipo 4. Análisis de transmitancia térmica .....	70
<b>Tabla 4-19.</b> Cerramiento Tipo 5. Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla huecos.....	70
<b>Tabla 4-20.</b> Cerramiento Tipo 5. Análisis de transmitancia térmica .....	71
<b>Tabla 4-21.</b> Cerramiento Tipo 6. Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla macizos. ....	71
<b>Tabla 4-22.</b> Cerramiento Tipo 6. Análisis de transmitancia térmica .....	72
<b>Tabla 4-23.</b> Cerramiento Tipo 7. Muro de concreto mediante sistemas industrializados. ....	72
<b>Tabla 4-24.</b> Cerramiento Tipo 7. Análisis de transmitancia térmica .....	73

<b>Tabla 4-25.</b> Cerramiento Tipo 8. Vidrio sencillo de 4mm. ....	73
<b>Tabla 4-26.</b> Cerramiento Tipo 8. Análisis de transmitancia térmica. ....	74
<b>Tabla 4-27.</b> Resumen valores de transmitancia térmica tipos de cerramiento. ....	74
<b>Tabla 4-28.</b> Pedida de calor de tipologías de fachada.....	76
<b>Tabla 4-29.</b> Temperatura superficie interior de tipologías de fachada.....	78
<b>Tabla 4-30.</b> Humedad relativa mensual – Bogotá D.C. ....	79
<b>Tabla 4-31.</b> Temperatura punto de rocío y riesgo de condensaciones.....	79
<b>Tabla 4-32.</b> Diferencia en Cº Temperatura punto de rocío y superficie interior.....	79
<b>Tabla 4-33.</b> Análisis de valor de referencia para minimizar el riesgo de condensación en la ciudad de Bogotá D.C. ....	81
<b>Tabla 5-1.</b> Exigencias de transmitancia térmica y temperatura radiante. ....	87
<b>Tabla 5-2.</b> Valores climáticos de referencia – Bogotá D.C. ....	93
<b>Tabla 5-3.</b> Valores conductividad térmica de materiales. ....	94
<b>Tabla 5-4.</b> Cerramiento Tipo. Valores conductividad térmica de materiales. ....	97
<b>Tabla 5-5.</b> Cerramiento Tipo. Valores resistencia térmica de materiales. ....	97
<b>Tabla 5-6.</b> Cerramiento Tipo. Valor de resistencia térmica total.....	97
<b>Tabla 5-7.</b> Cerramiento Tipo. Valor de transmitancia térmica .....	98

## Lista de ecuaciones

Ecuación 1.....	26
Ecuación 2.....	27
Ecuación 3.....	27
Ecuación 4.....	28
Ecuación 5.....	28
Ecuación 6.....	31
Ecuación 7.....	31
Ecuación 8.....	32



## Definiciones

### **confort térmico**

condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico, requiere evaluación subjetiva. (ICONTEC, 2004a).

### **ambiente térmico**

las características del ambiente que afectan la pérdida de calor de una persona. (ICONTEC, 2004a).

### **ambiente térmico aceptable**

ambiente que al menos el 80% de los ocupantes encontrarían térmicamente aceptable. (ICONTEC, 2004a).

### **cerramiento**

elemento constructivo del edificio que lo separa del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios. Comprende las cubiertas, suelos, huecos, muros y medianeras. (Ministerio de fomento, 2014).

### **condensación superficial**

condensación de vapor de agua sobre la superficie interna de los cerramientos exteriores que se produce cuando la temperatura de dichas superficies es menor que la temperatura de rocío del aire del recinto que limitan. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

### **conductividad térmica**

flujo de calor transmitido a través de un material de espesor unitario por unidad de superficie, cuando el gradiente de temperatura en dirección normal es unitario. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

### **densidad de flujo de calor**

cociente entre el flujo de calor y el área. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

**envolvente**

está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior. (Ministerio de fomento, 2014).

**fachada**

cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60° respecto a la horizontal. (Ministerio de fomento, 2014).

**flujo de calor**

cociente entre la cantidad de calor que atraviesa una superficie y el tiempo empleado para ello. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

**humedad relativa**

la relación entre la fracción mol del vapor de agua presente en el aire, y la fracción mol de vapor de agua presente en el aire saturado a la misma temperatura y presión barométrica alternativamente, es igual a la relación de la presión parcial (o densidad) del vapor de agua en el aire, y la presión de saturación (o densidad del vapor de agua) a la misma temperatura. (ICONTEC, 2004a).

**resistencia térmica**

cociente entre la diferencia de temperatura y la densidad de flujo de calor, en condiciones de régimen estacionario. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

**resistencia térmica superficial interna**

resistencia térmica de la capa superficial de aire adyacente a la superficie interior de un elemento que transmite calor por radiación y convección. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

**resistencia térmica superficial externa**

resistencia térmica de la capa superficial de aire adyacente a la superficie exterior de un elemento que transmite calor por radiación y convección. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

**resistencia térmica total**

inversa de la transmitancia térmica. (Instituto Argentino de Normalización, 2002).

**temperatura del aire**

la temperatura de bulbo seco del aire que rodea al ocupante. (ICONTEC, 2004a).

**temperatura de punto de rocío (o presión del vapor de agua del ambiente)**

la temperatura a la cual el aire húmedo se satura (humedad relativa 100%) con vapor de agua cuando se enfría a presión constante. (ICONTEC, 2004a).

**temperatura operativa**

la temperatura uniforme de un cerramiento negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación más convección, que en un ambiente no uniforme real. La temperatura operativa es numéricamente el promedio de la temperatura del aire y la temperatura media radiante ponderada por sus respectivos coeficientes de transferencia de calor. (ICONTEC, 2004a).

**temperatura radiante plana**

la temperatura uniforme de un cerramiento en el cual el flujo radiante que incide en un lado de un elemento plano reducido, es el mismo que en el ambiente existente. (ICONTEC, 2004a).

**transmitancia térmica**

flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera. (Ministerio de fomento, 2014).

**zona ocupada**

la región ocupada normalmente por personas dentro de un espacio, que generalmente se considera que está entre el piso y 1,8 m (6pies) sobre el piso y a más de 0,6 m (2 pies) de las paredes o equipo de aire acondicionado fijo. (ICONTEC, 2004a).

## Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolo	Término	Unidad SI
$A$	Área	$m^2$
$e$	Espesor de una capa	$m$
$\lambda$	Conductividad térmica	$W/(m \cdot K)$
$\phi_t$	Calor transferido	$U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e)$
$\theta_i$	Temperatura interior	$^{\circ}C$
$\theta_e$	Temperatura exterior	$^{\circ}C$
$\theta_r$	Temperatura radiante plana	$^{\circ}C$
$t_i$	Temperatura superficial interior del cerramiento	$^{\circ}C$
$T_v$	Temperatura para los vidrios	$^{\circ}C$
$T_o$	Temperatura partes opacas de la fachada	$^{\circ}C$
$T_p$	Temperatura para las otras paredes	$^{\circ}C$
$R_t$	Resistencia térmica	$m^2 \cdot K/W$
$R_{si}$	Resistencia superficial interior	$m \cdot K/W$
$R_{se}$	Resistencia superficial exterior	$m \cdot K/W$
$U$	Transmitancia térmica	$W/(m^2 \cdot K)$
$U_H$	Transmitancia térmica del hueco	$W/(m^2 \cdot K)$
$U_{H,V}$	Transmitancia térmica del acristalamiento	$W/(m \cdot K)$
$U_{H,m}$	Transmitancia térmica del marco	$W/(m \cdot K)$
$U_{H,p}$	Transmitancia térmica zona con panel opaco	$W/(m \cdot K)$
$\Psi_v$	Transmitancia térmica lineal	$W/(m \cdot K)$
$A_{HV}$	Área de la parte acristalada	$m^2$
$A_{Hm}$	Área del marco	$m^2$
$A_{Hp}$	Área zona con panel opaco	$m^2$
$L_v$	Longitud de contacto entre marco y acristalamiento	$m$
$P_r$	Temperatura del punto de rocío	$^{\circ}C$
$H$	Humedad relativa	$\%$
$T$	Temperatura	$^{\circ}C$

## Abreviaturas

<b>Abreviatura</b>	<b>Término</b>
--------------------	----------------

---

<i>VIS</i>	Vivienda de Interés Social
<i>VIP</i>	Vivienda de Interés Prioritario
<i>DANE</i>	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
<i>SDQS</i>	Secretaría Distrital de Quejas y Soluciones
<i>SDHB</i>	Secretaria Distrital del Hábitat de Bogotá D.C.
<i>CTE</i>	Código Técnico de la Edificación
<i>IRAM</i>	Instituto Argentino de Normalización y Calificación
<i>ICONTEC</i>	Instituto Colombiano de Normas Técnicas
<i>NTC</i>	Norma Técnica Colombiana
<i>IDEAM</i>	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
<i>CAMACOL</i>	Cámara Colombiana de la Construcción
<i>MSNM</i>	Metros Sobre el Nivel del Mar
<i>RETIE</i>	Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas
<i>PD</i>	Predicted percent dissatisfied due to draft (Porcentaje de insatisfacción debido al movimiento del aire)



## Introducción

La vivienda se presenta como una necesidad básica de la humanidad que debe ser satisfecha con garantías independientemente del lugar en el cual esta se presente.

El objetivo fundamental de la arquitectura desde un punto de vista enteramente práctico, es el de brindar protección al ser humano contra los elementos atmosféricos, sin embargo, este objetivo debe satisfacerse también desde el confort.

La constitución política de Colombia en su artículo 51 reza lo siguiente: *“Una vivienda adecuada debe ser habitable, en sentido de poder ofrecer espacio adecuado a sus ocupantes y de protegerlos del frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otras amenazas para la salud, de riesgos estructurales y de vectores de enfermedad. Debe garantizar también la seguridad física de los ocupantes..”* (Morales Russi, 2010).

En el caso particular de Bogotá D.C., el gobierno ha implementado políticas de vivienda planteando un énfasis especial en la construcción de viviendas tipo VIS (Vivienda de interés social), las viviendas iniciadas de este tipo entre abril de 2014 y marzo de 2015 han pasado de 8.077 a 14.894 en un aumento del 85%. (El espectador, 2015).

No obstante, existen antecedentes en la Secretaria Distrital del Hábitat y desde la Contraloría General de la Nación, en que no siempre las viviendas cumplen con la calidad suficiente para satisfacer las necesidades con garantías de confort y salubridad (Morales Russi, 2010). Es indispensable que estas necesidades sean satisfechas con calidades técnicas suficientes, para cumplir con garantías los requerimientos de confort mínimos de acuerdo al entorno en el que estas se presenten. La arquitectura debe adaptar sus características a las condiciones particulares del lugar, debiendo modificar su configuración a las circunstancias ambientales para responder eficientemente a las mismas.

Colombia se presenta como un país con gran riqueza climática, que si bien no tiene estaciones con temperaturas extremas, si cuenta con todos los pisos térmicos y ciudades en diferentes altitudes, como Cartagena de Indias localizadas a los 2 MSNM, o Bogotá D.C. localizada a los 2600 MSNM, por mencionar algunas.

Si Colombia cuenta con esta riqueza climática, también debería contar con una arquitectura que se adapte a estas condiciones de manera adecuada y sea capaz de satisfacer las necesidades de confort allí donde se presenten. Sin embargo, no es posible asegurar que esta condición se esté dando actualmente en el país, de acuerdo a los antecedentes planteados por la Secretaria del Hábitat.

En esta tesis, se realiza una aproximación al tema del desempeño de las edificaciones con respecto al confort y determina de manera inicial el comportamiento térmico en fachadas de edificios tipo VIS en la ciudad de Bogotá D.C, mediante un enfoque que se basa en modelos, que determinan los valores de referencia de confort térmico para Bogotá D.C, contrastados con fórmulas de análisis de balance térmico y de riesgo de condensaciones, extraídos de literatura especializada y de normas internacionales,

buscando obtener las bases necesarias para generar un anteproyecto de norma que permita mejorar la calidad de este tipo de viviendas.

Para lograr lo anterior, se ha realizado un análisis de los sistemas constructivos utilizados en la vivienda de interés social, identificando diferentes tipologías de fachada para su investigación.

Este estudio permite avanzar en el control térmico de fachadas, y mejorar tanto el confort de las viviendas de interés social, como evitar la aparición de condensaciones en las mismas, brindando herramientas que pueden servir para realizar estudios posteriores, ya sea para otros componentes de la envolvente como las cubiertas y elementos en contacto con el terreno, o en otras ciudades y otros tipos de edificaciones.



# 1. Formulación del problema

Colombia es un país localizado en la parte noroccidental de Suramérica, atravesado en su parte inferior por la línea ecuatorial, cuenta con una altura mínima de 0 MSNM en las costas y una máxima de 5.775 MSNM en el pico Cristóbal Colon en la sierra nevada de Santa Marta. El país posee todos los pisos térmicos y cuenta con temperaturas que pueden variar desde los 0 °C en la cordillera de los Andes y en la Sierra Nevada de Santa Marta, hasta los 41 °C en el cesar. (El Tiempo, 2015).

Las ciudades del país se encuentran localizadas en todo el territorio nacional, y cuentan con características climáticas que pueden variar sensiblemente dependiendo del piso térmico en el que se encuentren, estando en algunos casos por fuera de la temperatura de confort térmico, estimada entre los 21°C y los 27°C. (Olgay, 1998).

La ciudad más caliente del país es Valledupar, con una temperatura promedio de 29,0°C y temperaturas máximas que pueden alcanzar en promedio los 36,0 °C en el mes de marzo. (IDEAM, 2015).

La ciudad más fría es Aldana, Nariño, con una temperatura promedio de 11,0 °C y temperaturas mínimas que pueden alcanzar en promedio los 4.6 °C en el mes agosto y septiembre. (IDEAM, 2015).

En la Tabla 1-1 se puede observar las temperaturas promedio presentes en ciudades que cuentan con mayor población a las mencionadas, y que igualmente se alejan de la temperatura de confort definida por Olgay. (Olgay, 1998).

**Tabla 1-1.** Temperaturas promedio.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la página del IDEAM

[http://bart.ideam.gov.co/portal/prono\\_fin\\_semana/meteorologia/](http://bart.ideam.gov.co/portal/prono_fin_semana/meteorologia/)

Ciudad	Temp. prom. anual	Max. prom. anual	Min prom anual
Bogotá D.C.	13.7 °C	19.3 °C	7.9 °C
Cartagena	27.8 °C	32.6 °C	25.2 °C
Cali	24.5 °C	29.9 °C	19.2 °C

Por tratarse de promedios anuales estas cifras pueden variar sensiblemente en ciertos momentos del año, como en el caso de Bogotá D.C. en la que se pueden presentar temperaturas mínimas promedio mensual de hasta 6 °C. (IDEAM, 2015).

Las temperaturas mencionadas están tomadas a la sombra y en el exterior, y dependiendo del viento, humedad, localización etc., la sensación térmica puede variar, así mismo en el interior de los edificios dependiendo de su configuración, materiales, ventilación, distribución espacial, ocurre lo mismo.

En países con climas estacionales existen diversas normativas destinadas a delimitar los rendimientos térmicos de las envolventes, con clasificaciones que varían en torno a la localización de los inmuebles, adaptando sus valores de acuerdo a las características del entorno para lograr una mejor respuesta a las condiciones exteriores, como mecanismo para asegurar unas condiciones de habitabilidad dentro de niveles aceptables de acuerdo a las características climáticas de cada región.

En Colombia, como se amplía en el capítulo 1.2, existen evidencias de que el bajo control térmico de las fachadas deriva en pérdidas de confort higrotérmico y en la aparición de problemas de condensaciones en las edificaciones, siendo las viviendas tipo VIS uno de los segmentos afectados, lo cual es preocupante debido a la vulnerabilidad de dicha población en contraposición con el derecho constitucional de una vivienda digna.

## 1.1 Delimitación del problema

De acuerdo a lo planteado en la formulación general del problema, la presente tesis realiza una aproximación al confort térmico de las edificaciones y a la influencia que tienen los materiales utilizados en las técnicas constructivas en la satisfacción de este, con el objetivo de lograr mejorar las condiciones de confort térmico al interior de las viviendas en colectivos de menos recursos.

Para lograr este objetivo y realizar un estudio que permita avanzar en el conocimiento del tema planteado, se decide acotar el estudio a una ciudad, a una tipología de vivienda en particular y a un elemento de la envolvente. Basados en variables tales como densidad demográfica, condiciones térmicas, tipologías arquitectónicas, población objeto y criterios de análisis térmico.

Bogotá D.C. se presenta como la ciudad apta para la realización del estudio, debido a que cuenta con temperaturas a lo largo del año que pueden variar entre 12°C y 14°C grados de la noche al día, con una temperatura mínima promedio en el mes de enero de 5,3°C (IDEAM, 2010), además de contar con una diversidad arquitectónica bastante amplia en términos tanto tipológicos, como sociales y económicos, pudiendo obtener información que puede ser extrapolable a otras zonas del país, o servir como base de análisis para estudios posteriores.

Para la elección de la tipología arquitectónica objeto de análisis se decide tomar únicamente las viviendas de interés social, como mecanismo gubernamental para la disminuir el déficit de vivienda, situado en 1'647.093 unidades según datos del DANE (Bustamante & Portafolio, 2014) en los colectivos de menos recursos, como población sensible y vulnerable del país, exigiendo que se tomen medidas adecuadas que respondan a las necesidades básicas.

Para la elección del elemento de fachada objeto de análisis se realiza un acercamiento desde el confort térmico.

En el confort térmico influyen diversos factores que caracterizan el ambiente: “temperatura del aire, temperaturas radiantes, velocidad del aire, humedad del aire y temperatura del suelo.” (Croiset & Luque Maldonado, 1970).

Sin embargo para el estudio de caso, dado que se trata de vivienda, se parte del planteamiento realizado por Croiset en su libro “Humedad y temperatura en los edificios” para el análisis de confort, donde considera, que para espacios de baja carga metabólica, como los presentes en las viviendas, los principales parámetros son: la temperatura interior de las fachadas (temperatura radiante orientada) y la temperatura ambiente.

La carga metabólica está dada por los tipos de actividad que se desarrollan en ellos, su unidad de medida es el “met” el cual corresponde a 100W. Para el caso de un espacio con baja carga metabólica las actividades que se desarrollan en los mismos son: “Actividad manual sentado Ligeros desplazamientos (<1,0 m/s)”. Para las viviendas y oficinas con trabajo administrativo se asigna un valor de 125W (1,25 met). (Neila González, 2004).

Para el análisis de confort en las viviendas se parte del hecho de que sus espacios interiores son locales de actividad básicamente sedentaria, en la que las ventanas en los momentos en los que la temperatura baja, se encuentran siempre cerradas, limitando las corrientes de aire, motivo por el cual estas no se toman en cuenta. La humedad del aire es proporcionada por el IDEAM para la ciudad de Bogotá D.C, con base en este dato se realizarán los estudios, y finalmente para el caso de la temperatura del suelo, se toma el valor de la temperatura ambiente como dato de partida, simplificando el análisis, bajo la hipótesis de que al tratarse de vivienda multifamiliar los espacios contiguos están a esta temperatura, pudiendo realizarse en estudios posteriores análisis de las variables que inciden en las temperaturas interiores de cubiertas y suelos.

De igual forma, se considera que las cubiertas y elementos en contacto con el terreno, poseen un menor porcentaje de influencia en la tipología analizada en esta tesis y que las fachadas pueden generar un mayor impacto en el confort térmico de las viviendas de acuerdo al alcance planteado.

El esquema de análisis para llegar a esta conclusión se presenta en la Figura 1-1 y en la Tabla 1-2. Allí se plantea que si bien la temperatura interior de los espacios bajo la cubierta y en contacto con el terreno son condicionados por la temperatura exterior a través de dichos elementos, el área de fachada supera dicho grado de afectación.

La temperatura de un espacio está determinada por la temperatura de las envolventes de este espacio (Croiset & Luque Maldonado, 1970), las cuales a su vez son afectadas por los elementos contiguos a ellos a través de los materiales que componen la envolvente, pudiendo ser estos, un espacio interior, un espacio exterior, o el terreno.

Para el caso de una edificio multifamiliar típico de 5 plantas, en la Tabla 1-2, se puede observar un análisis en el que se asigna un porcentaje dado a los espacios con respecto al total de la edificación de acuerdo a los límites del mismo, ya sea con el exterior a través de la cubierta, el exterior a través de la fachada, o el terreno.

De acuerdo a dicho análisis, se observa como el porcentaje de espacios cuya temperatura interior es influenciada por la fachada supera el de los demás casos.

**Figura 1-1.** Esquema área de influencia fachadas

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 1-2.** Porcentaje de influencia fachadas.

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de presencia en el edificio	Exterior - Cubierta	Exterior - Fachada	Terreno	Espacio interior
60%	Ok	Ok	Ok	Ok
20%	-	Ok	Ok	-
20%	Ok	Ok	-	-

De acuerdo a lo anterior, el análisis propuesto se basa en determinar de qué manera influyen los materiales utilizados en las fachadas en el confort térmico, basándose en la forma en la que estas condicionan la temperatura ambiente interior en las vivienda VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C.

## 1.2 Justificación

El artículo 51 de la constitución política de Colombia manifiesta lo siguiente:

*“Todos los colombianos tienen derecho a vivienda digna. El Estado fijará las condiciones necesarias para hacer efectivo este derecho y promoverá planes de vivienda de interés social, sistemas adecuados de financiación a largo plazo y formas asociativas de ejecución de estos programas de vivienda” (Constitucion Política de Colombia, 2003).*

Las condiciones de habitabilidad de una vivienda están definidas por el comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales de esta forma:

*“Una vivienda adecuada debe ser habitable, en sentido de poder ofrecer espacio adecuado a sus ocupantes y de protegerlos del frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otras amenazas para la salud, de riesgos estructurales y de vectores de enfermedad. Debe garantizar también la seguridad física de los ocupantes...” (Morales Russi, 2010).*

Sin embargo, la Secretaría Distrital del Hábitat en la ciudad de Bogotá D.C., a través del sistema distrital de quejas y soluciones – SDQS, recibe numerosas reclamaciones catalogadas como “deficiencia constructiva” en la que se incluyen problemas de condensaciones, humedades, hongos etc., a menudo relacionadas con la ausencia de control térmico en las envolventes de la edificación como puede constatarse en el informe realizado por la Contraloría de Bogotá D.C. (Morales Russi, 2010).

Así mismo, en el documento *“Informe final de auditoria gubernamental con enfoque integral modalidad especial transversal gestión del suelo para vivienda de interés social VIS, en Bogotá D.C.”* realizado por la Contraloría de Bogotá D.C. donde evalúa *“la gestión adelantada por la administración respecto del suelo para vivienda de interés social en Bogotá D.C.”* (Morales Russi, 2010) se evidencia que:

*“Las sanciones por parte de la SDHT al incumplimiento de los constructores a las normas urbanísticas, es demasiado flexible, optando estos por cancelarlas y obviar el tener que ejecutar obras complementarias para subsanar las deficiencias formuladas.*

*La evaluación de una muestra de 13 proyectos de vivienda VIS, correspondientes a la vigencia 2008-2009, a pesar de efectuarse por parte de la administración, acciones tendientes a solucionar la problemática presentada en dichos proyectos finalmente no se logra, lo que conlleva al desmejoramiento de la habitabilidad y el deterioro progresivo de cada una de las viviendas adquiridas por los grupos más desfavorecidos y marginados de la sociedad.”* Siendo dentro de los hallazgos encontrados recurrente el tema de la humedad, en ocasiones relacionado con la aparición de condensaciones. (Morales Russi, 2010).

La aparición de humedades en la edificación puede producir reacciones alérgicas en los ocupantes de la vivienda, pudiendo generar enfermedades en el sistema respiratorio y digestivo a causa de la aparición de mohos y eflorescencias. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005)

Esto evidencia que las carencias técnicas de las fachadas en las edificaciones tienen repercusiones tanto en el confort de las personas, como en la salud de las mismas, una consecuencia que debe evitarse mediante la construcción responsable. Razón por la cual es necesario realizar un diagnóstico del comportamiento térmico de los materiales utilizados en la construcción de vivienda VIS en la actualidad, con el objetivo de identificar tanto las carencias como las potencialidades de las fachadas utilizadas.

De igual forma, el comportamiento térmico de las edificaciones también tiene influencia en el consumo energético de las viviendas. Para lo cual el gobierno nacional está implementando mecanismos para la racionalización de este.

El decreto 2501 de 2007 del Ministerio de minas y energía menciona lo siguiente:

*“Uso racional y eficiente de energía eléctrica en vivienda de interés social. A partir del tercer año, de la fecha de expedición de este decreto, como requisito para recibir subsidios del Presupuesto Nacional, los constructores de vivienda de interés social y en general aquellas que reciban estos recursos públicos, deberán incorporar en los diseños y en la construcción de la vivienda, aspectos de uso eficiente y racional de energía de*

*conformidad con los parámetros técnicos que para tal efecto establezcan los Ministerios de Minas y Energía, y Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.” (Minminas, 2007).*

Los ministerios responsables de estas reformas están desarrollando el Reglamento técnico de eficiencia energética para Viviendas de Interés Social (VIS), cuyo concepto parte de que *“una vivienda es energéticamente eficiente si en su ciclo de vida hace uso racional y eficiente de la energía y si garantiza condiciones de confort para el usuario. Su principal objeto es especificar las acciones necesarias para encaminar los procesos de vivienda de interés social en el uso racional y eficiente de energía (ure), definir parámetros, rangos, índices y métodos de cálculo y valoración de la eficiencia energética.” (Ministerio de vivienda y desarrollo territorial / Diaz Reyes, Luna, & Julia Aurora (eds.), 2011).*

Así mismo, el documento menciona *“el decreto; en comento; prevé que las medidas señaladas para propiciar el uso racional y eficiente de energía eléctrica se aplicaran, entre otros, en los productos y procesos de viviendas de interés social. .... en este sentido se ha previsto un marco más ambicioso, pensando en la ampliación de los tipos de vivienda objeto del reglamento a mediano plazo, que requerirá el estudio más amplio de los consumos energéticos en los materiales empleados, así como de los correspondientes a los procesos constructivos de las viviendas.” (Ministerio de vivienda y desarrollo territorial / Diaz Reyes et al., 2011).*

De acuerdo a lo anterior, y en concordancia con los planteamientos del gobierno Colombiano, se evidencia una necesidad de realizar medidas que conduzcan a mejorar las condiciones de habitabilidad y eficiencia energéticas de las edificaciones.

Para ello, y tomando en cuenta lo planteado en la delimitación del problema, en esta investigación se propone realizar un diagnóstico que proporcione una cuantificación del rendimiento térmico de fachadas por medio del análisis de los materiales que componen esta, y determinar así valores que puedan mejorar el confort térmico en las viviendas VIS y que a su vez, plantee avances generando herramientas para futuras investigaciones sobre otros tipos de edificaciones con características diferentes, como por ejemplo, aquellas que realizan una modificación de la temperatura interior por medio de máquinas de aire acondicionado lo cual conlleva un gasto energético.

### **1.3 Objetivo General**

Evaluar el rendimiento térmico de fachadas de vivienda tipo VIS, de acuerdo a modelos de confort térmico adaptados a las características climáticas locales, esto como método para obtener valores de referencia que permitan configurar una propuesta de anteproyecto de norma que regule la transmitancia térmica en fachadas de viviendas tipo VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C.

## 1.4 Objetivos Específicos

Identificar mediante la revisión de normas de países estacionales como el CTE Español, o las normas IRAM 11601, 11064 argentinas, criterios normativos que permitan analizar las características de transferencia térmica de las tipologías de fachada identificadas.

Establecer las características de transmitancia térmica de los materiales incluidos en tipologías de fachadas de edificios multifamiliares de vivienda de interés social, en la ciudad de Bogotá D.C., permitiendo evaluar el comportamiento térmico de las mismas.

Determinar, tomando como base la NTC 5316 (condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas), valores de referencia de confort térmico adaptados a las características locales de la ciudad de Bogotá D.C., que permitan contrastar con las metodologías de análisis térmico estudiadas de qué manera, los materiales utilizados actualmente en las fachadas de edificaciones multifamiliares de vivienda tipo VIS, condicionan el confort y la aparición de condensaciones.

Definir con base en los resultados obtenidos, valores y procedimientos que permitan avanzar en la elaboración de un anteproyecto de norma, que pueda mejorar el desempeño y el confort térmico al interior de las viviendas multifamiliares tipo VIS en la ciudad de Bogotá D.C.





## 2. Marco Teórico

La investigación para realizar una propuesta de anteproyecto de norma para el control térmico de fachadas de vivienda de interés social en edificios multifamiliares en Bogotá D.C, cuenta con diversos elementos que deben ser analizados para obtener los datos necesarios para plantear un documento que se adapte a las condiciones particulares de la ciudad de Bogotá D.C.

En primera instancia, es necesario realizar una revisión de normas nacionales e internacionales en busca de protocolos que permitan soportar los métodos de análisis y procedimientos de validación de las características térmicas de las fachadas y con criterio crítico, determinar qué aspectos son relevantes para una propuesta de normativa de acuerdo a las condiciones locales.

En segunda instancia, la base de análisis para determinar el control térmico en fachadas de vivienda de interés social está dada por el confort térmico de los ocupantes de las viviendas, el cual es abordado a partir de tres elementos principales, las condiciones climáticas particulares de Colombia y concretamente en la ciudad de Bogotá D.C., las características de transferencia térmicas de las fachadas a analizar, tanto en su comportamiento global como en cada uno de sus elementos, y los criterios de confort a evaluar en los espacios habitables.

### 2.1 Antecedentes

#### 2.1.1 La vivienda VIS Multifamiliar

El Artículo 44 de la Ley 9 de 1989, subrogado por el artículo 91 de la Ley 388 de 1997, normas de Desarrollo Territorial, define la vivienda de interés social así: *“Se entiende por viviendas de interés social aquellas que se desarrollen para garantizar el derecho a la vivienda de los hogares de menores ingresos”*. (C. d. Colombia, 1989).

Por otra parte, La Real Academia Española, define multifamiliar de la siguiente manera: *“Dicho de un edificio: de varias plantas con numerosos apartamentos cada uno de los cuales está destinado para habitación de una familia”* (RAE, 2016).

De acuerdo a lo anterior, en el estricto sentido de la palabra, una vivienda VIS multifamiliar, es una edificación de varias plantas, con numerosos apartamentos, que se desarrollan para garantizar el derecho de vivienda a hogares de menores ingresos.

De esta forma, la vivienda VIS multifamiliar, es un término acuñado para la vivienda subsidiada, como respuesta del gobierno a la necesidad de vivienda de la población de bajos recursos. Su concepción *“parte de un imaginario utópico de vida comunitaria, y que, gracias a las mayores posibilidades técnicas y tecnológicas en la construcción y el urbanismo, y las necesidades habitacionales (entre ellos los inquilinatos) dan como resultado una serie de las relaciones vecinales de escala (vecindad, barrio, ciudad) que son particulares y a veces hasta rechazadas”*. (Ballén Zamora, 2009).

De igual forma, la vivienda VIS multifamiliar es una respuesta a los impactos generados por el encarecimiento y disminución del suelo de expansión y urbanizado que *“han llevado a los planificadores a reafirmar los modelos urbanos compactos con el objeto de aprovechar al máximo las áreas ya consolidadas y evitar complicaciones en costos e infraestructura de servicios y transportes que deben ser más exigentes que con los modelos dispersos, pero también impulsan una nueva imagen de ciudad y sus características de producción dentro de la lógica del desarrollo económico, precedido por una normativa que refleja las tendencias del estado y la dinámica social”*. (Ballén Zamora, 2009)

De lo anterior, se puede interpretar que la tipología de vivienda VIS multifamiliar, es una respuesta, por un lado al imaginario utópico de vida comunitaria, a menudo relacionado con las edificaciones residenciales en altura para estratos altos, y por el otro, a la escasez del suelo y la necesidad de optimizar el área disponible, con el fin de generar mayor rentabilidad en la edificación. Hechos que han derivado en un incremento en la utilización de esta tipología de edificación.

### **2.1.2 Estudios realizados**

Los antecedentes, en cuanto a estudios realizados en el control térmico, se remiten a investigaciones que si bien no profundizan en el control de la transmitancia térmica de los elementos de fachada, si tienen objetivos similares desde el punto de vista del análisis del confort en la vivienda de interés social (VIS), objetivo final de la presente tesis.

Dentro de estos parámetros se encuentra la tesis de maestría propuesta por el arquitecto Helmut Ramos en el 2007, denominada "Propuesta de metodología para el diagnóstico de las condiciones de habitabilidad en VIS en Bogotá D.C."

La tesis de maestría realiza una valoración inicial de estudios existentes que de acuerdo al concepto del autor, apuntan a una baja calidad en la habitabilidad de las viviendas de interés social desde un enfoque técnico, y por consiguiente con consecuencias en el confort de las personas.

Por esta razón el autor propone "Un exhaustivo trabajo que dé muestras de la importancia que tienen estos aspectos técnicos para lograr vivienda con calidad y generar así factores óptimos de habitabilidad para sus ocupantes, es una clara preocupación por el problema de la calidad de vida que las personas llevan en estas viviendas haciendo énfasis en el aspecto físico de la misma en lo referente a las

condiciones ocasionadas por las soluciones de los parámetros técnicos: iluminación, higrotérmico y acústica.”(Ramos Calonge & Chica Segovia, 2007)

La tesis propone una metodología de diagnóstico de las condiciones de habitabilidad de las viviendas de interés social, tomando como base de análisis tres parámetros del confort, iluminación, higrotérmico y acústico.

Para el análisis de estos tres puntos, el documento presenta una normativa de referencia que determina los parámetros para los mismos, sin embargo debido al enfoque de esta tesis, el interés se centra únicamente en el apartado higrotérmico.

En el confort higrotérmico influyen: la temperatura (de bulbo seco), la humedad relativa y el movimiento de aire, realizando una descripción sobre la relación entre la ventilación, la humedad y la condensación, sin abordar con profundidad el control térmico de la vivienda como método para condicionar los otros parámetros que influyen en el confort higrotérmico. (Ramos Calonge & Chica Segovia, 2007)

En cuanto a la normativa para este punto, solo se trata el tema de la ventilación y cita la "guía para la viabilización de proyectos de vivienda de interés social urbana" como única normativa de referencia. (Instituto Nacional de vivienda de interés social y reforma urbana, 2002)

En las conclusiones del documento, se realiza una descripción de los hallazgos realizados con respecto al diagnóstico efectuado para retroalimentar la propuesta, y se hacen recomendaciones con respecto a cómo se podrían afrontar las inconsistencias de diseño en las viviendas de interés social.

La tesis del arquitecto Helmut Ramos realiza una propuesta de metodología para el diagnóstico de condiciones de habitabilidad en VIS en Bogotá D.C., plantea un análisis de la vivienda desde el punto de vista del confort higrotérmico, acústico y lumínico de manera general sin entrar a determinar las características de los materiales de fachada o su transmitancia térmica, tema que se pretende profundizar en esta tesis con el objetivo de determinar de esta manera, unos valores de referencia para mejorar el confort térmico de las viviendas de interés social en la ciudad de Bogotá D.C.

Posteriormente, en el año 2011 el arquitecto Helmut Ramos, publica en la revista Traza de la Universidad de La Salle, el artículo *“El confort en la vivienda de bajo costo: modelo metodológico para diagnosticar higrotérmicidad, iluminación y acústica”* (Ramos Calonge, 2011).

En este artículo, se realiza un modelo metodológico para diagnosticar la habitabilidad de las viviendas de interés social (VIS) bajo tres parámetros; higrotérmicidad, iluminación y acústica. Para lograr esto, se basa en un estudio de campo y en la revisión de bibliografía y normativa, generando 4 fichas de análisis para determinar las condiciones de los objetos de estudio: Identificación, higrotérmico, iluminación y acústica.

Dentro de la discusión en el artículo en mención, el autor plantea que *“Un acercamiento a establecer la conductividad térmica de los materiales se hace necesario en este tipo de diagnósticos; esto ayuda a establecer causas de fenómenos como la condensación de vapor de agua”* (Ramos Calonge, 2011) identificando los siguientes problemas de acuerdo al diagnóstico realizado:

- Adecuaciones en las viviendas que afectan su integridad estructural, funcional y sus condiciones de habitabilidad.
- Alta humedad relativa al interior de las viviendas.

- 
- Baja o nula velocidad del viento.
  - Factor de luz deficiente.
  - Precaria iluminación en horas de la noche.
  - Incumplimiento de normas RETIE.
  - Ruidos de impacto y ruidos aéreos provenientes de la propia vivienda o de las viviendas vecinas.
  - Ruidos procedentes del exterior.

De las discusiones planteadas por el autor en el artículo, se identifica que las calidades en la viviendas de bajo costo no son las adecuadas de acuerdo a los valores límites propuestos en el documento y que *“Es preocupante el hecho de que mientras muchos van por el camino de la arquitectura sostenible, limpia, verde o ecológica, en el país aún se estén diseñando y construyendo viviendas con tan bajas especificaciones técnicas y tan poco confortables.”* (Ramos Calonge, 2011).

### 2.1.3 El proceso de normalización en Colombia

De acuerdo al decreto 2269 de 1993 expedido por la Presidencia de la Republica, por el cual se organiza el Sistema Nacional de Normalización, Certificación y Metrología, se designa el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC como el organismo Nacional de Normalización encargado de administrar el proceso de normalización para la elaboración, actualización, re aprobación y anulación de las normas, manuales de aplicación y demás documentos normativos relacionados, en el campo voluntario. ((Colombia), 2000).

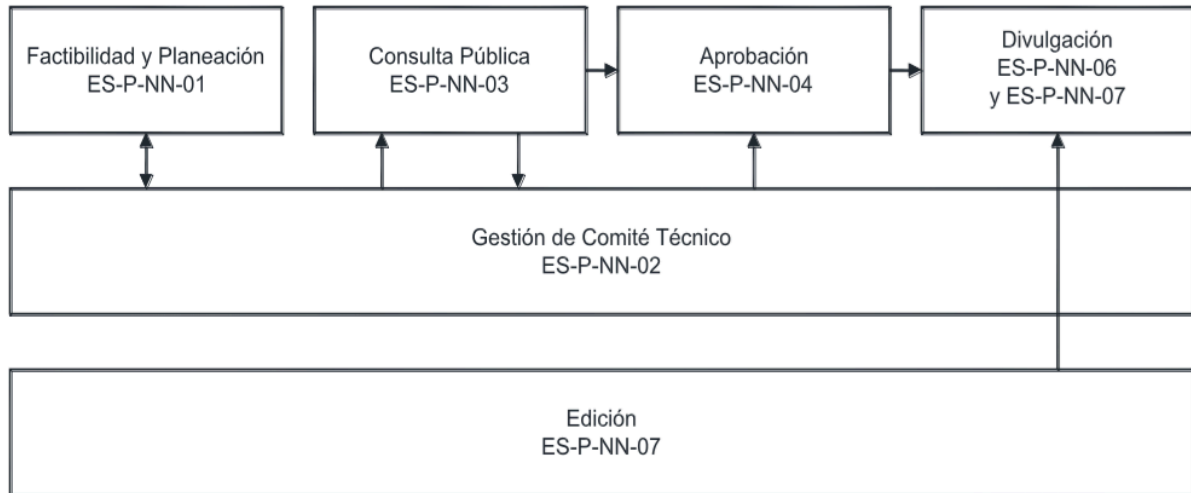
El ICONTEC describe las etapas de normalización de la siguiente manera: ((Colombia), 2000).

- Factibilidad y planeación. En esta etapa se elabora el anteproyecto de norma identificando necesidades y evaluando la factibilidad de la actualización o elaboración de documentos normativos.
- Gestión de comité. En esta etapa el comité técnico de normalización gestiona el estudio y aprobación de los documentos normativos.
- Consulta pública. En esta etapa se pone a consideración de las partes interesadas, el estudio de los proyectos normativos que se encuentran en estudio.
- Aprobación. En esta etapa se somete el proyecto de norma, a la consideración de una entidad independiente del comité, para avalar su contenido.
- Edición. En esta etapa se realizan todo lo concerniente al tema formal del documento normativo.
- Difusión. En esta etapa se realiza las actividades de divulgación de la norma.

En el documento del reglamento del servicio de normalización nacional del ICONTEC, se describe el proceso general de normalización mediante la Figura 2-1.

**Figura 2-1. Proceso General de Normalización**

Fuente: Reglamento del servicio de normalización nacional del ICONTEC



De acuerdo a lo anterior, el proceso puede definirse de la siguiente manera: El ICONTEC mediante el análisis de unas necesidades específicas, plantea la factibilidad de la implementación de una norma, para lo cual, en primera instancia, se genera un anteproyecto de norma, el cual es estudiado por el comité técnico.

Dada la aprobación del anteproyecto por parte del comité técnico, se envía como proyecto de norma para consulta pública, etapa en la cual, los interesados realizan comentarios a la misma, para luego de ser revisada por el comité técnico nuevamente, se dé su aprobación final y posterior divulgación finalizando el proceso. ((Colombia), 2000).

### 2.1.4 Normativa nacional sobre vivienda y confort

El gobierno Colombiano reconoce diferentes tipos de regulaciones normativas en el apartado técnico, diferenciándose principalmente dos: los reglamentos técnicos, los cuales tienen carácter obligatorio y las normas técnicas, las cuales son de carácter voluntario. (Mincomercio, 2016).

Con el objetivo de brindar apoyo e información a la comunidad sobre las viviendas de interés social, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, desarrollo 4 guías de asistencia técnica denominadas de la siguiente manera: (Ministerio de vivienda y desarrollo territorial / Diaz Reyes et al., 2011).

- 
- Guía 1. Calidad en la vivienda de interés social.
  - Guía 2. Los materiales en la construcción de la vivienda de interés social.
  - Guía 3. Las normas aplicables en el desarrollo de la vivienda de interés social.
  - Guía 4. Procedimientos en vivienda de interés social.

La guía No. 2, describe el comportamiento de los materiales y principios de arquitectura bioclimática que deben ser empleados, incluyendo recomendaciones sobre materiales idóneos, de acuerdo a su inercia y aislamiento térmico dependiendo del clima del lugar.

En la guía No. 3, se describen las normativas aplicables a la vivienda de interés social, mencionando las siguientes:

- Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente - NSR-10
- Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico - RAS 2000
- Norma Técnica Colombiana, NTC 1500. Código Colombiano de Fontanería, recomendación buenas practicas.
- Reglamento técnico de instalaciones eléctricas – RETIE
- Manual de especificaciones técnicas de construcción, recomendación buenas practicas.
- Reglamento técnico de tuberías de acueducto y alcantarillado aplicable a VIS.
- Reglamento técnico de eficiencia energética para vivienda de interés social en proceso.

En el punto 7 de la guía 3, el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible realiza una descripción de cómo *“de acuerdo con el artículo 3º del decreto 2501 de 2007, este ministerio debe establecer, en conjunto con el ministerio de minas y energía, los parámetros técnicos en relación con el uso eficiente y racional de energía, a ser aplicados en el diseño y la construcción de viviendas de interés social que reciban subsidios del Presupuesto nacional.”* (Ministerio de vivienda y desarrollo territorial / Diaz Reyes et al., 2011).

Sin embargo, en el mismo texto se aclara que para lograr este objetivo solo se han modificado las normas RETIE y RETILAP, sin generar aún normas que regulen los materiales, consumo energético de los mismos y sistemas de construcción aplicables a este tipo de vivienda.

Si bien el gobierno Colombiano en el artículo 3º del decreto 2501 de 2007 establece una directriz general con respecto al uso racional de la energía en el diseño y la construcción de viviendas de interés social, es claro de acuerdo a la ausencia de normativa en este campo, que es necesario realizar investigaciones en torno al consumo energético de los materiales y sistemas constructivos utilizados en la actualidad que permitan la regularización de los mismos y por consiguiente mejorar tanto las condiciones de uso racional de energía como el confort en las viviendas de interés social.

▪ **NTC 5316 Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas.**

Norma publicada el 01 de diciembre de 2004, sustentada en la traducción literal de la norma estadounidense ASHRAE 55 en la cual se *“especifica las combinaciones de factores personales y ambientales en espacios interiores, que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables para el 80% o más de los ocupantes dentro de un espacio.”* (ICONTEC, 2004b).

En la norma se plantea un modelo de confort adaptativo mediante la definición de los siguientes parámetros planteados en el numeral 5 del documento:

1. Personas durante actividades principalmente sedentarias, ligeras, en ropa típica para espacios interiores:
  - a. Ropa. Aislamiento que genera la vestimenta.
  - b. Temperatura operativa. Define que la zona de confort en la que coinciden verano e invierno está entre los 23°C y los 24°C.
  - a. Humedad, la cual debe estar entre los 21°C y los 28°C y humedades entre el 30% y el 60%.
  - b. Velocidad del aire. Este ítem para actividades sedentarias recomienda evitar directamente corrientes de aire, y determina que se puede utilizar como recurso para elevar la temperatura de confort.
  - c. Estado no estacionario. Hace referencia a los cambios de temperatura en el espacio y que no puede superar unos valores dados.
  - d. No uniformidad. Se trata de diferencias de temperatura en un espacio de manera vertical, es decir, que en la parte superior e inferior existen diferentes temperaturas, también presenta unos valores límite. (ICONTEC, 2004a)
  
2. Personas en diferentes niveles de actividades.
  - a. Personas activas. Define criterios de confort de acuerdo a la actividad.
  - b. Personas que duermen.
  - c. No uniformidad.
  
3. De aquí en adelante la norma relaciona instrumentos para el análisis de las necesidades de manera experimental.

Para la satisfacción de la norma NTC 5316, se debe cumplir con los requerimientos dados en cada uno de los parámetros mencionados, los cuales corresponden al numeral 5 de la misma.

De acuerdo al análisis del documento, se concluye que se trata de un modelo de confort en el cual se analizan las características de un espacio y sus ocupantes, donde mediante

la cuantificación de parámetros, se determinan unos valores límite admisibles que condicionan el confort.

Debido a que se trata de una norma colombiana, estos parámetros sirven de base para el estudio, y permiten obtener valores de referencia para evaluar los tipos de materiales y sistemas constructivos de manera teórica y de qué forma estos condicionan el confort.

## 2.1.5 Normativa Internacional

La normativa que regula el rendimiento térmico de las fachadas y los materiales que las componen suele estar presente en países en donde las estaciones obligan a tener una regulación sobre este tema, tanto para mantener el confort de las personas, como para controlar el consumo energético de los edificios, ya que el acondicionamiento térmico de estos de manera artificial genera un importante consumo energético y por tanto de recursos naturales.

Por esta razón, se decide realizar una revisión de normativas Españolas y Argentinas buscando procedimientos que permitan realizar un análisis del comportamiento térmico de los materiales utilizados en las fachadas en la vivienda VIS multifamiliar así, como protocolos normativos de referencia, los cuales permitan, contrastando con valores de confort adaptados a la ciudad de Bogotá D.C. brindar valores límite para el control térmico de fachadas con condiciones adecuadas en dicho entorno.

- **Documento Básico HE, Ahorro de energía, Código Técnico de la Edificación (CTE). ESPAÑA.**

En España inicialmente el Ministerio de Vivienda realiza el decreto No. 195 de 1963 de 17 de enero, por el que se establece la norma M.V. 101-1962. De "*acciones de la edificación*", las cuales regulaban el sector de la edificación. En el año 1977 estas se transformaron en las Normas Básicas de la Edificación (NBE) complementadas por las Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE). Sin embargo, estas últimas no eran de obligado cumplimiento. (España., 2015).

En 1999 se publica la Ley 38/1999 de 5 de noviembre de Ordenación de la Edificación con el objetivo de regular el sector de la edificación actualizando una normativa ya obsoleta, "*respondiendo a las demandas de la sociedad española, cada vez más preocupada por la calidad en los edificios, la seguridad, el bienestar, la energía y la protección del medio ambiente.*" (España., 2015).

El CTE se publicó mediante el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, fecha desde la cual se encuentra vigente y de obligado cumplimiento para todas las edificaciones nuevas o intervenciones sobre existentes, siendo el marco normativo con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre.



El CTE está compuesto por los siguientes documentos básicos:

- DB SE Seguridad Estructural
- DB SI Seguridad en caso de incendio
- DB SUA Seguridad de utilización y accesibilidad
- DB HE Ahorro de energía
- DB HR Protección frente al ruido
- DB HS Salubridad

El documento básico DB HE Ahorro de energía está compuesto por los siguientes apartados:

- HE0 – Limitación del consumo energético.
- HE1 – Limitación de la demanda energética.
- HE3 – Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación.
- HE4 – Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- HE5 – Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

De los 5 volúmenes que componen el documento, el HE0 – Limitación del consumo energético, se centra en definir los parámetros que deben cumplir los elementos del cerramiento de la edificación en cuanto a la transmitancia térmica, la cual determina la transferencia de calor del mismo. Esto con el objetivo de mantener tanto en verano como en invierno unas temperaturas determinadas que permitan limitar el consumo energético del edificio.

Con el objetivo de tener mayor claridad en el cumplimiento del documento básico de ahorro de energía DB-HE, el ministerio de fomento desarrolló una serie de documentos de apoyo al documento básico, distribuidos de la siguiente manera:

DOC DB-HE 0 Documento de climas de referencia.

DA DB-HE 1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

- Cálculo de los parámetros característicos de la envolvente (Transmitancia térmica, factor solar modificado de huecos y lucernarios)
- Resistencia térmica total de un elemento de edificación constituido por capas homogéneas y heterogéneas.

DA DB-HE 2 Cálculo de condensaciones intersticiales y superficiales.

- Condiciones interiores y exteriores para el cálculo de condensaciones.

- Cálculo de la presión de saturación de vapor.
- Cálculo de la humedad relativa interior.
- Comprobación de la Limitación de condensaciones superficiales.
- Comprobación de la Limitación de condensaciones intersticiales.

#### DA DB-HE 3 Puentes térmicos.

- Limitación de consumo energético.
- Limitación de la demanda energética
- Rendimiento de las instalaciones térmicas
- Eficiencia energética instalaciones de iluminación
- Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria.
- Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica

El cálculo de los elementos depende de si está en contacto con el terreno, con aire exterior, o con cámaras sanitarias partiendo siempre desde la resistencia térmica del material.

El esquema desarrollado para el cumplimiento del documento básico parte de la definición de los parámetros climáticos del lugar de la edificación, las cuales están determinadas por la altura a la cual se encuentra localizada la ciudad del proyecto, pudiendo esta variar, desde los 0 MSNM en la zona A, hasta superar el límite inferior de la zona E, a los 1300 MSNM.

Determinada la zona climática la cual condiciona los valores de exigencia, se deben analizar las características térmicas de la envolvente, para posteriormente determinar la existencia de condensaciones. Bajo este esquema, dependiendo del lugar del proyecto, se satisface la norma siempre que no se llegue a unos valores límites determinados para cada tipo climático.

En la Tabla 2-1 se presentan los valores límites que presenta la norma en cuanto al control de fachadas:

**Tabla 2-1.** Transmitancia térmica máxima de muros y huecos de la envolvente térmica

Fuente: (España., 2015).

PARAMETRO	ZONA CLIMATICA DE INVIERNO				
	A	B	C	D	E
Transmitancia térmica de muros ( $W/m^2 \cdot K$ )	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Transmitancia térmica de huecos ( $W/m^2 \cdot K$ )	5,70	4,20	3,10	2,70	2,50

▪ **Normas IRAM sobre aislamiento térmico de edificios. Argentina.**

IRAM es el Instituto Argentino de Normalización y Certificación, para el desarrollo de sus normas se realizan comités de estudio en los que participan los productores, los consumidores y los responsables de velar por el interés general y el bien común.

Las normas IRAM suelen ser de cumplimiento voluntario, sin embargo, en el caso de las normas de acondicionamiento térmico de edificios y de carpintería de obra, por medio de la ley 13059 del 2003 de la provincia de Buenos Aires y el decreto Reglamentario 1030 del 2010, se pasó a exigir el cumplimiento de dichas normas para todas las edificaciones nuevas o intervenciones sobre existentes.

Para el análisis del cumplimiento de la norma esta se divide en:

- 1739 Materiales aislantes térmicos. – Espesores de uso – Vocabulario y criterios de aplicación.
- 11549 Acondicionamiento térmico de edificios – Vocabulario.
- 11601 Aislamiento térmico de edificios – Métodos de cálculo - Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.
- 11603 Acondicionamiento térmico de edificios – Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- 11604 Aislamiento térmico de edificios – Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Calculo y valores límites.
- 11605 Acondicionamiento térmico de edificios – Condiciones de habitabilidad en edificios – Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos
- 11625 Condensaciones.
- 11625 Aislamiento térmico de edificios – Verificación de condiciones higrotérmicas - Verificación de riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en los paños centrales de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general.
- 11630 Aislamiento térmico de edificios – Verificación de condiciones higrotérmicas - Verificación de riesgo de condensación de vapor de agua superficial e intersticial en puntos singulares de muros exteriores, pisos y techos de edificios en general.
- 11658 Aislamiento térmico de edificios. Puentes térmicos.
- 11900 Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios – Clasificación según la transmitancia térmica de la envolvente.

Para la satisfacción de la normativa de aislamiento térmico de edificios, se parte de una clasificación climática con valores de referencia según la localización de la edificación, la determinación de las condiciones de habitabilidad según los valores máximos de transmitancia térmica para los cerramientos, realizando una diferenciación de si se trata de paños centrales o de puntos singulares, análisis del riesgo de condensación

intersticial y superficial para finalmente determinar tres niveles de control higrotérmico, recomendado (A), medio (B) y mínimo (C), basados en la diferencia en grados entre la temperatura superficial interior del cerramiento y la temperatura exterior de diseño. (Normalización, 1996)

En la Tabla 2-2 se presentan los valores límites que incluye la norma para muros con una temperatura exterior igual o superior a los 0 °C.

**Tabla 2-2.** Transmitancia térmica máxima de muros y huecos de la envolvente térmica.

Fuente: (Normalización, 1996).

Temperatura exterior de diseño (°C)	Nivel A – Muros (W/m <sup>2</sup> ·K)	Nivel B – Muros (W/m <sup>2</sup> ·K)	Nivel C – Muros (W/m <sup>2</sup> ·K)
≥0	0,38	1,00	1,85

## 2.2 Parámetros para el análisis del comportamiento térmico de fachadas.

El Comité de Derechos Económicos, Sociales y Culturales definió el derecho a una vivienda adecuada, analizados por la Corte Constitucional en la Sentencia C - 936 de 2003 de la siguiente manera:

*“Una vivienda adecuada debe ser habitable, en sentido de poder ofrecer espacio adecuado a sus ocupantes y de protegerlos del frío, la humedad, el calor, la lluvia, el viento u otras amenazas para la salud, de riesgos estructurales y de vectores de enfermedad. Debe garantizar también la seguridad física de los ocupantes...” (Morales Russi, 2010).*

De acuerdo a lo anterior, se identifican tres factores que intervienen en la habitabilidad de una vivienda, el clima y los factores climáticos del lugar en el que se localiza la vivienda, los elementos constructivos en la envolvente del edificio encargados de proteger al habitante de estas condiciones, el cual de acuerdo a la delimitación del problema se enfocará en las fachadas de la edificación, y el confort, resultante de cómo los elementos constructivos que componen la envolvente interactúan con el clima, generando el espacio interior.

### 2.2.1 Clima y factores climáticos

Serra en su texto *Arquitectura y Climas* lo define de esta manera *“Entenderemos el clima... incluyendo todos aquellos fenómenos ambientales que actúan sobre los ocupantes de un edificio, influyendo sobre su bienestar y sobre su percepción a la vez, se trate de sensaciones térmicas, táctiles, visuales, auditivas, etc.” (Serra, 2000)*

El clima de un lugar es la combinación de distintos elementos, donde la radiación solar es el factor determinante. *“La radiación solar, una vez absorbida por la superficie de la tierra, calienta el aire a mayor o menor temperatura. Por otro lado, al incidir sobre las superficies de agua las evapora en parte provocando distintos grados de humedad, nubosidad y pluviometría. Finalmente, debido al recalentamiento desigual de la superficie de la Tierra, se producen movimientos desequilibrados de masas de aire, dando lugar a los vientos.”* (Neila González, 2004).

El clima de un lugar está determinado por seis elementos denominados factores climáticos:

- **La latitud del lugar.**

Está determinada por su ubicación en la tierra, y tienen relación directa con la posición aparente del sol y los grados de inclinación con la que este incide sobre la superficie de la tierra.

En las latitudes bajas el sol incide de manera uniforme y muy perpendicular en la mayor parte del año.

En las latitudes medias se presentan estaciones claramente definidas debido al cambio en la inclinación del sol a través del año, siendo este más perpendicular en la estación de verano con una duración del día mayor y más inclinado en la estación de invierno, donde el día tiene una menor duración que el resto del año.

En las latitudes altas los grados de inclinación de incidencia del sol son muy bajos, con una duración de día y la noche que puede durar incluso meses. (Neila González, 2004).

- **El factor de continentalidad.**

La radiación solar al incidir sobre las masas de tierra o sobre las masas de agua las calienta, acumulándose en ellas. Sin embargo, la forma que en que esta energía es liberada es diferente en los dos casos (modificando la temperatura del aire), siendo más intenso en el primer caso y más estable en el segundo, originando de esta forma que las localidades situadas en zonas continentales tengan climas más extremos durante el día y la noche, y que las localidades situadas en las zonas costeras o cerca de grandes masas de agua, presenten un clima más suave. (Neila González, 2004).

- **El factor orográfico.**

Este factor está determinado por la presencia o no de barreras montañosas. Su importancia está dada debido a la influencia que tienen en la alteración de la circulación de los vientos, redireccionándolos hacia valles o depresiones. (Neila González, 2004).

- **La temperatura de la superficie del mar.**

La temperatura de las masas de tierra o de agua tienen influencia directa sobre la temperatura del aire, sin embargo, a mismas latitudes, la temperatura del mar no es siempre la misma, debido a diversos factores que guardan relación con los vientos

continentales y las corrientes marinas lo cual, genera microclimas singulares en ciertos lugares producto de los fenómenos mencionados. (Neila González, 2004).

- **La altitud sobre el nivel del mar.**

La altitud tiene influencia directa sobre la temperatura del aire, a medida que la atmosfera se aleja del suelo, esta presenta un gradiente de temperatura incluso de dos grados por metro. De igual forma a medida que la altitud aumenta, la atmosfera se vuelve más nítida, disminuyendo las partículas en suspensión por lo cual el calentamiento del aire es menor.

Como resultado de la combinación de los factores mencionados, “*se puede evaluar que la temperatura del aire próxima al terreno, por término medio, sufre una disminución de medio grado por cada cien metros de aumento en la altitud sobre el nivel del mar, si el aire está saturado y de hasta un grado si está seco.*” (Neila González, 2004).

- **La naturaleza de la superficie de la tierra.**

Como se ha visto, la temperatura del aire está íntimamente relacionada con la superficie del suelo. Es por esta razón que la naturaleza de dicha superficie, su color y composición, tienen una gran importancia. Al tratarse de superficies de cultivo, bosques, desiertos, superficies asfaltadas o edificadas, los factores mencionados, provocan fenómenos de calentamiento distintos en cada superficie y por tanto diferencias en la temperatura del aire a mismas latitudes y altitudes. (Neila González, 2004).

De acuerdo a lo anterior el clima de un lugar está determinado por diversos factores cuya relación condicionan el mismo. Sin embargo, pueden extraerse dos factores fundamentales, cuyas variables pueden resumir el texto realizado. En primer lugar la radiación solar y su inclinación, y en segundo lugar, las características de composición y localización de la superficie sobre la que incide el sol como medio para calentar el aire, determinando así su temperatura.

## **2.2.2 Envoltente de la edificación y su influencia en el confort**

El CTE (Código Técnico de la Edificación) define envoltente de la siguiente manera:

*“Está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.”*(Standard, 2006).

La envoltente entonces es ese elemento de las edificaciones que separa los espacios habitables del exterior, es el principal instrumento que nos permite satisfacer las exigencias de confort de manera adecuada, modifica el entorno natural y nos aproxima a

las condiciones óptimas de habitabilidad. Por esta razón, las técnicas utilizadas deben ser consecuentes con el lugar en el cual se realizan, adaptando sus características a las condiciones ambientales del lugar y siendo a la vez consecuentes con el propio sistema constructivo.

*“La fachada es una sofisticada membrana que tiene que diseñarse como tal. Una membrana a la que encomendamos el control de los más diversos aspectos: Control del flujo térmico, control del flujo de aire, control del flujo de vapor de agua, control del movimiento del agua, durabilidad de los materiales, comportamiento frente al fuego, resistencia y rigidez.”* (Pardal & Ansuategui, 2006) En esencia se trata de una piel a la que encomendamos nuestra protección, por tanto debe actuar en consecuencia de manera eficiente.

Es así entonces, de acuerdo a lo expuesto, que la fachada es la encargada de brindar resguardo, pero a su vez, debe hacerlo garantizando las condiciones de habitabilidad suficientes, siendo consecuentes en su planteamiento constructivo y con el entorno en el que se presenta. Los materiales que componen la fachada y sus propiedades físicas como la transmitancia térmica, son algunas de las variables que condicionan el confort al interior de las viviendas.

Para el caso del confort térmico, la transferencia de calor de los materiales constructivos que componen la envolvente y en consecuencia las fachadas, determina de qué manera el espacio presenta pérdidas de calor, lo cual puede derivar tanto en la pérdida de confort térmico, como en la aparición de condensaciones al interior de los espacios.

Las fachadas pueden estar compuestas tanto por partes opacas (muros) como por zonas acristaladas (Standard, 2006), a continuación se presentarán los procedimientos para hallar los valores de transmitancia térmica en cada uno de los casos.

#### ▪ **Transferencia de calor en elementos constructivos homogéneos (partes opacas)**

Los cambios térmicos debidos a una diferencia de temperatura entre dos elementos o entre dos partes de un mismo elemento pueden ser por convección, por radiación y por conducción.

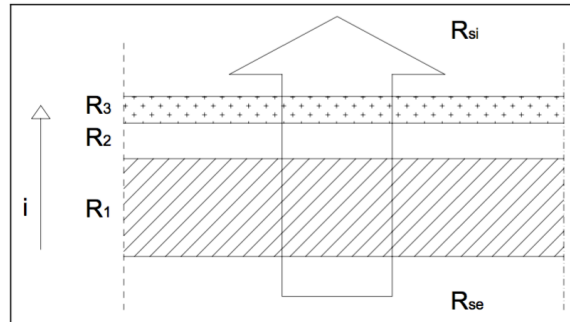
La convección se da *“entre la superficie de un cuerpo, que puede ser el cuerpo humano o una pared y el aire,”* la radiación *“entre las superficies de dos cuerpos, colocados uno frente a otro,”* y la conducción *“entre dos cuerpos en contacto o dos partes de un mismo cuerpo”*, como es el caso de la transferencia de calor en una fachada. (Croiset & Luque Maldonado, 1970).

*“El estudio de transferencia de calor en edificios se puede conseguir subdividiendo la estructura en distintos cerramientos (muros de fachada, huecos, suelos y cubiertas), para que así puedan calcularse separadamente las pérdidas de calor.”*

*Este tipo de cálculo está normalmente basado en un modelo unidimensional, que asume que las fachadas son térmicamente homogéneas y están compuestas de un número de capas paralelas al flujo de calor”* como se muestra en la Figura 2-2. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005).

**Figura 2-2.** Flujo de calor

Fuente: (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005)



Siendo.

$R_1, R_2, R_3$  Las resistencias térmicas de cada capa.

$R_{si}$  y  $R_{se}$  Las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior ( $0,13 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}$ ) y exterior ( $0,04 \text{ [m}^2 \cdot \text{K/W]}$ ) respectivamente.

La transferencia de calor se describe mediante la transmitancia del cerramiento ( $U$ ) dado en ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ). Este valor nos brinda la pérdida de calor a través del elemento constructivo por unidad de superficie y diferencia de temperatura de los medios a cada lado del elemento considerado. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005).

La transmitancia térmica es el “flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.” (España., 2015).

Para cerramientos en contacto con el exterior de acuerdo al Documento de Apoyo al Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE (M. d. F. España, 2015) la transmitancia térmica  $U$  ( $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$ ) viene dada por la siguiente expresión:

$$U=1/R_t$$

Ecuación 1

Siendo,

$R_t$  La resistencia térmica total del componente constructivo [ $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ]



La resistencia térmica total  $R_t$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Ecuación 2.

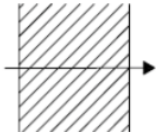
Siendo.

$R_1, R_2 \dots R_n$  Las resistencias térmicas de cada capa definidas según la Ecuación 3. [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$R_{si}$  y  $R_{se}$  Las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3.** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en  $m^2 \cdot K/W$  Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor

Fuente: (España., 2015).

		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión:

$$R = e/\lambda$$

Ecuación 3.

Siendo,

$e$  el espesor de la capa [m].

$\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material, [ $W/m K$ ]. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005)

La cantidad de calor transferido (es igual a la pérdida de calor transmitido  $\phi_t$ ) viene definida por la expresión:

$$\phi_t = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Ecuación 4.

Siendo,

U transmitancia térmica [ $W/m^2 \cdot K$ ]

A el área de la superficie del elemento de construcción [ $m^2$ ]

$\theta_i - \theta_e$  la diferencia de temperatura entre el interior y el ambiente exterior [ $K$ ]. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005)

▪ **Transferencia de calor en elementos constructivos homogéneos (partes acristaladas - ventanas)**

De igual forma que para el cálculo de la transmitancia térmica de las partes opacas de la fachada, es necesario conocer el valor de cálculo para las partes acristalada incluyendo las ventanas.

Para el cálculo de la transmitancia térmica de las ventanas,  $U_h$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) se utilizará el método incluido en la norma UNE EN ISO 10077 utilizando la siguiente ecuación.

$$U_H = \frac{A_{H,v} U_{H,v} + A_{H,m} U_{H,m} + l_v \psi_v + A_{H,p} U_{H,p} + l_p \psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}}$$

Ecuación 5

Siendo.

$U_H$  la transmitancia térmica del hueco (ventana, lucernario o puerta) [ $W/m \cdot K$ ];

$U_{H,v}$  la transmitancia térmica del acristalamiento [ $W/m \cdot K$ ];

$U_{H,m}$  la transmitancia térmica del marco [ $W/m \cdot K$ ];

$U_{H,p}$  la transmitancia térmica de la zona con panel opaco [ $W/m \cdot K$ ];

$\psi_v$  la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento [ $W/m \cdot K$ ];

$\Psi_p$  la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos [W/m·K];

$A_{H,v}$  el área de la parte acristalada [m];

$A_{H,m}$  el área del marco [m];

$A_{H,p}$  el área de la parte con panel opaco [m];

$l_v$  la longitud de contacto entre marco y acristalamiento [m];

$l_p$  la longitud de contacto entre marco y paneles opacos [m];

**Tabla 2-4.** Transmitancia térmica lineal  $\Psi_v$

Fuente: (España., 2015).

MATERIAL MARCO	ACRISTALAMIENTO SIMPLE	ACRISTALAMIENTO DOBLE
Madera y plástico	0,00	0,06
Metálico	0,00	0,02

▪ **Aislamiento térmico**

La cantidad de transferencia de calor de las fachadas está dada por sus materiales, y sus características de conductividad térmica. Para mejorar la capacidad aislante de una fachada existen diversos métodos, que pasan por aumentar su espesor y así su inercia térmica, retardando el paso del calor, o mediante la utilización de varias capas en el muro sin puentes térmicos entre ellas, y mediante la interposición de un material aislante. (Zanni, 2008).

Debido a que en realidad el aumento del espesor del muro está asociado a un incremento de costos y dado que este actúa más como retardador que realmente como aislante, este sistema no es el más recomendado. Por lo cual, es más viable la utilización de un material aislante en una de las capas de la fachada.

*“Los materiales aislantes lo son porque poseen una estructura interna de poros incomunicados (alveolos), no conectados en su mayoría a la red capilar”* (Zanni, 2008)

Los aislantes más comunes son: poliestireno expandido, espuma rígida de poliuretano, lana de vidrio y lana de roca. Los cuales tienen características diferentes que deben analizarse de acuerdo al tipo de proyecto.

▪ **Temperatura radiante**

La temperatura radiante es uno de los factores que condiciona el confort, su influencia está relacionada con la temperatura interior de la superficie del cerramiento, y su capacidad de modificar la temperatura interior del recinto.

La temperatura radiante es diferente según sea el emplazamiento y la forma receptora. Los más usuales son la esfera y el plano, definidos de la siguiente manera:

La esfera. Es llamada “*temperatura radiante media*” para el punto del recinto, en el que está situada la esfera. (Croiset & Luque Maldonado, 1970).

El plano. Es llamada “*temperatura radiante orientada*” para el punto del recinto en el que está situado el plano y para la dirección perpendicular a él. (Croiset & Luque Maldonado, 1970).

Siguiendo lo planteado por Croiset, para el cálculo de ambas temperaturas, se toma como base un porcentaje asignado a los elementos que conforman la habitación, distribuidos de la manera siguiente:

“temperatura radiante media”:

- Para los vidrios. 15%
- Para las partes opacas de la fachada. 10%
- Para las otras paredes. 75%

“temperatura radiante orientada”:

- Para los vidrios 50%
- Para las partes opacas de la fachada 20%
- Para las otras paredes 30%.

De esta forma para el análisis en los dos casos se toman los valores de temperatura de la superficie interior de cada uno de los elementos y con base en los porcentajes dados, se obtiene el valor general, considerado a 1 mt de distancia de la fachada. (Croiset & Luque Maldonado, 1970).

Como ejemplo del procedimiento planteado por Maurice Croiset, si se toma un local tipo con las siguientes temperaturas:

Vidrio 5°C

Parte opaca de fachada 16°C

Otras paredes 20°C

Y se realiza el cálculo para la “temperatura radiante media” se tiene:

$$\theta_r = 5 \cdot \frac{15}{100} + 16 \cdot \frac{10}{100} + 20 \cdot \frac{75}{100} = 17^\circ\text{C}$$

Ecuación 6

Maurice Croiset plantea que el confort en una habitación está dada por una temperatura radiante media mínima de 20°C y que la temperatura radiante orientada, medida a 1 mt de la pared, no debe ser inferior a los 4°C de la temperatura ambiente.

#### ▪ Humedad por condensación

*“La humedad por condensación en las viviendas es causa y efecto de la generación de procesos orgánicos que atentan contra el bienestar o confort de los usuarios, deteriorando los materiales componentes de la vivienda y comprometiendo la salud de sus moradores.”* (Martínez, Urquieta, & Sarmiento, 2005).

La presencia de humedad en los materiales de las fachadas puede generar daños y lesiones en la vivienda, como la corrosión y pudrición de elementos metálicos y de madera, favorece el desarrollo de procesos patológicos como las eflorescencias y la aparición de gérmenes que contaminan el ambiente.

Las consecuencias de un exceso de humedad en los materiales puede originar la aparición de mohos, los cuales pueden generar las siguientes consecuencias:

- Estéticas. Tiene una apariencia desagradable, que puede asociarse a un inadecuado comportamiento higiénico.
- Durabilidad. Puede deteriorar los materiales en los que se presenta.
- Salud. Puede producir reacciones alérgicas en los ocupantes de la vivienda, pudiendo generar enfermedades en el sistema respiratorio y digestivo. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005)

La condensación es el proceso inverso a la evaporación, es decir, es el cambio de estado de la materia en forma gaseosa a la forma líquida. Esta se produce en las edificaciones cuando la temperatura de la superficie del cerramiento interior es inferior a la temperatura de rocío. (ASHRAE, 2001)

Para determinar la temperatura de la cara interior de un cerramiento se tiene la siguiente ecuación:

$$t_i = T_i - \frac{K}{h_i} (T_i - T_e)$$

Ecuación 7

Donde

$T_i$  es la temperatura del ambiente interior, en °C

- $T_e$  es la temperatura del ambiente exterior, en °C  
 $t_i$  es la temperatura superficial interior del cerramiento, en °C  
 $R_t$  es la resistencia térmica total del cerramiento, en  $h \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$   
 $1/h_i$  es la resistencia térmica superficial interior del cerramiento, en  $h \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/kcal (m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W)}$

#### ▪ Punto de rocío

*“También llamada punto de rocío, la temperatura de rocío mide la humedad del ambiente, es la temperatura a la cual una muestra de aire húmedo llega a saturarse y comienza la condensación. El punto o temperatura de rocío depende de la masa de vapor de agua contenida en el aire.”* (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005).

La temperatura de rocío se puede calcular mediante la siguiente formula:

$$P_r = \sqrt[8]{\frac{H}{100}} \cdot (112 + 0.9 \cdot T) + (0.1 \cdot T) - 112$$

Ecuación 8

Siendo,

- $P_r$  es la temperatura del punto de rocío, en °C  
 $H$  es la humedad relativa, en %  
 $T$  es la temperatura, en °C

### 2.2.3 Confort

*“El confort que el ser humano percibe en un lugar determinado, en la práctica resulta un fenómeno mucho más complejo de lo que pretenden hacernos creer muchos de los especialistas. La causa está en que intervienen parámetros y factores diversos, cosa que normalmente se olvida y que resulta decisiva para este tema.”* (Serra, 2000).

Si bien el confort es un tema amplio con diversas características, a fin de realizar un estudio abordable desde la perspectiva de una tesis de maestría, solo se analizará el confort desde el punto de vista térmico, dejando para análisis posteriores, estudios acústicos o lumínicos, variables aquí no contempladas.

Para definir la zona de confort, se debe tener en cuenta la variabilidad de la sensación térmica, la cual según Sala, tiene seis factores que la condicionan. *“Estos factores son, temperatura del aire, humedad, velocidad del aire, temperatura radiante media del recinto, tasa metabólica y niveles de vestimenta”*. (Sala, Gallo, & Sayigh, 1999).

Maurice Croiset plantea que dado que en las viviendas la actividad es básicamente sedentaria y las corrientes de aire son bajas o nulas la mayor parte del tiempo, el confort esta dado básicamente por la temperatura del aire y la temperatura radiante. (Croiset & Luque Maldonado, 1970).

*“El límite superior de temperatura que puede resistir el hombre es el punto de insolación debido a la radiación solar, y el límite mínimo es el punto de congelación. Entonces, la temperatura ideal de aire debe encontrarse en la media de los dos extremos. Hay que hablar de temperaturas del aire entre 21°C y casi 27°C, con humedades entre el 40 y el 80% de la saturación para cada temperatura. En estos límites, se mueven las condiciones de comodidad térmica, que dependerá de los factores de los usuarios”*. (Guimaraes Mercon, 2008).

El confort es un tema complejo, debido a que existen múltiples factores que intervienen en él, es necesario brindar a los usuarios la capacidad de adaptarse al entorno natural mediante una arquitectura que valore de manera consiente la relación entre las condiciones climáticas, los materiales y el confort.

#### ▪ Los modelos de confort

El confort es un tema que se viene tratando desde numerosos años atrás. Se han desarrollado diversas investigaciones con el objetivo de cuantificar y evaluar este, en un intento de predecir las respuestas térmicas, fisiológicas y psicológicas de las personas ante las condiciones ambientales mediante modelos matemáticos simples o complejos y mediante sistemas empíricos.

Uno de los objetivos de los modelos es definir índices que establezcan la relación entre el confort / disconfort de las personas y la temperatura. (Chávez del Valle, 2002).

Para definir dichos índices, existen diferentes tipos de modelos, los cuales pueden variar entre teóricos, empíricos y adaptativos.

#### Modelos teóricos

1. PMV-PPD (Fanger 1970, ASHRAE): *“El PMV establece una tensión térmica basada en la transferencia de calor en estado estacionario entre el cuerpo y el ambiente, y asigna un voto de confort a esa cantidad de tensión. PPD es el porcentaje previsto de personas insatisfechas en cada PMV. Como e PMV cambia siempre de cero a cualquier dirección positiva o negativa, el PPD aumenta”*
2. ET-DISC (ASHRAE): Similar al PMV pero el modelo de balance térmico evoluciona con el tiempo, no es estacionario como el PMV. *“El ET puede ser calculado usando el modelo “2-Node”, este determina el flujo de calor entre el ambiente, las áreas de la piel y el núcleo del cuerpo en principio de minuto a*

*minuto” de cero hasta que el alcanza el equilibrio en 60 minutos (tiempo típico). “DISC predice el disconfort usando la temperatura de la piel y la humedad de la piel”*

3. SET (Nishi, Gagge 1977): *“Representa numéricamente la tensión térmica experimentada por el cilindro relativo a una persona estándar en un ambiente estándar. El SET tiene la ventaja de permitir comparaciones térmicas entre ambientes con cualquier combinación de las variables físicas introducidas, pero la desventaja de requerir personas “estándar”.*

#### Modelos empíricos:

1. PD (“Predicted percent dissatisfied due to draft”. *“Porcentaje de insatisfacción debido al movimiento del aire”* disconfort térmico debido a las corrientes de aire. Los datos a introducir para el PD son: temperatura del aire, velocidad del aire, e intensidad de turbulencia.
2. PS: Ecuación que predice la velocidad del aire que puede ser elegida por la persona si esta tiene el control sobre la fuente de velocidad.
3. TS: Ecuación que predice el voto de sensación térmica usando una función lineal de la temperatura del aire y la presión parcial de vapor. (Chávez del Valle, 2002).

#### Modelos adaptativos:

Los modelos adaptativos incluyen en cierta manera las variaciones en el clima exterior para determinar las preferencias térmicas en el interior.

1. Humphreys (1973): Encontró una fuerte dependencia estadística de las neutralidades térmicas ( $T_n$ ) o temperaturas en las que un mínimo estrés fue reportada en escalas verbales en niveles medios de temperatura del aire o temperatura de globo ( $T_i$ ) experimentados por los encuestados (en interior y exterior) en un periodo de aproximadamente un mes. Se encontró que el valor de  $T_n$  varia unos 13 °C, esto es entre 17 °C y 30 °C.
2. Auliciems (1981): similar a la anterior con datos validos entre 18 °C y 28 °C.
3. Griffiths (1990): realizado en edificios europeos obtiene resultados similares a los de Humphreys.
4. Nicol (1996): *“Transforma la regresión lineal en exponencial con una considerable pérdida en capacidad de predicción cuando se aplica a edificios con sistemas mecánicos de aclimatación.”*
5. ITS(1963) *“Índice de estrés térmico”*: *“modelo biofísico que describe el mecanismo de intercambio de calor entre el cuerpo y el ambiente, de lo que se puede calcular el estrés total del cuerpo.”* La relación entre la secreción de sudor y el enfriamiento evaporativo requerido da la eficiencia de enfriamiento de la sudoración.



6. Zona de confort, Olgyay: Define una zona de confort entre los 21.1 °C y los 27,5 °C aproximadamente y entre 30% y 65% de humedad relativa. Solo en la zona templada de estados unidos para habitantes en altitudes cercanas a los 1000m, con vestimenta normal y en actividad sedentaria. (Chávez del Valle, 2002)

## 2.2.4 Estrategias bioclimáticas para el control de temperatura interior.

La arquitectura bioclimática es un concepto que relaciona el clima, la arquitectura y los seres vivos *“representa el empleo de materiales y sustancias con criterios de sostenibilidad, es decir, sin poner en riesgo su uso por generaciones futuras, representa el concepto de gestión energética óptima de los edificios de alta tecnología, mediante la captación, acumulación y distribución de energías renovables pasiva o activamente...”* (Neila González, 2004).

Debido a la estrecha relación que existe entre el clima y la arquitectura, desde el punto de vista bioclimático existen diferentes estrategias que permiten optimizar el diseño arquitectónico dependiendo del clima del territorio en el cual se implantan los edificios.

### ▪ Estrategias bioclimáticas en clima frio

Las estrategias de aprovechamiento pasivo de energía en climas fríos se fundamenta en tres pilares: la captación de la energía, su acumulación y su distribución, donde la relación de los mismos y su adecuada utilización brindan una mejora en el confort térmico en las edificaciones. El concepto general puede resumirse en la acumulación de energía captada del sol para su posterior distribución en la edificación. (Neila González, 2004).

Sistemas de captación.

Consisten en el aprovechamiento energético directo de la radiación solar por medio de los aperturas acristaladas de las fachadas o cubierta. Estos pueden ser muros, ventanas, cubiertas, o elementos como invernaderos y galerías. El criterio fundamental de estos es captar la energía que brinda el sol, lo cual implica que la edificación tenga en cuenta su orientación para lograr este fin.

Sistemas de acumulación y distribución.

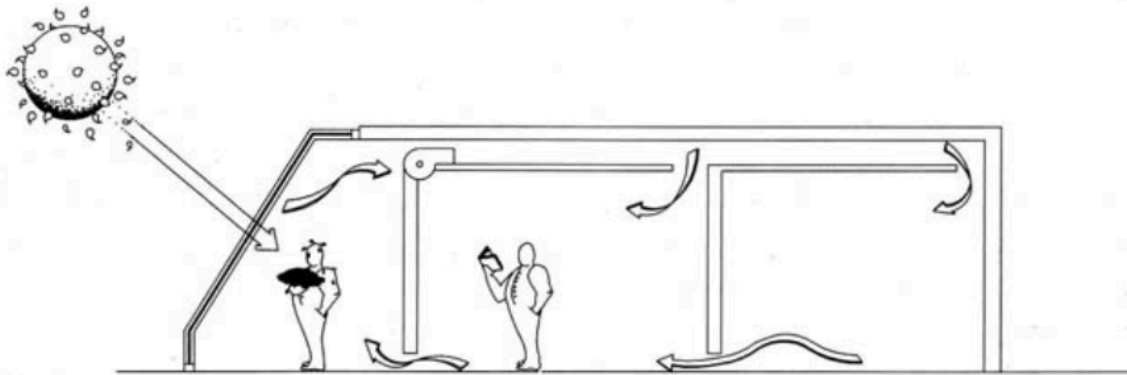
Los sistemas de acumulación pueden ser mediante cámaras o *“sistemas de doble piel” en la que la piel interior “debe tener suficiente masa como para que acumule el calor a lo largo del recorrido del aire”*. (Neila González, 2004).

La distribución del calor se puede realizar por radiación, por el movimiento convectivo del aire desde los elementos de acumulación, o mediante asistencia mecánica, sin embargo,

es importante tener en cuenta en el diseño la ubicación de los locales ya que deben optimizar la distribución de energía a toda la edificación.

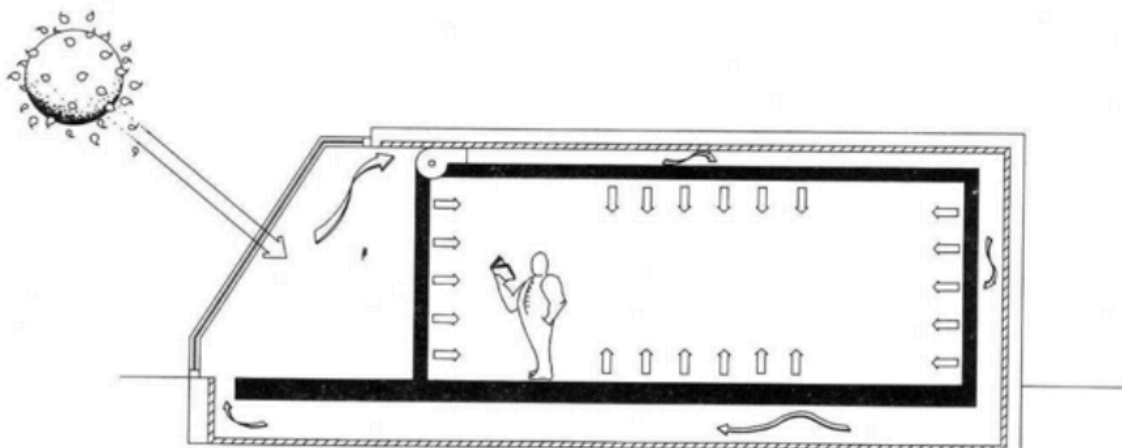
**Figura 2-3.** Distribución mecánica de aire caliente.

*Fuente:* (Neila González, 2004).



**Figura 2-4.** Distribución y acumulación de aire a través de una doble piel.

*Fuente:* (Neila González, 2004).



Las estrategias bioclimáticas brindan herramientas para generar una arquitectura que se relaciona de manera adecuada con el entorno mejorando el confort en las edificaciones.

Una adecuada orientación, con la correcta implementación de estrategias de captación, acumulación y distribución de energía, brindan mejores construcciones en el apartado térmico y energético, sin embargo, es necesario tener en cuenta que estas estrategias dependen en gran medida de las condiciones del entorno construido para aprovechar la radiación solar, motivo por el cual no podrán ser implantadas en el 100% de los casos, siendo posible la necesidad de medidas complementarias que aseguren el confort térmico en todos los casos.

## 2.2.5 Resumen

En el marco teórico presentado se plantean los conceptos básicos para el desarrollo de la investigación previa a la normativa la cual, de acuerdo al procedimiento comentado en el capítulo 2.1.3 sobre el proceso de normalización en Colombia inicialmente y hasta su posterior aprobación, se denomina *Anteproyecto de norma*.

Es de esta forma, como en este documento se plantea una investigación que evalúa el rendimiento térmico de fachadas en la vivienda VIS en Bogotá D.C, buscando valores que permitan mejorar el confort térmico acordes a las características climáticas locales.

Es así como inicialmente se realiza una revisión de normativa nacional e internacional, donde se identifican protocolos y procedimientos que permiten tener una base sobre cómo se aborda una normativa técnica para el control térmico de fachadas.

Posteriormente, con dicha información se procede a realizar una valoración inicial sobre las características climáticas de Bogotá D.C. y plantear de manera teórica los parámetros de análisis de comportamiento térmico de fachadas identificando los siguientes:

- Transferencia de calor en elementos constructivos homogéneos (partes opacas)

Permite cuantificar el comportamiento térmico de los materiales. Para ello se utilizan ecuaciones que permiten identificar la transmitancia de los materiales y la resistencia térmica de los mismos.

- Transferencia de calor en elementos constructivos homogéneos (partes acristaladas - ventanas)

Debido a que una fachada está compuesta tanto por partes opacas (muros) como por partes acristaladas, es necesario también tener en cuenta el comportamiento térmico de estas últimas. Para ello, se emplean ecuaciones que permiten identificar los valores de transmitancia térmica y de resistencia térmica de estas.

- Aislamiento térmico.

El concepto de aislación térmica en los materiales esta dado principalmente por la capacidad de conducir poco calor. En este título se realiza una descripción breve de algunos materiales que poseen estas características con el objetivo de identificar los

---

mismos y si es necesario, utilizarlos para mejorar las condiciones de aislamiento térmico de las fachadas.

- Temperatura radiante.

Este título brinda valores de referencia de confort térmico de acuerdo a los planteamientos realizados por Maurice Croiset para locales con baja carga metabólica, como ocurre en las viviendas.

- Humedad por condensación.

Una de las consecuencias de un mal comportamiento térmico de las fachadas, es la aparición de humedad por condensación por lo cual, en este título se realiza un repaso por los conceptos alrededor de este tema, brindando información sobre sus consecuencias y planteando ecuaciones que permiten evaluar el riesgo de aparición de humedad por condensación..

- Punto de rocío.

El punto de rocío es uno de los parámetros cuyo conocimiento es necesario para calcular el riesgo de humedad por condensación. En este título se realiza una descripción de dicho fenómeno y se brinda una ecuación para realizar su cálculo.

- Confort

Habiendo identificado los mecanismos para realizar un diagnóstico del comportamiento térmico de las fachadas, en este título se realiza una descripción sobre el confort, y los diversos modelos existentes para determinar este, brindando una aproximación a dicho concepto y buscando entender de manera teórica las bases del mismo.

- Estrategias bioclimáticas para el control de temperatura interior.

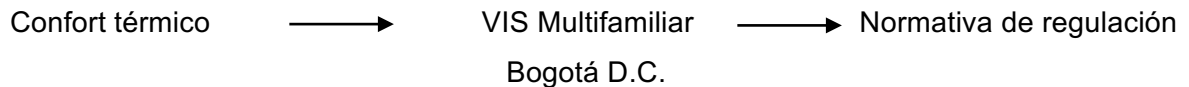
Finalmente, en este título se realiza una breve descripción sobre estrategias para aumentar la temperatura interior de las edificaciones en climas fríos, lo anterior, debido a que si bien una normativa de control térmico de fachadas asegura el aislamiento del edificio, la temperatura interior debe definirse inicialmente para asegurar el confort térmico por medio de estrategias alternativas. Tema que queda planteado para futuras investigaciones.

Es así entonces como, el marco teórico busca generar las herramientas para realizar un diagnóstico de comportamiento térmico de fachadas para posteriormente, mediante la cuantificación inicial de necesidades, evaluar si dicho comportamiento es adecuado para las condiciones locales de Bogotá D.C, en la vivienda VIS multifamiliar y obtener, valores de referencia que permitan generar de acuerdo a los protocolos normativos identificados, un anteproyecto de norma técnica adaptado a las necesidades locales.

# 3. Metodología

## 3.1 Presentación

La metodología se aborda desde la identificación de un objeto de investigación (el confort térmico) realizando la delimitación del mismo hasta una tipología de vivienda en particular (la vivienda de interés social VIS en edificios multifamiliares) para finalmente, llegar a la interrogante de si es necesario realizar una normativa que regule el apartado térmico en las fachadas de las viviendas. El esquema mental puede resumirse de la siguiente manera:



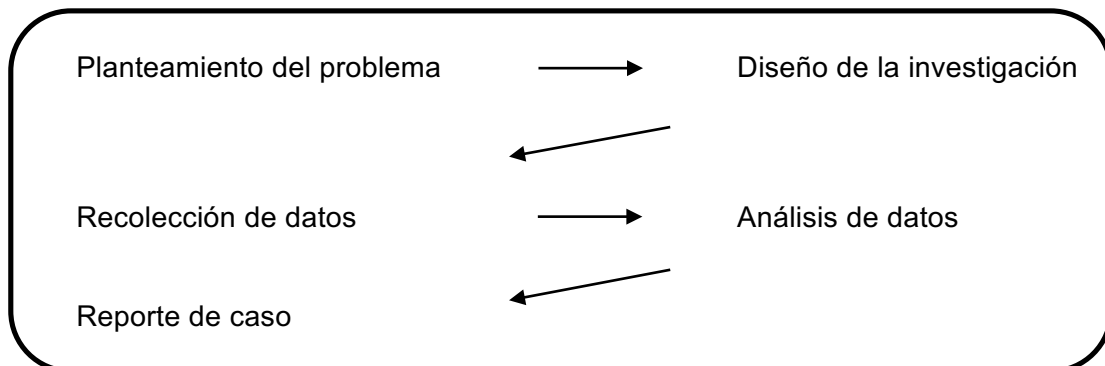
Para el desarrollo de la investigación se sigue un método cualitativo desde un enfoque de estudio de caso.

El estudio de caso es una estrategia que investiga un fenómeno dentro de su contexto, con múltiples fuentes de evidencia que benefician el desarrollo de proposiciones teóricas. (Yin, 2014).

Los pasos que propone el autor para dicha metodología se plantean en la Figura 3-1

**Figura 3-1.** Metodología de estudio de caso

Fuente: (Yin, 2014).



## 3.2 Planteamiento del problema

En el capítulo 1 se ha formulado el problema objeto de investigación. Allí se plantea la influencia que tienen los materiales utilizados en la construcción para generar confort térmico, y como el uso inadecuado de los mismos, puede generar un impacto directo sobre la calidad de vida.

Por esta razón es necesario realizar una evaluación del rendimiento térmico de las fachadas utilizadas en la vivienda VIS, como herramienta de diagnóstico para determinar la necesidad de una normativa que regule el comportamiento térmico de las mismas.

## 3.3 Diseño de la investigación

Se aborda el diseño de la investigación desde un proceso cualitativo con un alcance explicativo y descriptivo en el cual, se aplica la lógica deductiva, desde la teoría generada en los antecedentes y el marco teórico, a la recolección de los datos en casos particulares de la muestra analizada. (Hernández Sampieri, Baptista Lucio, & Fernández Collado, 2014).

El alcance descriptivo de la tesis se enfoca en la recolección de datos sobre los fenómenos presentes en la transferencia de temperatura, aplicados en las fachadas de la vivienda VIS multifamiliar.

El alcance explicativo toma como soporte los datos obtenidos, y busca llegar a entender cómo se relacionan los materiales utilizados en las fachadas de vivienda VIS multifamiliar, con el confort térmico, en directa relación con las características climáticas de la ciudad de Bogotá D.C.

### 3.3.1 Preguntas de investigación

Las preguntas de investigación “*orientan hacia las respuestas que se buscan con la investigación*” (Hernández Sampieri et al., 2014).

De esta forma, para lograr los objetivos en el presente documento, se realiza la siguiente pregunta:

¿Es necesaria una normativa de control térmico para fachadas de viviendas VIS multifamiliar en Bogotá D.C.?

De esta pregunta general se deriva la siguiente pregunta específica:

¿Satisfacen las necesidades de confort térmico las fachadas de viviendas VIS multifamiliar en Bogotá D.C.

### 3.3.2 Fuentes de datos

Las fuentes de datos surgen principalmente de la bibliografía específica existente sobre el tema de análisis, normativa internacional que regule el control térmico en las edificaciones, artículos de periódicos, revistas especializadas, y en la web.

### 3.3.3 Unidades de análisis

Siguiendo lo planteado en la delimitación del problema en el capítulo 1.1, se utiliza como unidad de análisis la fachada de la vivienda VIS, debido a la influencia de esta en el confort térmico al interior de las mismas.

### 3.3.4 Muestra

Para el presente estudio se realiza una muestra no probabilística de casos tipo, donde el *“objetivo es la riqueza, profundidad y calidad de la información, no la cantidad”* (Hernández Sampieri et al., 2014).

El tamaño de la muestra se determina con base en los sistemas constructivos más utilizados en la vivienda VIS desde el año 2007 hasta el año 2016 de acuerdo a datos proporcionados por el DANE y CAMACOL. (CAMACOL, 2016), cuyo análisis ha derivado en la selección de 8 tipologías de fachada.

**Tabla 3-1.** Muestra seleccionada

Fuente: Elaboración propia.

Tipología	Descripción
1	Muro de mampostería estructural en bloques de concreto
2	Muro de mampostería estructural en ladrillos de arcilla
3	Muro de mampostería confinada con bloques de concreto
4	Muro de mampostería confinada con bloques de Arcilla huecos
5	Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla macizos
6	Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla huecos
7	Muro de concreto mediante sistemas industrializados
8	Vidrio de 4mm

### 3.4 Recolección de datos

La recolección de datos se plantea de manera general en tres fases.

Revisión de antecedentes, determinación de las características de las fachadas a analizar en cuanto a su comportamiento térmico y cuantificación de las necesidades a satisfacer relativas al confort térmico en los espacios interiores.

Fase 1. Revisión de antecedentes.

Revisión de normativas existentes en el control térmico de edificaciones, con el objetivo de obtener protocolos y procedimientos que permitan determinar de manera científica el comportamiento térmico de las fachadas. De igual forma, mediante la revisión de literatura especializada, determinar modelos de confort adecuados que permitan evaluar con un criterio local para la ciudad de Bogotá D.C., valores de referencia en el apartado térmico.

Fase 2. Determinación de tipologías de fachada de viviendas VIS y sus características.

Mediante análisis estadístico de datos generados por el DANE y CAMACOL en el censo de edificaciones de 2016 (CAMACOL, 2016), se determinan los sistemas constructivos utilizados en la vivienda de interés social en la ciudad de Bogotá D.C.

Con base en estos datos y las definiciones de los sistemas dados por la NSR- 10 y el *“Inventario de Sistemas Constructivos”* de Vivienda de Interés social desarrollado por METROVIVIENDA (Echeverry Campos, 2000), se definen 8 tipologías de fachada para el análisis, para posteriormente identificar mediante el procedimiento descrito en la norma UNE EN ISO 10456 *“Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño”* (AENOR, 2012) con los valores de conductividad térmica presentes en el catálogo de elementos constructivos del CTE, Código Técnico de la Edificación (construcción, CEPCO, & AICIA, 2010) los valores de comportamiento térmico de cada una de las tipologías.

Fase 3. Valores de referencia para el confort en espacios interiores para vivienda de interés social en la ciudad de Bogotá D.C.

Aquí se realiza una cuantificación de las necesidades a satisfacer en cuanto a confort térmico, obteniendo valores de referencia que permitan determinar el comportamiento de los materiales y su influencia en el confort de los espacios interiores. Para esto se parte de las condiciones climáticas de la ciudad de Bogotá D.C, determinando de acuerdo a sus características, cuales son las necesidades de confort térmico específicas siguiendo los criterios planteados por la NTC 5316 *“Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas”* (ICONTEC, 2004a).



### 3.5 Análisis de datos

Para el análisis de los datos, se contrasta la respuesta de las tipologías de fachada obtenidas en la fase 1, con las necesidades obtenidas en la fase 2 descritas en el capítulo 3.4 mediante la metodología para satisfacer el confort de un espacio planteadas por Marice Croiset (Croiset & Luque Maldonado, 1970) en la cual, se analizan los valores de conducción de materiales, su influencia en la temperatura interior de los espacios y el riesgo de aparición de humedad por condensación concluyendo, en el nivel de satisfacción de confort de las tipologías de fachada analizadas.

El proceso puede resumirse de la siguiente manera:

- Determinación de valores límite de acuerdo a las variables obtenidas en el análisis que influyen el confort térmico según las características climáticas de Bogotá D.C.
- Contraste de los datos obtenidos en las tipologías de fachada con los valores límite para los criterios de análisis utilizados, determinando de esta forma, la idoneidad de los mismos de acuerdo a las necesidades.

Para el análisis de los datos se utilizan tablas que permiten agrupar la información de acuerdo a criterios específicos, permitiendo el contraste de datos de manera ordenada aplicando formatos cromáticos que permiten identificar con precisión los resultados obtenidos.

### 3.6 Reporte de caso

Se aborda en el apartado 4.3.3. Allí se plantean las conclusiones del análisis de comportamiento térmico de las tipologías de fachada seleccionadas, abordando las diferentes variables que inciden en los resultados obtenidos.

Finalmente, con base en las conclusiones del análisis realizado se determinan valores límite de comportamiento térmico para las fachadas, que permitan garantizar de manera teórica, el confort térmico al interior de las viviendas.

Para esto, se propone un anteproyecto de norma que incluye valores de referencia climáticos para la ciudad de Bogotá D.C., valores de conductividad de materiales y métodos de cálculo para determinar el comportamiento térmico de la fachada analizada de acuerdo a protocolos de rango normativo extraídos de documentos internacionales, pero adaptados a las características locales de Bogotá D.C. Obteniendo finalmente, valores que permiten determinar la satisfacción o no, de los valores límite dados para mejorar el confort térmico al interior de las viviendas multifamiliares tipo VIS.



## **4. Desarrollo de la Investigación**

Con base en la metodología planteada, en este capítulo se procede a realizar el desarrollo de la investigación.

En la primer parte del capítulo se determinan valores de confort térmico para la ciudad de Bogotá D.C, donde Inicialmente se realiza una caracterización de las condiciones climáticas en la ciudad, haciendo énfasis en los datos de temperatura de acuerdo a los valores obtenidos producto de la investigación realizada para posteriormente, desarrollar un análisis de temperatura de confort de acuerdo a lo contenido en la NTC 5316, obteniendo así, los valores de referencia para las condiciones locales.

En la segunda parte del capítulo, se identifican 8 tipologías de fachada para su análisis, determinando para cada una de ellas, con base en las ecuaciones obtenidas en el marco teórico, las características de transmitancia térmica, lo cual se toma como soporte para la tercera parte del capítulo, donde se realiza una valoración del comportamiento térmico de las tipologías de acuerdo a las condiciones obtenidas para la ciudad de Bogotá D.C.

Finalmente en las conclusiones se mencionan los aspectos más relevantes, y se determinan valores de referencia para el planteamiento de anteproyecto de norma para control térmico de fachadas en vivienda VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C.

### **4.1 Confort térmico en la ciudad de Bogotá D.C.**

#### **4.1.1 Caracterización climatológica de Bogotá D.C.**

Bogotá D.C. se halla a 4°38' de latitud norte y a 2630 metros de altitud. El clima es frío – muy seco. El promedio de lluvia total anual es de 797 mm. Durante el año las lluvias se distribuyen en dos temporadas secas y dos temporadas lluviosas. (IDEAM, 2015),

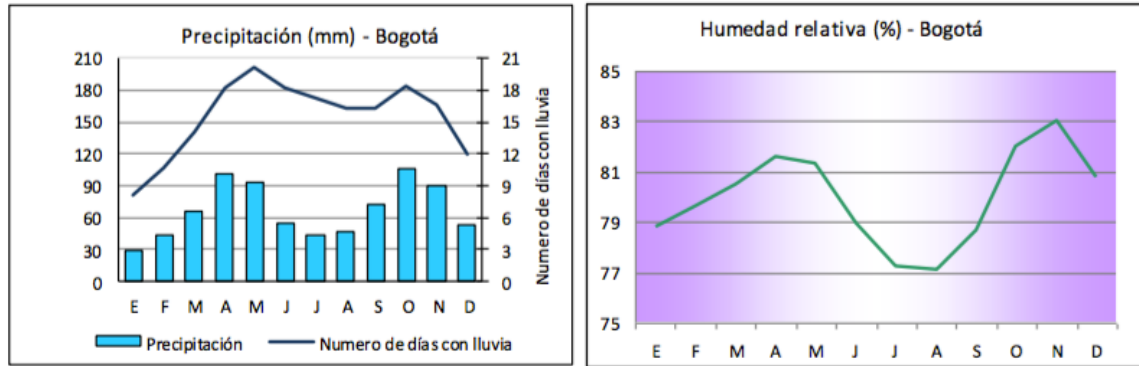
Los meses de enero, febrero, julio y agosto son predominantemente secos, las temporadas de lluvia se extienden desde finales de marzo hasta principios de junio y desde finales de septiembre hasta principios de diciembre. En los meses secos de principios de año, llueve alrededor de 8 días/mes; en los meses de mayores lluvias puede llover alrededor de 18 días/mes.

La humedad relativa del aire oscila durante el año entre 77% y 83%, siendo mayor en los meses de abril y noviembre, y menor en julio y agosto, ver Figura 4-1.

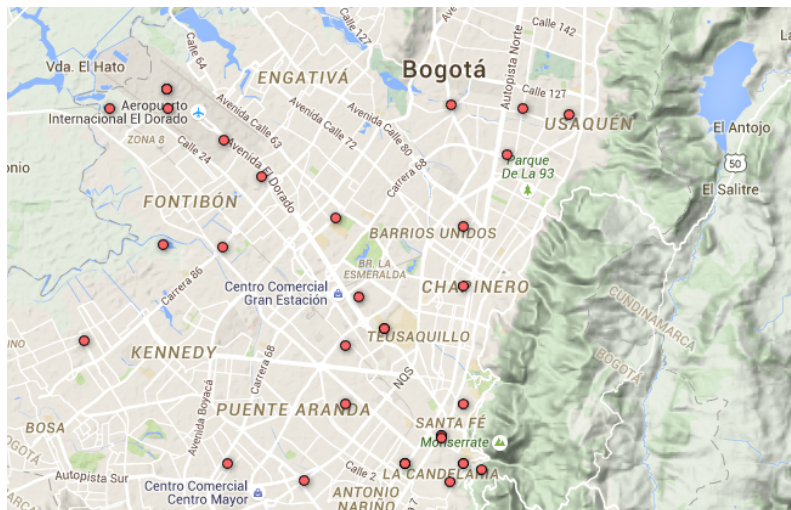
**Figura 4-1.** Precipitación y humedad relativa – Bogotá D.C.

Fuente: IDEAM 2015

<http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile7982&downloadname=1Sitios%20turisticos2.pdf>



En cuanto a la medición de temperatura, el IDEAM proporciona a través de su página web los promedios climatológicos desde 1981 hasta 2010, “Este dato corresponde a la suma de los promedios mensuales de precipitación y al promedio de temperatura media de 30 años, considerado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) como el número de años para establecer una media climatológica” (I. d. h. IDEAM, meteorología y estudios ambientales, 2015), los cuales provienen de diferentes estaciones meteorológicas en Bogotá D.C, pudiendo realizar un análisis de cómo varía esta a través de la ciudad. (I. d. h. IDEAM, meteorología y estudios ambientales, 2015). Figura 4-2.

**Figura 4-2.** Localización estaciones meteorológicas – Bogotá D.C.Fuente: <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>

El IDEAM proporciona tres valores por cada uno de los meses del año, incluyendo un promedio anual total. Estos valores son temperatura media, temperatura máxima media y temperatura mínima media.

Mediante el análisis de la información obtenida se tienen los siguientes datos.

▪ **Temperatura media en Bogotá D.C.**

Se encuentra entre los 7.5°C en el mes de julio, medido en la estación meteorológica de Doña Juana, en las afueras de Bogotá D.C, y los 15.3°C medidos en el Jardín Botánico en el mes de mayo. (IDEAM, 2010). Ver Tabla 4-1.

**Tabla 4-1.** Temperatura media por estaciones meteorológicas en Bogotá D.C.

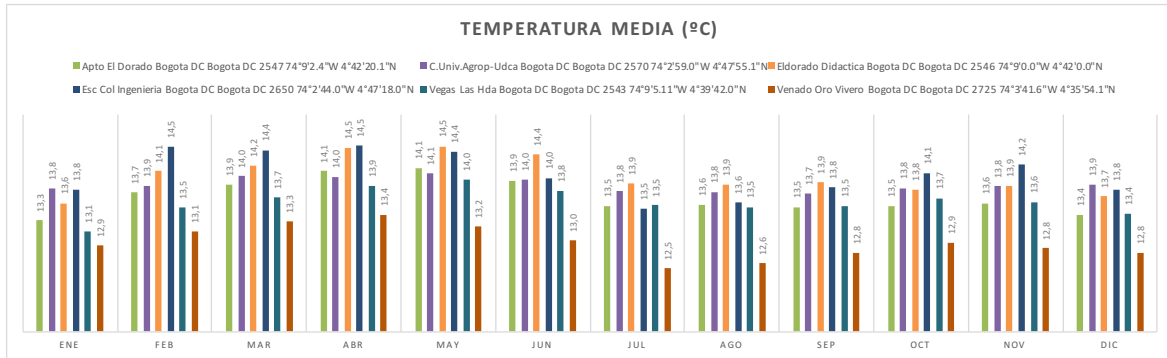
Fuente: IDEAM <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/mapas-graficos-tiempo-clima/indicadores-climatologicos?inheritRedirect=true>

NOMBRE	TEMPERATURA MEDIA (°C)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Apto El Dorado	13,3	13,7	13,9	14,1	14,1	13,9	13,5	13,6	13,5	13,5	13,6	13,4	13,7
C.Univ.Agrop-Udca	13,8	13,9	14,0	14,0	14,1	14,0	13,8	13,8	13,7	13,8	13,8	13,9	13,9
Doña Juana	10,5	10,2	10,1	10,1	9,5	9,7	7,5	9,7	9,9	9,9	9,1	8,8	9,3
El dorado Didáctica	13,6	14,1	14,2	14,5	14,5	14,4	13,9	13,9	13,9	13,8	13,9	13,7	14,0
Esc Col Ingeniería	13,8	14,5	14,4	14,5	14,4	14,0	13,5	13,6	13,8	14,1	14,2	13,8	14,1
Jardin Botánico	15,0	15,1	15,1	15,2	15,3	15,2	14,9	15,0	15,0	14,9	15,0	15,0	15,1
Tanques Los	9,3	9,3	9,5	9,4	9,5	9,1	8,6	8,6	9,0	9,3	9,7	9,5	9,2
Univ Nacional	14,6	14,8	15,0	15,2	15,3	15,0	14,4	14,5	14,6	14,8	14,9	14,9	14,9
Vegas Las Hda	13,1	13,5	13,7	13,9	14,0	13,8	13,5	13,5	13,5	13,7	13,6	13,4	13,6
Venado Oro Viviero	12,9	13,1	13,3	13,4	13,2	13,0	12,5	12,6	12,8	12,9	12,8	12,8	13,0

Si se realiza un análisis de la información, en la Figura 4-3 se puede observar como las estaciones de Doña Juana ubicada en el relleno sanitario del mismo nombre, a una altura de 2700 MSNM y los Tanques, localizado en las inmediaciones del Parque Natural Sumapaz, a una altura de 3150 MSNM, presentan variaciones con el resto de estaciones en torno a los 5°C, lo cual es ocasionado por su localización fuera del entorno urbano y a una altura diferente a las demás estaciones. De igual forma, las estaciones de la Universidad Nacional y el Jardín Botánico debido a sus características de densidad urbana, junto con las dos anteriores mencionadas, no serán tomadas en cuenta dentro del promedio, con el objetivo de obtener valores de referencia ajustados a las condiciones de la ciudad y tipología de la vivienda VIS.

**Figura 4-3.** Temperatura media mensual estaciones meteorológicas Bogotá D.C.

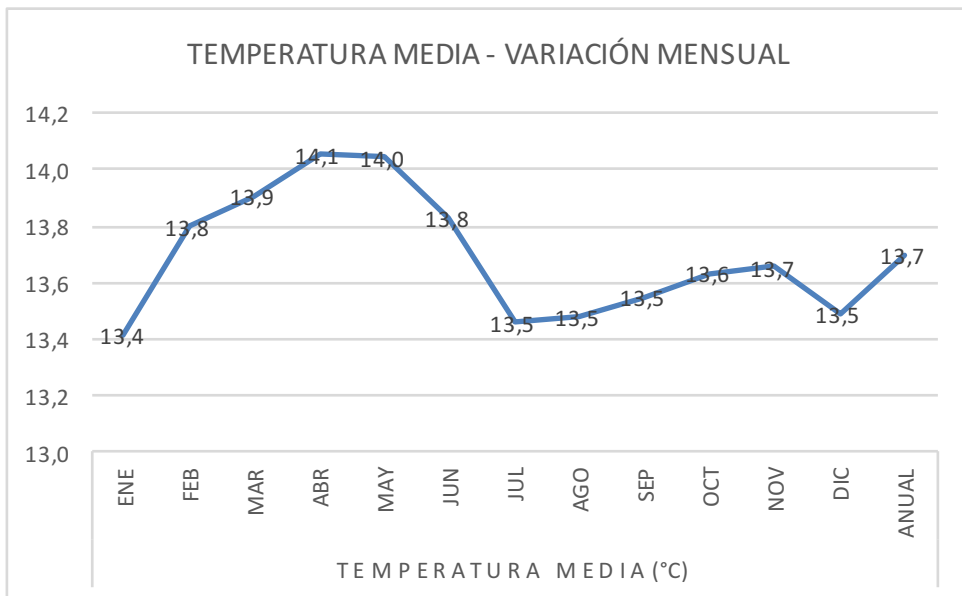
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM



Realizando el promedio de la medición presentada por todas las estaciones (a excepción de Doña Juana, Los Tanques, Universidad Nacional y Jardín Botánico por los motivos mencionados), la temperatura varía a través del año con una temperatura media mínima de 13,4°C en el mes de enero, una media máxima de 14,1°C en el mes de abril y un promedio anual de 13,7°C. (IDEAM, 2010).

**Figura 4-4.** Temperatura media – Variación mensual en Bogotá D.C.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM



En la Figura 4-4 se puede observar como la temperatura media en el año se encuentra entre los 13,4°C en el mes de enero y los 14,1°C en el mes de abril, presentando una oscilación de 0,7°C, y teniendo un promedio anual de 13,7°C.

▪ **Temperatura máxima media en Bogotá D.C.**

En la Tabla 4-2, se encuentran los valores correspondientes a la temperatura máxima media en las 6 estaciones meteorológicas tomadas por sus características como referencia para realizar el análisis de temperatura. Es de destacar como la temperatura máxima registrada es de 20,9°C en la estación de La Escuela Colombiana de Ingeniería en el mes de enero y febrero.

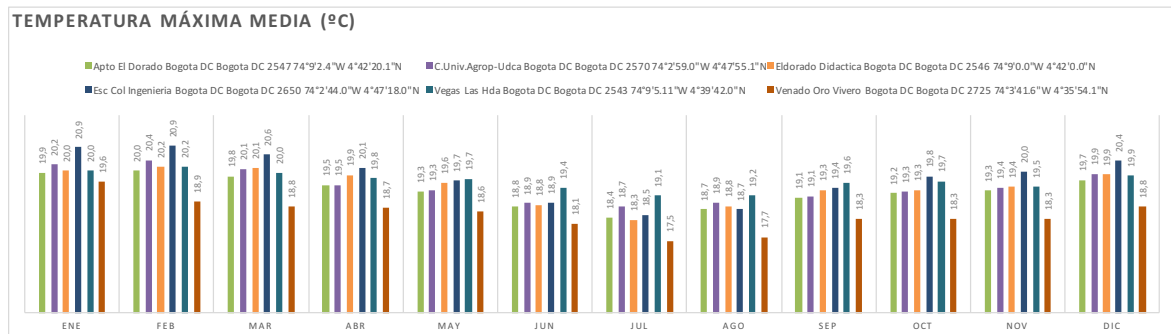
**Tabla 4-2.** Temperatura máxima media mensual por estaciones meteorológicas en Bogotá D.C.

Fuente: IDEAM <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/mapas-graficos-tiempo-clima/indicadores-climatologicos?inheritRedirect=true>

NOMBRE	TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA (°C)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Apto El Dorado	19,9	20,0	19,8	19,5	19,3	18,8	18,4	18,7	19,1	19,2	19,3	19,7	19,3
C.Univ.Agrop-Udca	20,2	20,4	20,1	19,5	19,3	18,9	18,7	18,9	19,1	19,3	19,4	19,9	19,5
El dorado Didáctica	20,0	20,2	20,1	19,9	19,6	18,8	18,3	18,8	19,3	19,3	19,4	19,9	19,5
Esc Col Ingeniería	20,9	20,9	20,6	20,1	19,7	18,9	18,5	18,7	19,4	19,8	20,0	20,4	19,8
Vegas Las Hda	20,0	20,2	20,0	19,8	19,7	19,4	19,1	19,2	19,6	19,7	19,5	19,9	19,7
Venado Oro Vivero	19,6	18,9	18,8	18,7	18,6	18,1	17,5	17,7	18,3	18,3	18,3	18,8	18,4

**Figura 4-5.** Temperatura máxima media mensual estaciones meteorológicas Bogotá D.C.

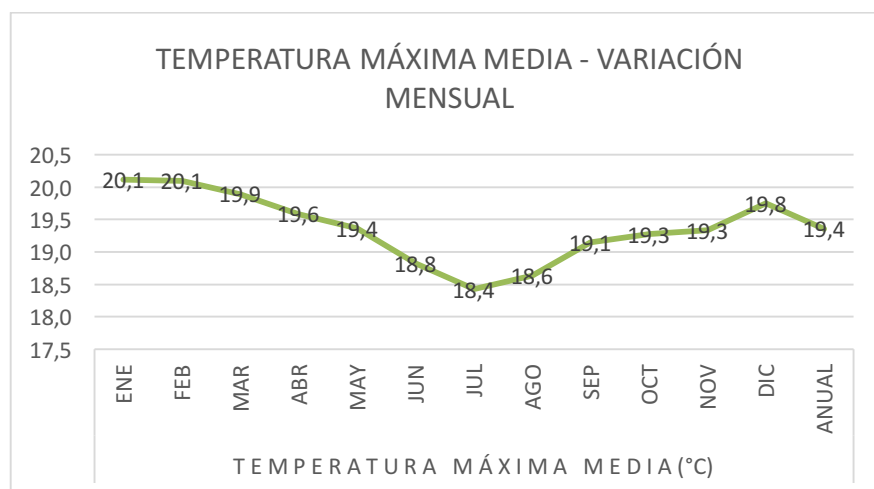
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM



En la Figura 4-5 se observa gráficamente el comportamiento a través del año de las estaciones analizadas, destaca como temperatura máxima más baja registrada los 17,5°C en la estación Venado Oro Vivero en el mes de Julio, y la temperatura máxima más alta registrada en la estación de la Escuela Colombiana de Ingeniería en el mes de enero y febrero con 20°C y una diferencia de 2,5°C. (IDEAM, 2010).

**Figura 4-6.** Temperatura máxima media – Variación mensual en Bogotá D.C.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM



Realizando un promedio de todas las estaciones meteorológicas analizadas, en la Figura 4-6 se puede observar como la temperatura máxima media en el año se encuentra entre los 18,4°C en el mes de julio y los 20,1°C en los meses de enero y febrero, presentando una oscilación de 1,7°C, teniendo un promedio anual de 19,4°C.

#### ▪ Temperatura mínima media en Bogotá D.C.

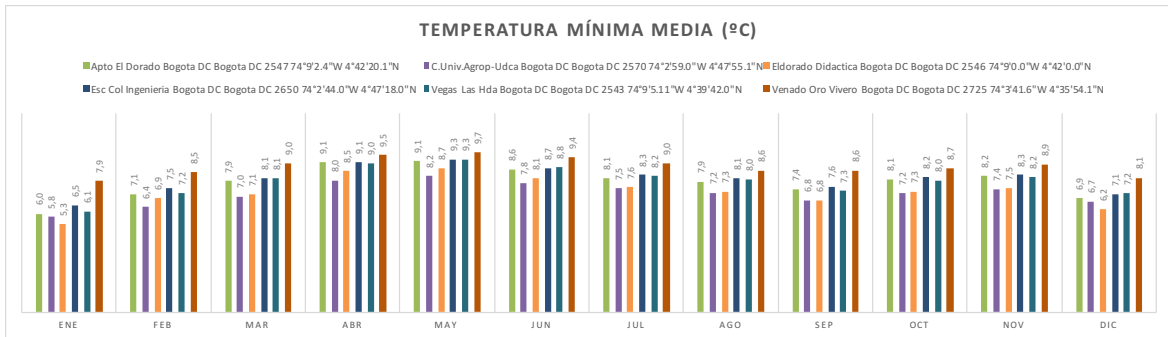
De acuerdo a los datos brindados por el IDEAM, en la Tabla 4-3, se puede observar como está se encuentra entre los 5,3°C en el mes de enero medidos en la estación El Dorado Didáctica y los 9,7°C medidos en la estación Venado Oro Vivero. (IDEAM, 2010).

**Tabla 4-3.** Temperatura mínima media mensual por estaciones meteorológicas en Bogotá D.C.Fuente: IDEAM <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/mapas-graficos-tiempo-clima/indicadores-climatologicos?inheritRedirect=true>

NOMBRE	TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA (°C)												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Apto El Dorado	6,0	7,1	7,9	9,1	9,1	8,6	8,1	7,9	7,4	8,1	8,2	6,9	7,9
C.Univ.Agrop-Udca	5,8	6,4	7,0	8,0	8,2	7,8	7,5	7,2	6,8	7,2	7,4	6,7	7,2
El dorado Didáctica	5,3	6,9	7,1	8,5	8,7	8,1	7,6	7,3	6,8	7,3	7,5	6,2	7,3
Esc Col Ingeniería	6,5	7,5	8,1	9,1	9,3	8,7	8,3	8,1	7,6	8,2	8,3	7,1	8,1
Vegas Las Hda	6,1	7,2	8,1	9,0	9,3	8,8	8,2	8,0	7,3	8,0	8,2	7,2	7,9
Venado Oro Vivero	7,9	8,5	9,0	9,5	9,7	9,4	9,0	8,6	8,6	8,7	8,9	8,1	8,9



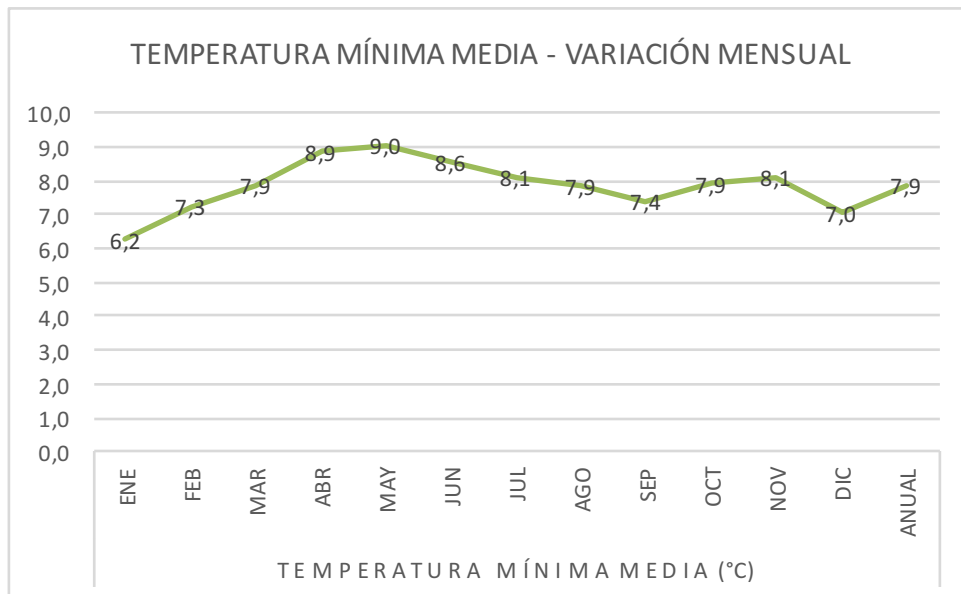
**Figura 4-7.** Temperatura mínima media mensual estaciones meteorológicas Bogotá D.C.  
 Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM



En la Figura 4-7 se observa gráficamente el comportamiento a través del año de las estaciones analizadas, destaca como temperatura mínima más baja registrada los 5,3°C en la estación El Dorado Didáctica en el mes de Enero, y la temperatura mínima más alta registrada en la estación Venado Oro Vivero en el mes de mayo con 9,7°C y una diferencia de 4,4°C. (IDEAM, 2010).

**Figura 4-8.** Temperatura mínima media – Variación mensual en Bogotá D.C.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM



Realizando un promedio de todas las estaciones meteorológicas analizadas, en la Figura 4-8 se puede observar como la temperatura mínima media en el año se encuentra entre los 6,2°C en el mes de enero y los 9,0°C en el mes de mayo, presentando una oscilación de 2,8°C, teniendo un promedio anual de 7,9°C.

De acuerdo a lo anterior, se pueden resumir las variaciones de temperatura en la Ciudad de Bogotá D.C. de la siguiente manera, ver Tabla 4-4:

**Tabla 4-4.** Resumen variación de temperatura anual en Bogotá D.C.

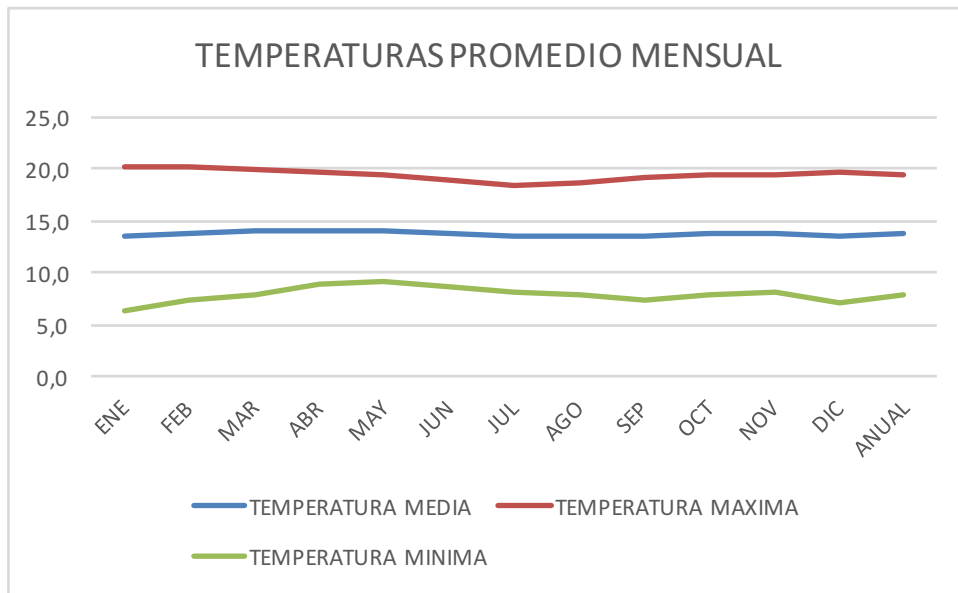
Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM

CONCEPTO	MIN. MEDIO ANUAL	MAX. MEDIO ANUAL	PROMEDIO ANUAL
Temp. media	7.9°C	20.1°C	13.7°C
Temp. máxima	9.0°C	19.4°C	14.1°C
Temp. mínima	6.2°C	18.4°C	13.4°C

De acuerdo a la Figura 4-9, se puede observar como las temperaturas a través del año en Bogotá D.C. sufren variaciones de entorno a 1,5°C excepto, en el caso de la temperatura mínima que puede variar hasta casi 3°C. De igual forma, se observa que si bien estas son estables en el transcurso del año, las variaciones promedio mensual entre la temperatura mínima y máxima están dadas entre los 12°C y los 14°C lo cual, si no existe un adecuado control térmico en la edificación conlleva a pérdidas de confort térmico en espacios interiores.

**Figura 4-9.** Resumen variación de temperatura anual en Bogotá

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por el IDEAM



### 4.1.2 Valores de referencia de confort térmico en la ciudad de Bogotá D.C.

Para la definición de la temperatura de referencia de confort térmico en las viviendas objeto de este estudio, se tomará como base lo especificado en la norma NTC 5316 de 2004 de “*Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas*”.

La NTC 5316 cuenta con el siguiente alcance “*Esta norma específica las combinaciones de factores personales y ambientales en espacios interiores, que producirán condiciones ambientales térmicas aceptables para el 80% o más de los ocupantes dentro de un espacio*”. (ICONTEC, 2004a).

La norma define las condiciones para un ambiente térmico aceptable de la siguiente manera:

*“La aceptación del ambiente térmico y la percepción del confort y la temperatura está relacionada con la producción metabólica de calor, su transferencia al medio ambiente, los ajustes fisiológicos resultantes y las temperaturas del cuerpo.”* (ICONTEC, 2004a).

La ropa, debido a sus propiedades aislantes, es un modificador importante de la transferencia de calor del cuerpo y su confort, por este motivo, la norma específica el aislamiento proporcionado por conjuntos de prendas de vestir, los cuales están dados en unidades “clo” (del inglés clothing, vestido) equivalente a una resistencia térmica de 0,18 m<sup>2</sup> hr °C/Kcal. (M. d. t. y. a. s. España, 1983).

Se toma una vestimenta de referencia para ambientes interiores en la ciudad de Bogotá D.C. de acuerdo a los valores de referencia dados en la “*Tabla 4-5. “Valores de aislamiento de prendas y formula para estimar los valores de aislamiento de ropa, para conjuntos*”.

**Tabla 4-5.** Valores de aislamiento de ropa para hombres.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la norma NTC 5316

Descripción de la prenda	(clo)
Pantaloncillos	0,04
Calcetines	0,02
Zapatos	0,02
Camisa en franela de manga larga	0,34
Pantalones rectos delgados	0,15
<b>TOTAL</b>	<b>0,57</b>

**Tabla 4-6.** Valores de aislamiento de ropa para mujeres.

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos de la norma NTC 5316.

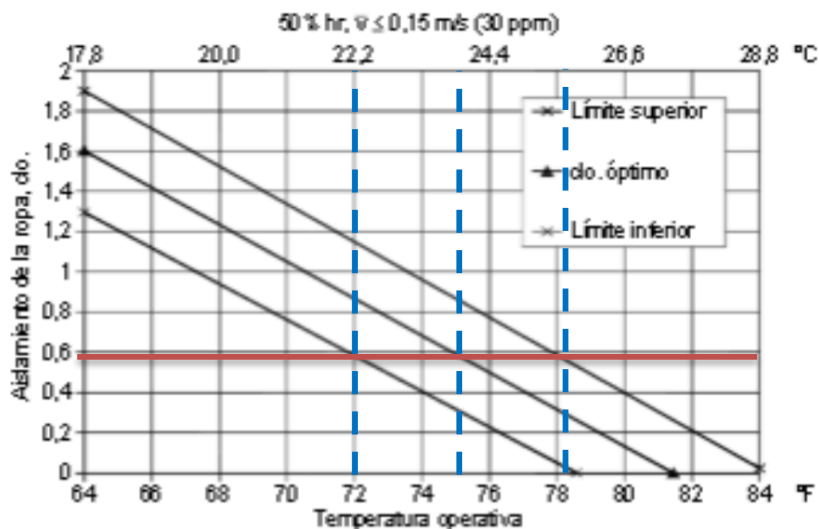
Descripción de la prenda	(clo)
Panties	0,03
Sostén	0,01
Calcetines	0,02
Zapatos	0,02
Blusa para vestido de manga larga	0,25
Chaleco sin mangas (delgado)	0,1
Pantalones rectos delgados	0,15
<b>TOTAL</b>	<b>0,58</b>

De acuerdo a la información proporcionada por la norma NTC 5316, las vestimentas elegidas tienen un valor “clo” de 0,57 para hombres y 0,58 para mujeres, pudiendo categorizarse en una resistencia “ligera” de acuerdo a lo expresado en la norma NTP 074 española. (M. d. t. y. a. s. España, 1983).

En la Figura 4-10 se determina el intervalo recomendado de temperatura operativa dada para personas que realizan actividades principalmente sedentarias, el diagrama, muestra en el lateral izquierdo una escala de medida en unidades “clo”. En la parte horizontal, los valores correspondientes a la temperatura en grados centígrados, en la parte superior, y en grados Fahrenheit, en la inferior. Las tres líneas diagonales representan el límite superior, inferior y óptimo de la relación entre el grado de aislamiento proporcionado por la vestimenta y la temperatura operativa para personas que realizan actividades principalmente sedentarias.

**Figura 4-10.** Intervalo recomendado del aislamiento de la ropa que brinda condiciones aceptables a una temperatura operativa dada para personas que realizan actividades principalmente sedentarias ( $\leq 1,2$  met).

Fuente: NTC 5316

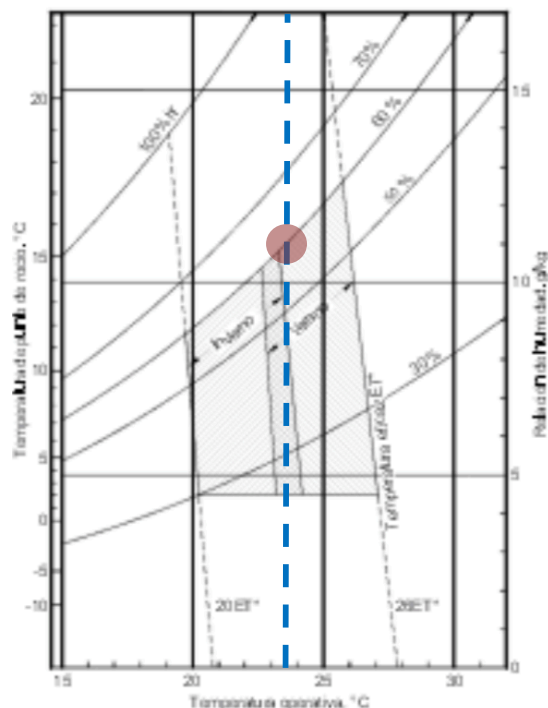


Si se ingresan en la gráfica los valores hallados, de 0,57 unidades “clo” para hombres y 0,58 unidades “clo” para mujeres, se observa como las temperaturas operativas se encuentran entre los 22,5°C y los 25,7°C con una temperatura optima de 24.2°C aproximadamente.

La NTC 5316 (ICONTEC, 2004a) determina de acuerdo al valor de humedad las temperaturas operativas optimas; valores que se encuentran entre el 30 y el 60% ver Figura 4-11, Dado que en Bogotá D.C. la humedad relativa tiene valores entre el 77 y el 83% durante el año, es necesario implementar estrategias que permitan reducir al interior de las edificaciones este valor con el objetivo de evitar problemas en la salud de los habitantes, crecimiento bacteriano y otros problemas relacionados con la humedad.

**Figura 4-11.** Intervalos aceptables de temperatura operativa y humedad para personas que usan ropa de verano o invierno típica durante actividad principalmente sedentaria ( $\leq 1,2$  met) Los intervalos se basan en un criterio de insatisfacción del 10% definido por la NTC 5316.

Fuente: NTC 5316



De acuerdo a lo anterior y tomando en cuenta una humedad relativa del 60% como máximo valor de humedad aceptable de acuerdo a la NTC 5316, y una vestimenta en un punto medio entre verano e invierno, se determina que la temperatura al interior de las edificaciones debería estar en torno a los 23°C (Punto marcado en la Figura 4-11), estando este valor dentro del rango determinado por el valor “clo”. Sin embargo, debido a que la temperatura máxima media en la ciudad de Bogotá D.C. está en torno a los 21°C, se tomará este valor como base para el análisis.

## 4.2 Fachadas VIS en la ciudad de Bogotá D.C.

### 4.2.1 Sistemas constructivos utilizados en la vivienda VIS

El DANE desde el año 1996 realiza el Censo de Edificaciones (CEED), en el cual realiza una valoración trimestral sobre el estado actual de la actividad edificadora en el país. En este documento, se presenta información sobre los sistemas constructivos más utilizados en el país los cuales, han sido definidos por esta entidad de la siguiente manera:

**“Mampostería confinada pórticos:** se realiza por medio de elementos horizontales y verticales denominados vigas, viguetas y columnas, complementados también por elementos de mampostería (ladrillos o bloques en arcilla o concreto) que actúan como unidades de confinamiento y cerramiento de espacios.

Las vigas, viguetas y columnas pueden ser construidas en concreto reforzado (triturado, cemento, arena y acero), metálicas, prefabricadas, fundidas o ensambladas en obra; se conoce como sistema tradicional con pórticos. Los elementos que actúan como complemento de este sistema son el mortero de pega, unidades de mampostería y concreto reforzado. Su cimentación se puede realizar por vigas con concreto reforzado, ciclópeo, pilotes o placas flotantes.

Al igual que en el anterior sistema, las divisiones entre pisos para obras mayores a dos pisos se construyen por placas en concreto reforzado, prefabricadas o fundidas en el sitio de obra.

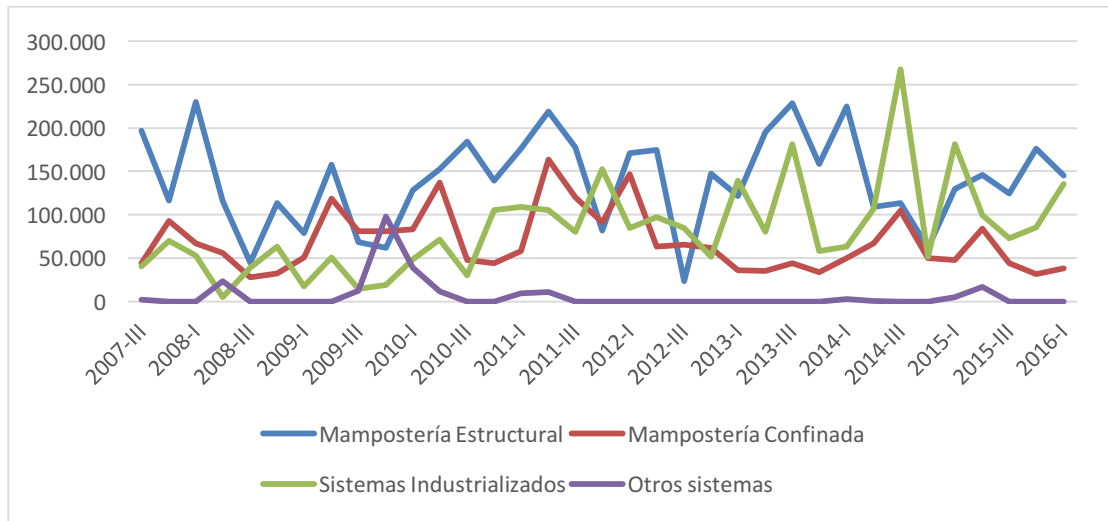
**Mampostería estructural:** sistema constructivo que se realiza por medio de unidades de mampostería, como lo son los ladrillos o bloques estructurales en arcilla o concreto. Posee elementos que actúan como complemento de la mampostería, entre los que se mencionan el mortero de pega o mortero de inyección, refuerzos que pueden ser varillas, grafiles o mallas, alambres, platinas, etc. Este sistema tiene la capacidad de poder ser modulado. Su cimentación se puede realizar por vigas con concreto reforzado, ciclópeo y placas flotantes, incrustadas o sobre el terreno. Las divisiones entre pisos se construyen mediante placas en concreto reforzado, prefabricadas o fundidas en el sitio de obra. Por lo general este sistema constructivo se utiliza para edificaciones no mayores a tres pisos.

**Prefabricados industrializados (in situ o no in situ):** son sistemas constructivos prediseñados por medio de formaletería, modulados según diseño arquitectónico y ensamblado por anclajes, pegante o sellador, elementos de fijación, concretos y demás elementos de unión estructural. Su fundición se puede realizar en la obra o en plantas de fabricación de paneles prefabricados. Poseen elementos complementarios de refuerzo, como concreto, hierro, mallas electro-soldadas, formaletas. Su cimentación se puede realizar mediante vigas con concreto reforzado, ciclópeo y placas flotantes.”(Estadística, 2015)

De acuerdo al DANE y CAMACOL los sistemas constructivos más utilizados desde el año 2007 hasta el año 2016 para las viviendas tipo VIS en Bogotá D.C., están distribuidos de la siguiente manera: (CAMACOL, 2016).

**Figura 4-12.** Evolución sistemas constructivos vivienda VIS en Bogotá D.C.

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por CAMACOL Y DANE

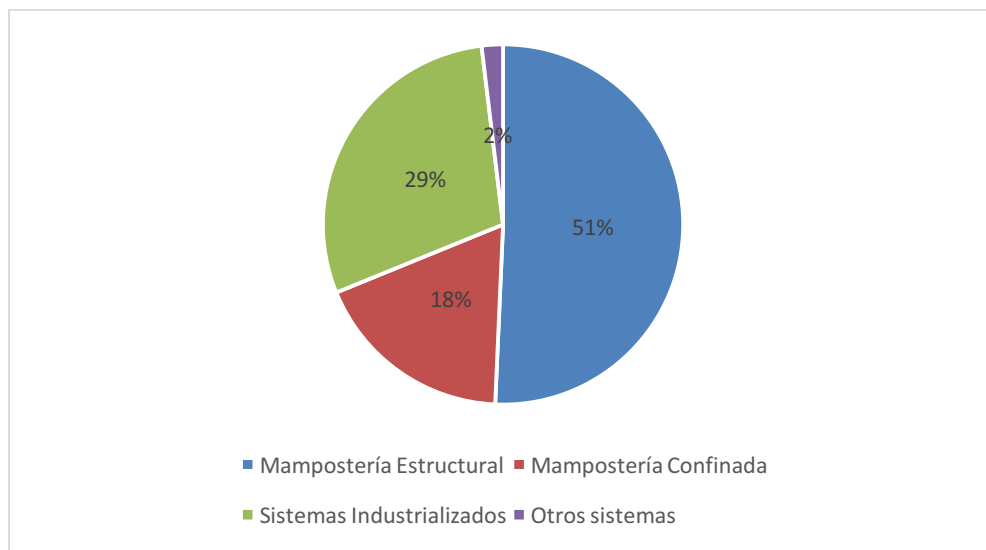


En la Figura 4-12 se puede observar como desde el año 2007 existe una fuerte presencia de la mampostería estructural en este tipo de edificaciones con una tendencia a partir del año 2013 a que el sistema industrializado se presente como sistema constructivo alternativo y la mampostería confinada como tercera opción.

Realizando un análisis del año 2015 se tiene lo siguiente: Figura 4-13.

**Figura 4-13.** Tipos de sistemas constructivos año 2015

Fuente: Elaboración propia con datos proporcionados por CAMACOL Y DANE



De acuerdo a la información presente en la Figura 4-13, se observa como en el año 2015 la tipología VIS definida por CAMACOL, en la ciudad de Bogotá D.C. se construye mayoritariamente en mampostería estructural con un 51%, sistemas industrializados con un 29%, y con una menor presencia se encuentra la mampostería confinada con un 18% y otros sistemas estructurales con un 2%.

## 4.2.2 Definición de tipologías de fachada

De acuerdo a las estadísticas presentadas por el DANE a continuación se realiza una descripción de cada una de los sistemas constructivos para vivienda VIS en Bogotá D.C.

Posteriormente, con base en las características de cada uno de los sistemas descritos se definen las tipologías de fachada que se incluyen en el análisis.

### **Mampostería estructural.**

La NSR 10 reconoce los siguientes tipos de mampostería estructural:

*“D.2.1.1 — MAMPOSTERÍA DE CAVIDAD REFORZADA — Es la construcción realizada con dos paredes de piezas de mampostería de caras paralelas reforzadas ó no, separadas por un espacio continuo de concreto reforzado, con funcionamiento compuesto y que cumple los requisitos del capítulo D.6. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES).*

*D.2.1.2 — MAMPOSTERÍA REFORZADA — Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.7. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad especial de disipación de energía en el rango inelástico (DES) cuando todas sus celdas se inyectan con mortero de relleno o cuando se cumpla con los requisitos adicionales de refuerzos mínimos descritos en D.7.2.1.1, y como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO) cuando sólo se inyectan con mortero de relleno las celdas verticales que llevan refuerzo.*

*D.2.1.3 — MAMPOSTERÍA PARCIALMENTE REFORZADA — Es la construcción con base en piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzada internamente con barras y alambres de acero y que cumple los requisitos del capítulo D.8. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO).*

*D.2.1.4 — MAMPOSTERÍA NO REFORZADA — Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero que no cumple las cuantías mínimas de refuerzo establecidas para la mampostería parcialmente reforzada. Debe cumplir los requisitos del capítulo D.9. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño*



sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).

*D.2.1.5 — MAMPOSTERÍA DE MUROS CONFINADOS — Es la construcción con base en piezas de mampostería unidas por medio de mortero, reforzada de manera principal con elementos de concreto reforzado construidos alrededor del muro, confinándolo y que cumple los requisitos del capítulo D.10. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad moderada de disipación de energía en el rango inelástico (DMO).*

*D.2.1.6 — MAMPOSTERÍA DE MUROS DIAFRAGMA — Se llaman muros diafragma de mampostería a aquellos muros colocados dentro de una estructura de pórticos, los cuales restringen su desplazamiento libre bajo cargas laterales. Los muros diafragma deben cumplir los requisitos del capítulo D.11. Este tipo de construcción no se permite para edificaciones nuevas, y su empleo sólo se permite dentro del alcance del Capítulo A.10, aplicable a la adición, modificación o remodelación del sistema estructural de edificaciones construidas antes de la vigencia de la presente versión del Reglamento, o de la evaluación de su vulnerabilidad sísmica.*

*D.2.1.7 — MAMPOSTERÍA REFORZADA EXTERNAMENTE — Es la construcción de mampostería en donde el refuerzo se coloca dentro de una capa de revoque (pañete) fijándolo al muro de mampostería mediante conectores y/o clavos y cumple con los requisitos descritos en D.12. Este sistema estructural se clasifica, para efectos de diseño sismo resistente, como uno de los sistemas con capacidad mínima de disipación de energía en el rango inelástico (DMI).”*

Si se contrasta esta definición con la presentada por el DANE, en este último no se hace referencia a mampostería estructural en todos los tipos que presenta la NSR 10, enfocándose únicamente en el apartado de “Mampostería reforzada”. En este tipo de mampostería se utiliza unidades de perforación vertical, la cual está definida por la NSR10 de la siguiente forma:

*“D.3.6.4 — UNIDADES DE MAMPOSTERÍA DE PERFORACIÓN VERTICAL — Las unidades de mampostería de perforación vertical (bloque) se pueden utilizar en las construcciones de mampostería estructural de todos los tipos clasificados en D.2.1. Pueden ser de concreto, arcilla o sílico-calcareas.”(Colombia, 2010)*

Aquí se define como Bloques que pueden ser de concreto, arcilla o silico-calcareas, los cuales deben conformar muros con un espesor nominal mínimo de 120 mm.

Si bien la NSR 10 describe diferentes tipos de mampostería estructural, el Inventario de Sistemas Constructivos de Vivienda de Interés social, lo describe de esta manera “El sistema de mampostería reforzada se fundamenta en la construcción de muros con piezas de mampostería de perforación vertical, unidas por medio de mortero, reforzadas internamente con barras y alambres de acero”. Sistema que se tomará para el análisis en el presente documento. (Echeverry Campos, 2000).

### **Mampostería confinada pórticos.**

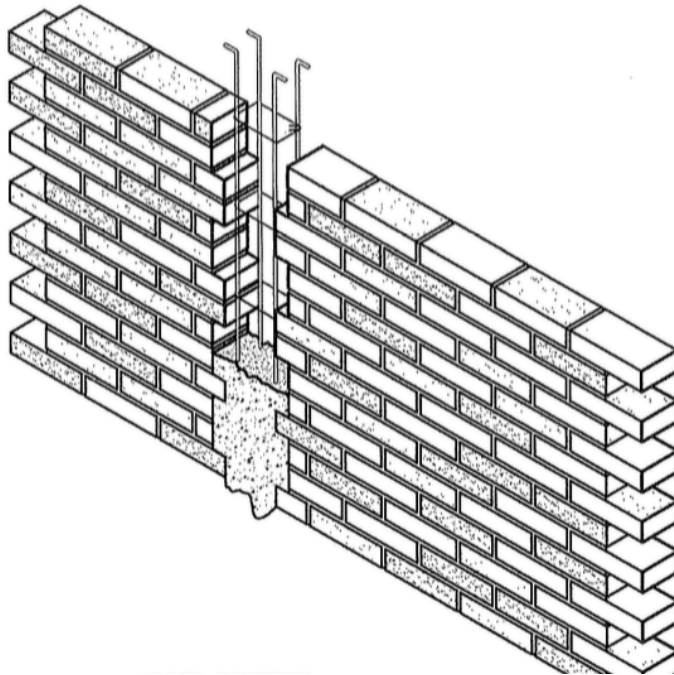
*“El método de construcción de mampostería de muros confinados se basa en la colocación de unidades de mampostería conformando un muro que luego se confina con vigas y columnas vaciadas in situ”(Echeverry Campos, 2000).*

El sistema está compuesto por piezas de mampostería ya sea de concreto o arcilla, unidas por medio de mortero, las cuales se encuentran confinadas por columnas y vigas de concreto construidas alrededor del muro y vaciados posteriormente a la ejecución de la mampostería. El refuerzo debe ir incluido dentro de las columnas y vigas de confinamiento. Ver Figura 4-14.

Para que el muro confinado se considere muro estructural, este debe tener continuidad desde la cimentación hasta la cubierta.

#### **Figura 4-14.** Ejemplo de mampostería confinada

Fuente: (Murguía Díaz, 1997).



#### **Sistemas industrializados.**

*“El concepto de sistema industrializado para construcción de vivienda está asociado a los procesos que, mediante una adecuada planeación de actividades y presupuesto y una selección acertada de equipos y materiales, generan elevados rendimientos en obra y un mejor aprovechamiento de los recursos, al crear una especie de producción en serie, similar a los procesos repetitivos empleados en fábrica... La construcción industrializada es un sistema en el que todos los componentes y subsistemas se han integrado en un proceso global de montaje y ejecución para acelerar la construcción.”(Hurtado Figueroa, 2014).*

**Figura 4-15.** Ejemplo de edificación realizada con sistemas industrializados

Fuente: (Hurtado Figueroa, 2014).



El sistema industrializado es el que mediante el uso de formaletas metálicas moduladas, permiten mayor velocidad en el proceso de construcción con eficiente ocupación de personal. Entre los usos más difundidos esta la construcción de viviendas, cuya estructura está conformada por placas y muros de concreto. Figura 4-15.

Las formaletas reutilizables son paneles metálicos en acero o aluminio que forman una estructura autoportante temporal para moldear el concreto según el diseño arquitectónico.

Los más comunes son los sistemas de formaletería tipo túnel y formaletería manoportable.

Formaletería tipo túnel.

*“El sistema estructural está conformado por muros y placas macizas en concreto reforzado mediante mallas electro soldadas de alta resistencia, fundidos monolíticamente en sitio mediante el uso de formaletas de grandes dimensiones en láminas y perfiles de acero que forman semitúneles y se complementan entre sí para conformar la estructura de diseño. Dentro de las principales características del sistema está el uso necesario de una torre grúa para la movilización de la formaletería y en la mayoría de los casos del concreto. Asimismo, la utilización de los encofrados en el sistema tipo túnel permite la incorporación de cajas eléctricas y pasos de tubería perfectamente ubicados. Las instalaciones se amarran a la malla y las cajas que se incrustan en los muros. En la placa*

se colocan cruces prefabricadas para colocar la formaleta de inicio de muro así como las mallas de refuerzo.” (Hurtado Figueroa, 2014).

**Figura 4-16.** Formaleta tipo túnel

Fuente: (Hurtado Figueroa, 2014).



Formaletería manoportable

“Con el sistema manoportable de paneles modulares, la formaleta se puede acoplar fácilmente a cualquier tipo de proyecto o diseño arquitectónico, ya sea para edificios o casas. Dada su fabricación el sistema permite fundir monolíticamente muros y losas logrando un rendimiento de una vivienda diaria. El nivel de acabado sobre la superficie de concreto puede ser liso o con textura. El sistema de encofrado de la formaleta en aluminio está compuesto por paneles y accesorios. Los paneles son conformados por la unión entre sí de perfiles extruidos con aleación estructural. El peso promedio de un panel de 90cm x 240cm es de aproximadamente 40 kg.” (Hurtado Figueroa, 2014)

**Figura 4-17.** Formaleta tipo manoportable

Fuente: (Hurtado Figueroa, 2014).



**Otros sistemas**

Sistema basado en materiales como guadua, bahareque, tierra estabilizada, entre otros.

En este tipo de sistemas, debido a su poco porcentaje de utilización de acuerdo a la información analizada no se evaluarán tipologías de fachada.

**Selección de tipologías de fachada**

Tomando como base los sistemas identificados por el DANE para la construcción de viviendas VIS en la ciudad de Bogotá y posteriormente con base en las características identificadas en cada uno de ellos en las descripciones realizadas, se tomarán las siguientes tipologías de fachada para su análisis, considerando que son las más relevantes en las construcciones de vivienda de interés social en Bogotá D.C.:

Tipología 1 - Muro de mampostería estructural en bloques de concreto.

Tipología 2 - Muro de mampostería estructural en ladrillos de arcilla.

Tipología 3 - Muro de mampostería confinada con bloques de concreto.

Tipología 4 - Muro de mampostería confinada con bloques de Arcilla huecos.

Tipología 5 - Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla macizos.

Tipología 6 - Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla huecos.

Tipología 7 - Muro de concreto mediante sistemas industrializados.

Tipología 8 – Vidrio de 4mm

**4.2.3 Caracterización**

Con base en las tipologías elegidas de acuerdo a los datos brindados por el DANE y CAMACOL se realiza una caracterización de las mismas determinando su valor U de transmitancia térmica.

Para determinar este valor se realiza el procedimiento de acuerdo a la norma UNE EN ISO 10456 (AENOR, 2012) con los valores de conductividad térmica presentes en el catálogo de elementos constructivos del CTE. (construcción et al., 2010) de acuerdo a lo expresado en el apartado 2.2.2.

Como ejemplo se desarrollará el análisis de transmitancia térmica correspondiente a la tipología No. 6, compuesta por los materiales presentes en la tabla 4-7,, los cuales tienen asignado un valor de conductividad térmica " $\lambda$ " de acuerdo con el catálogo de elementos constructivos del CTE. (construcción et al., 2010).

**Tabla 4-7.** Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valores conductividad térmica de materiales.

Material	Espesor (mts)	"λ" (W/m·K)
Ladrillo de arcilla macizo	0,12	0,87
Mortero	0,015	0,9
Yeso	0,015	0,35

La transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) viene dada por la Ecuación 1 (apartado 2.2.2):

$$U=1/R_t$$

Ecuación 1

Siendo.

$R_t$  La resistencia térmica total del componente constructivo [ $m^2 \cdot K/W$ ]

La resistencia térmica total  $R_t$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión:

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

Ecuación 2

Siendo.

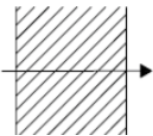
$R_1, R_2, \dots, R_n$  Las resistencias térmicas de cada capa definidas según la expresión [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$R_{si}$  y  $R_{se}$  Las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la Tabla 2-3 (apartado 2.2.2)

**Tabla 2-3** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en  $m^2 \cdot K/W$ 

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor

Fuente: (España., 2015).

		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión dada en la ecuación 3 apartado 2.2.2:

$$R=e/\lambda$$

Ecuación 3

Siendo,

e el espesor de la capa [m].

$\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material, [W/m K]. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005)

De acuerdo a lo anterior, para determinar el valor de transmitancia térmica del cerramiento, primero es necesario conocer los valores de resistencia térmica de cada una de las capas homogéneas que lo compone, para lo cual se utilizará la Ecuación 3., obteniendo los resultados de la Tabla 4-8.

**Tabla 4-8.** Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valores resistencia térmica de materiales.

Fuente: Elaboración propia con valores tomados de (construcción et al., 2010).

Material	Espesor	" $\lambda$ " (W/m·K)	"R" (m <sup>2</sup> ·K/W)
Ladrillo de arcilla macizo	0,12	0,87	0,14
Mortero	0,015	0,9	0,02
Yeso	0,015	0,35	0,04

Determinados los valores de resistencia térmica de cada una de las capas, para hallar el valor de resistencia térmica total del cerramiento se utiliza la ecuación 2 apartado 2.2.2 en la cual, se suman todos los valores de resistencia, incluidos los de resistencia superficial interior y exterior presentes en la Tabla 4-9.

**Tabla 4-9.** Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valor de resistencia térmica total.

Fuente: Elaboración propia.

Concepto	R (m <sup>2</sup> ·K/W)
Ladrillo de arcilla macizo	0,14
Mortero	0,02
Yeso	0,04
Resistencia superficial interior	0,13
Resistencia superficial exterior	0,04
<b>Resistencia total</b>	<b>0,37</b>

El valor de transmitancia térmica de acuerdo a la ecuación 1 apartado 2.2.2, es el inverso de la resistencia total del cerramiento, con lo cual obtenemos el siguiente valor. Ver Tabla 4-10.

**Tabla 4-10.** Cerramiento Tipo 6 (ejemplo). Valor de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia.

Resistencia total ( $m^2 \cdot K/W$ )	Transmitancia térmica ( $W/m^2 \cdot K$ )
0,37	2,72

De esta forma se obtiene un valor de transmitancia térmica para el ejemplo dado de 2,72  $W/m^2 \cdot K$ .

A continuación, se realizará la caracterización de cada una de las tipologías de fachada seleccionadas en el capítulo 4.2.2, hallando en todos los casos los valores de transmitancia térmica correspondientes.

▪ **Tipología 1 - Muro de mampostería estructural en bloques de concreto.**

El muro está compuesto por tres elementos básicos, una capa de protección exterior conformada por una capa de mortero, una estructura de soporte principal realizada en bloque de concreto a cuyas celdas se aplica mortero de refuerzo, y un acabado interior en mortero y estuco de yeso. Tabla 4-11

**Tabla 4-11.** Cerramiento Tipo 1. Muro de mampostería estructural con bloques de concreto

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 1		
Sección	Componentes	Valor U
	BC - Bloque de concreto	2,49 $W/m^2K$
	MT - Mortero	
	EY - Estuco de yeso	



Realizando el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales (construcción et al., 2010) y los espesores de los mismos, se obtiene una transmitancia térmica de 2,49 W/m<sup>2</sup>K. Tabla 4-12.

**Tabla 4-12.** Cerramiento Tipo 1. Análisis de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE.

Material	Espesor (m)	"λ" (W/m·K)	"R" (m <sup>2</sup> ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Bloque de hormigón hueco	0,07	0,56	0,13
Concreto celdas	0,05	2	0,03
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"R<sub>t</sub>" Resistencia Total (m<sup>2</sup>·K/W)</b>			<b>0,40</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>·K)</b>			<b>2,49</b>

▪ **Tipología 2 - Muro de mampostería estructural en ladrillos de arcilla.**

Compuesto por los siguientes elementos: Tabla 4-13

**Tabla 4-13.** Cerramiento Tipo 2. Muro de mampostería estructural en ladrillos de arcilla

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 2		
Sección	Componentes	Valor U
	LA - Ladrillo de arcilla perforado	2,42 W/m <sup>2</sup> K
	MT - Mortero	
	EY - Estuco de yeso	

Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales (construcción et al., 2010) y los espesores de los mismos, se obtiene una transmitancia térmica de  $2,58 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tabla 4-14.

**Tabla 4-14.** Cerramiento Tipo 2. Análisis de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE.

Material	Espesor (m)	" $\lambda$ " ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ )	"R" ( $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )
Ladrillo perforado	0,12	0,76	0,16
Concreto celdas	0,05	2	0,03
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"R<sub>t</sub>" Resistencia Total (<math>\text{m}^2\cdot\text{K/W}</math>)</b>			<b>0,41</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (<math>\text{W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</b>			<b>2,42</b>

▪ **Tipología 3 - Muro de mampostería confinada con bloques de concreto.**

Compuesto por los siguientes elementos: Tabla 4-15

**Tabla 4-15.** Cerramiento Tipo 3. Muro de mampostería confinada con bloques de concreto.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 3		
Sección	Componentes	Valor U
	BC - Bloque de concreto	2,40 $\text{W/m}^2\text{K}$
	MT - Mortero	
	EY - Estuco de yeso	

Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales (construcción et al., 2010) y los espesores de los mismos, se obtiene una transmitancia térmica de 2,40 W/m<sup>2</sup>K. Tabla 4-16

**Tabla 4-16.** Cerramiento Tipo 3. Análisis de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE

Material	Espesor (m)	"λ" (W/m·K)	"R" (m <sup>2</sup> ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Bloque de hormigón hueco	0,1	0,56	0,18
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,5	0,03
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"R<sub>t</sub>" Resistencia Total (m<sup>2</sup>·K/W)</b>			<b>0,42</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>·K)</b>			<b>2,40</b>

▪ **Tipología 4 - Muro de mampostería confinada con bloques de arcilla.**

Compuesto por los siguientes elementos: Tabla 4-17

**Tabla 4-17.** Cerramiento Tipo 4. Muro de mampostería confinada con bloques de arcilla.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 4		
Sección	Componentes	Valor U
	BA - Bloque de arcilla	2,01 W/m <sup>2</sup> K
	MT - Mortero	
	EY - Estuco de yeso	

Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales (construcción et al., 2010) y los espesores de los mismos, se obtiene una transmitancia térmica de  $2,01 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tabla 4-18

**Tabla 4-18.** Cerramiento Tipo 4. Análisis de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE

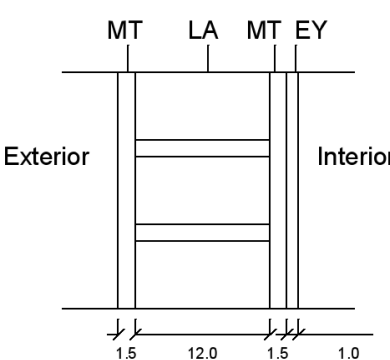
Material	Espesor (m)	" $\lambda$ " (W/m·K)	"R" ( $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )
Mortero	0,02	0,9	0,02
Bloque de arcilla	0,12	0,49	0,24
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"R<sub>t</sub>" Resistencia Total (<math>\text{m}^2\cdot\text{K/W}</math>)</b>			<b>0,50</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (<math>\text{W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</b>			<b>2,01</b>

▪ **Tipología 5 - Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla huecos.**

Compuesto por los siguientes elementos: Tabla 4-19

**Tabla 4-19.** Cerramiento Tipo 5. Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla huecos.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 5		
Sección	Componentes	Valor U
	<p>LA - Ladrillo de arcilla</p> <hr/> <p>MT - Mortero</p> <hr/> <p>EY - Estuco de yeso</p>	<p>2,44 <math>\text{W/m}^2\text{K}</math></p>

Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales (construcción et al., 2010) y los espesores de los mismos, se obtiene una transmitancia térmica de 2,44 W/m<sup>2</sup>K. Tabla 4-20

**Tabla 4-20.** Cerramiento Tipo 5. Análisis de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE

Material	Espesor (m)	"λ" (W/m·K)	"R" (m <sup>2</sup> ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Ladrillo de arcilla hueco	0,12	0,76	0,16
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"R<sub>t</sub>" Resistencia Total (m<sup>2</sup>·K/W)</b>			<b>0,41</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>·K)</b>			<b>2,44</b>

▪ **Tipología 6 - Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla macizos.**

Compuesto por los siguientes elementos: Tabla 4-21

**Tabla 4-21.** Cerramiento Tipo 6. Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla macizos.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 6		
Sección	Componentes	Valor U
	LA - Ladrillo de arcilla	2,72 W/m <sup>2</sup> K
	MT - Mortero	
	EY - Estuco de yeso	

Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales (construcción et al., 2010) y los espesores de los mismos, se obtiene una transmitancia térmica de  $2,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Tabla 4-22

**Tabla 4-22.** Cerramiento Tipo 6. Análisis de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE

Material	Espesor (m)	" $\lambda$ " ( $\text{W/m}\cdot\text{K}$ )	"R" ( $\text{m}^2\cdot\text{K/W}$ )
Ladrillo macizo	0,12	0,87	0,14
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"R<sub>t</sub>" Resistencia Total (<math>\text{m}^2\cdot\text{K/W}</math>)</b>			<b>0,37</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (<math>\text{W/m}^2\cdot\text{K}</math>)</b>			<b>2,72</b>

▪ **Tipología 7 - Muro de concreto mediante sistemas industrializados.**

Compuesto por los siguientes elementos: Tabla 4-23

**Tabla 4-23.** Cerramiento Tipo 7. Muro de concreto mediante sistemas industrializados.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 7		
Sección	Componentes	Valor U
	<p>MC - Muro de concreto</p> <hr/> <p>MT - Mortero</p> <hr/> <p>EY - Estuco de yeso</p>	<p>3,21 <math>\text{W/m}^2\text{K}</math></p>

Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica de los materiales (construcción et al., 2010) y los espesores de los mismos, se obtiene una transmitancia térmica de 3,21 W/m<sup>2</sup>K.

**Tabla 4-24.** Cerramiento Tipo 7. Análisis de transmitancia térmica

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE

Material	Espesor (m)	"λ" (W/m·K)	"R" (m <sup>2</sup> ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Muro de hormigón	0,12	2	0,06
Mortero	0,015	0,9	0,02
Estuco de yeso	0,015	0,35	0,04
Rsi			0,13
Rse			0,04

"R <sub>t</sub> " Resistencia Total (m <sup>2</sup> ·K/W)	0,31
"U" Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> ·K)	3,21

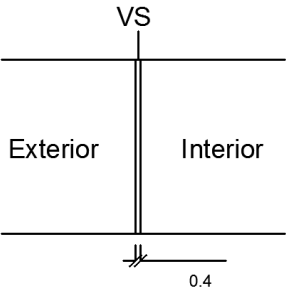
Con el objetivo de brindar un análisis que proporcione mayores detalles con respecto al comportamiento térmico y de control de riesgo de condensaciones en las fachadas de vivienda VIS multifamiliar, se realiza el análisis de transferencia térmica del vidrio sencillo de 4mm como material de ejemplo en las ventanas de la vivienda VIS.

#### ▪ Tipología 8 – Vidrio sencillo de 4mm

El caso de la tipología No. 8 se incluye como método simplificado para tener un valor de referencia sobre los valores que pueden asociarse a un tipo de material utilizado en las ventanerías de la vivienda tipo VIS, sin embargo, debe aclararse que el valor total de transmitancia térmica para las ventanas está determinado también por el tipo de marco utilizado, y debido a que la estandarización de este dato es una investigación en sí misma no forma parte del alcance de esta tesis, es así que se decide simplificar dicho valor únicamente al vidrio utilizado como dato de referencia.

**Tabla 4-25.** Cerramiento Tipo 8. Vidrio sencillo de 4mm.

Fuente: Elaboración propia.

Tipo 8			
Sección	Componentes		Valor U
	VS – Vidrio sencillo		5,75 W/m <sup>2</sup> K

Realizado el análisis de la tipología de fachada, de acuerdo a los valores de resistencia térmica del material (construcción et al., 2010) y el espesor del mismo, se obtiene una transmitancia térmica de 5,75 W/m<sup>2</sup>K. Tabla 4-26.

**Tabla 4-26.** Cerramiento Tipo 8. Análisis de transmitancia térmica.

Fuente: Elaboración propia con datos del catálogo de elementos constructivos del CTE.

Material	Espesor (m)	"λ" (W/m·K)	"R" (m <sup>2</sup> ·K/W)
Vidrio	0,004	1	0,004
Rsi			0,13
Rse			0,04
<b>"R<sub>t</sub>" Resistencia Total (m<sup>2</sup>·K/W)</b>			<b>0,17</b>
<b>"U" Transmitancia térmica (W/m<sup>2</sup>·K)</b>			<b>5,75</b>

**Tabla 4-27.** Resumen valores de transmitancia térmica tipos de cerramiento.

Fuente: Elaboración propia.

Fachada	Descripción	"U" W/m <sup>2</sup> K
Tipo 1	Muro de mampostería estructural en bloques de concreto	2,49
Tipo 2	Muro de mampostería estructural en ladrillos de arcilla	2,42
Tipo 3	Muro de mampostería confinada con bloques de concreto	2,40
Tipo 4	Muro de mampostería confinada con bloques de arcilla	2,01
Tipo 5	Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla huecos	2,44
Tipo 6	Muro de mampostería confinada con ladrillos de Arcilla macizos	2,72
Tipo 7	Muro de concreto mediante sistemas industrializados	3,21
Tipo 8	Vidrio sencillo de 4mm	5,75

En la Tabla 4-27 se encuentran los valores de transmitancia hallados para cada una de las tipologías. Aquí puede observarse como dentro de los cerramientos opacos, el valor de transmitancia térmica más alto está presente en la tipología No. 7 compuesto por un muro de concreto construido mediante un sistema industrializado, de igual forma, se observa como la tipología con menor transmitancia térmica es la No 4, compuesta por un muro de mampostería confinada con bloques de arcilla.



Dado que el valor de transmitancia térmica indica la cantidad de temperatura que es transmitida por el cerramiento, de manera inicial se puede deducir que el muro de concreto de la tipología No. 7 tiene un menor desempeño como aislante térmico que el muro de arcilla de la tipología No. 4, hechos que condicionan de qué manera estos actúan sobre el confort térmico al interior de las viviendas.

### **4.3 Rendimiento térmico de fachadas VIS en la ciudad de Bogotá D.C.**

#### **4.3.1 Análisis de comportamiento higrotérmico de tipologías de fachada.**

El análisis de los cerramiento se basa en la determinación del grado de influencia de este en el confort higrotérmico de los espacios. Bajo este esquema se determinan dos variables.

La pérdida de calor, con el objetivo de determinar en qué grado se ve afectada la temperatura interior y en consecuencia el confort de los espacios debido al comportamiento térmico de los cerramientos.

El riesgo de condensaciones tiene influencia tanto en la durabilidad en los materiales, como en el aspecto sanitario, ya que este puede generar hongos y humedades que pueden afectar la salud de los ocupantes.

Para realizar un análisis que permita brindar una visión integral de la fachada en las viviendas de interés social, se incluye una octava tipología de cerramiento, compuesta por un vidrio de 4mm de espesor, con el objetivo de obtener un valor de referencia del comportamiento de este material, como principal componente de la ventanería.

#### **▪ Pérdida de calor por conducción ( $Q_c$ )**

*“Cuando existen flujos de calor a través de la envolvente del edificio (muros, cubiertas y suelos, por ejemplo) tenemos, dependiendo del sentido de dichos flujos, pérdidas o ganancias por conducción. Si los cerramientos tienen cámaras de aire en su interior también se dan procesos de transferencia de calor por convección, aunque estos suelen ser menos intensos. La cantidad de calor ganado o perdido dependerá de las características térmicas de los materiales empleados, de la diferencia de temperatura interior-exterior y de la superficie total expuesta.” (Arq, 2014).*

Mediante la Ecuación No. 4 (apartado 2.2.2), se pueden calcular las pérdidas o ganancias de calor en un momento dado.

$$\phi_t = U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

Ecuación 4

Siendo,

U transmitancia térmica

A el área de la superficie del elemento de construcción [m<sup>2</sup>] $\theta_i - \theta_e$  la diferencia de temperatura entre el interior y el ambiente exterior[K]. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005)

Para el análisis de las tipologías de fachada se toman los siguientes valores:

 $\theta_i$  21 °C (valor obtenido mediante la NTC 5316) $\theta_e$  5,3 °C (temperatura más baja registrada por las estaciones meteorológicas analizadas)A 10m<sup>2</sup> (Área de fachada de espacio tipo)

U De acuerdo a cada una de las tipologías

A partir de estos valores se obtienen los siguientes resultados:

**Tabla 4-28.** Pérdida de calor de tipologías de fachada

Fuente. Elaboración propia

Fachada	"U" W/m <sup>2</sup> K	Área m <sup>2</sup>	Temp. Int C°	temp. Ext C°	Qc Watts	Qc C°/min
Tipo 1	2,49	10,00	21,00	5,30	390,79	12,35
Tipo 2	2,58	10,00	21,00	5,30	405,25	12,80
Tipo 3	2,40	10,00	21,00	5,30	376,08	11,88
Tipo 4	2,01	10,00	21,00	5,30	316,12	9,99
Tipo 5	2,44	10,00	21,00	5,30	383,26	12,11
Tipo 6	2,72	10,00	21,00	5,30	427,26	13,50
Tipo 7	3,21	10,00	21,00	5,30	503,62	15,91
Tipo 8	5,68	2,40	21,00	5,30	214,09	6,76

En la Tabla 4-28 se observa como el valor de las fachadas con mayor pérdida de calor en concordancia con los valores de transmitancia térmica obtenidos, confirman que la

tipología de fachada con mayor pérdida de temperatura es la No. 7, y el de mejor comportamiento la tipología No. 4.

#### ▪ Cálculo de riesgo de condensaciones

Como se describe en el apartado 2.2.2, existe riesgo de que la condensación se produzca cuando la temperatura interior del cerramiento se encuentra por debajo de la temperatura de rocío. (ASHRAE, 2001).

De acuerdo a lo anterior, para el análisis de riesgo de condensaciones es necesario conocer dos variables, la temperatura interior del cerramiento a analizar y la temperatura de rocío.

La Ecuación 7 (apartado 2.2.2), permite realizar el cálculo de la temperatura interior del cerramiento.

$$t_i = T_i - \frac{K}{h_i} (T_i - T_e)$$

Ecuación 7

Donde

$T_i$  es la temperatura del ambiente interior, en °C

$T_e$  es la temperatura del ambiente exterior, en °C

$t_i$  es la temperatura superficial interior del cerramiento, en °C

$R_t$  es la resistencia térmica total del cerramiento, en  $h \text{ m}^2 \text{ °C/kcal (m}^2 \text{ °C/W)}$

$1/h_i$  es la resistencia térmica superficial interior del cerramiento, en  $h \text{ m}^2 \text{ °C/kcal (m}^2 \text{ °C/W)}$

Para el análisis de los cerramientos se toman los siguientes valores:

$T_i$  21 °C (valor obtenido mediante la NTC 5316)

$T_e$  5,3 °C (temperatura más baja registrada por las estaciones meteorológicas analizadas)

$t_i$  Incógnita

$R_t$  De acuerdo a cada una de las tipologías, en  $h \text{ m}^2 \text{ °C/kcal (m}^2 \text{ °C/W)}$

$1/h_i$  9,3 ( $\text{m}^2 \text{ °C/W}$ )

Realizado el análisis de temperatura superficial interior de cada una de las tipologías, se obtienen los valores presentes en la Tabla 4-29:

**Tabla 4-29.** Temperatura superficie interior de tipologías de fachada

Fuente: Elaboración propia

Fachada	"U" W/m <sup>2</sup> K	Temp. Int C°	Temp. Ext C°	fi W/m <sup>2</sup> C° (película aire interior)	fe W/m <sup>2</sup> C° (película aire exterior)	Ti C°	Te C°
Tipo 1	2,49	21,00	5,30	9,30	29,10	16,80	6,64
Tipo 2	2,42	21,00	5,30	9,30	29,10	16,91	6,61
Tipo 3	2,40	21,00	5,30	9,30	29,10	16,96	6,59
Tipo 4	2,01	21,00	5,30	9,30	29,10	17,60	6,39
Tipo 5	2,44	21,00	5,30	9,30	29,10	16,88	6,62
Tipo 6	2,72	21,00	5,30	9,30	29,10	16,41	6,77
Tipo 7	3,21	21,00	5,30	9,30	29,10	15,58	7,03
Tipo 8	5,68	21,00	5,30	9,30	29,10	11,41	8,37

En la Tabla 4-29 se puede observar como las temperaturas de cerramiento interiores, considerando una temperatura ambiente interior ideal de 21°C, a excepción de la tipología No. 4 compuesta por un muro de mampostería confinada con bloques de arcilla, todas las tipologías se encuentran por debajo de los 17°C la cual establece Maurice Croiset como límite para asegurar el confort interior. (*Croiset & Luque Maldonado, 1970*).

La temperatura de rocío se puede calcular mediante la ecuación 8 (apartado 2.2.2):

$$Pr = \sqrt[8]{\frac{H}{100} \cdot (112 + 0.9 \cdot T) + (0.1 \cdot T) - 112}$$

Ecuación 8

Donde

$P_r$  es la temperatura del punto de rocío, en °C

H es la humedad relativa, en %

T es la temperatura, en °C

Para el análisis de la temperatura de rocío se toman los siguientes valores:

- H humedad relativa mensual de acuerdo a los datos suministrados por el IDEAM. Tabla 4-30
- T Temperatura operativa de acuerdo al análisis de confort, determinada en 21°C

**Tabla 4-30.** Humedad relativa mensual – Bogotá D.C.

Fuente: IDEAM

<http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile7982&downloadname=1Sitios%20turisticos2.pdf>

Humedad relativa mensual												
Fachada	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
Tipo 1	79	80	81	82	81	79	77	77	79	80	83	81

En la Tabla 4-31 se relacionan las temperaturas de punto de rocío para Bogotá D.C. de acuerdo a los valores de humedad proporcionados por el IDEAM, resaltando en azul, las temperaturas de rocío que son superiores a los valores obtenidos de temperatura superficial interior de los tipos de fachada relacionados en la Tabla 4-29, indicando de esta forma, que existe el riesgo de producción de condensación.

**Tabla 4-31.** Temperatura punto de rocío y riesgo de condensaciones

Fuente: elaboración propia.

Temperatura punto de rocío y riesgo de condensaciones												
Fachada	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
<b>Tipo 1</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60
<b>Tipo 2</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60
<b>Tipo 3</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60
<b>Tipo 4</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60
<b>Tipo 5</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60
<b>Tipo 6</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60
<b>Tipo 7</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60
<b>Tipo 8</b>	17,20	17,40	17,60	17,79	17,60	17,20	16,79	16,79	17,20	17,40	17,99	17,60

En la Tabla 4-32 se cuantifica en °C la diferencia entre la temperatura superficial interior de los tipos de fachada y las temperaturas de rocío. El color azul indica que, cuanto más oscuro, mas son las probabilidades de la aparición de condensaciones superficiales.

**Tabla 4-32.** Diferencia en C° Temperatura punto de rocío y superficie interior.

Fuente: elaboración propia.

Diferencia de temperatura superficie interior y temperatura de rocío												
Fachada	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
<b>Tipo 1</b>	-0,40	-0,60	-0,80	-0,99	-0,80	-0,40	0,01	0,01	-0,40	-0,60	-1,19	-0,80
<b>Tipo 2</b>	-0,29	-0,49	-0,69	-0,89	-0,69	-0,29	0,11	0,11	-0,29	-0,49	-1,08	-0,69
<b>Tipo 3</b>	-0,24	-0,44	-0,64	-0,84	-0,64	-0,24	0,16	0,16	-0,24	-0,44	-1,03	-0,64
<b>Tipo 4</b>	0,40	0,20	0,00	-0,19	0,00	0,40	0,81	0,81	0,40	0,20	-0,39	0,00
<b>Tipo 5</b>	-0,32	-0,52	-0,72	-0,91	-0,72	-0,32	0,09	0,09	-0,32	-0,52	-1,11	-0,72
<b>Tipo 6</b>	-0,79	-0,99	-1,19	-1,39	-1,19	-0,79	-0,39	-0,39	-0,79	-0,99	-1,58	-1,19
<b>Tipo 7</b>	-1,61	-1,81	-2,01	-2,21	-2,01	-1,61	-1,21	-1,21	-1,61	-1,81	-2,40	-2,01
<b>Tipo 8</b>	-5,90	-6,10	-6,30	-6,49	-6,30	-5,90	-5,49	-5,49	-5,90	-6,10	-6,69	-6,30

Como se puede observar de acuerdo a la información incluida en la Tabla 4-32, el mayor riesgo de condensación se obtiene en la tipología de fachada No. 8, compuesta por un vidrio de 4mm de espesor, seguida por las tipologías 7 y 6, siendo el mes de noviembre el mes con mayor riesgo en cada una de las tipologías.

### 4.3.2 Valores de referencia de control higrotérmica para Fachadas

#### ▪ Control de condensaciones

Como se vio en el apartado 2.2.2, la condensación se produce cuando la temperatura interior de la fachada se encuentra por debajo de la temperatura de rocío. De acuerdo a los valores incluidos en la Tabla 4-31, el valor máximo de temperatura de rocío a lo largo del año es de 17,99°C, en el mes de noviembre. Debido a esto, para eliminar el riesgo de condensaciones al interior de las fachadas, debe asegurarse que el valor de transmitancia térmica de fachada brinde como mínimo dicha temperatura interior.

Para determinar el valor límite de transmitancia térmica de la fachada que minimice el riesgo de condensaciones, en la Tabla 4-33, se realiza el análisis de temperatura interior, buscando un valor de transmitancia térmica que bajo las condiciones particulares de Bogotá D.C. asegure una temperatura interior de fachada, como mínimo de 17,99 °C. Para ello, se toma la Ecuación apartado 2.2.2 con los siguientes valores:

Temperatura exterior: 5,3°C (temperatura más baja registrada por las estaciones meteorológicas analizadas)

Temperatura interior: 21°C (valor obtenido mediante la NTC 5316)

$f_i$  (película aire interior): 9,3 W/m<sup>2</sup>C°

$f_e$  (película aire exterior): 29,1 W/m<sup>2</sup>C°

**Tabla 4-33.** Análisis de valor de referencia para minimizar el riesgo de condensación en la ciudad de Bogotá D.C.

Fuente: elaboración propia.

Fachada	"U" W/m <sup>2</sup> K	Temperatura Interior C°	Temperatura Exterior C°	f <sub>i</sub> W/m <sup>2</sup> C° (película aire interior)	f <sub>e</sub> W/m <sup>2</sup> C° (película aire exterior)	Ti C°
Ideal	1,78	21,00	5,30	9,30	29,10	18,00

De acuerdo a la Tabla 4-33, para obtener una temperatura interior de fachada de 21°C, es necesario que el valor de transmitancia térmica "U" tenga un valor de 1,78 W/m<sup>2</sup>K, valor que se tomará de referencia para minimizar el riesgo de aparición de humedad por condensación en fachadas de vivienda VIS en la ciudad de Bogotá D.C.

#### ▪ Control térmico

Como se describe en el apartado 4.1.2, de acuerdo a la NTC 5316 para la ciudad de Bogotá D.C, la temperatura de confort se puede determinar en 21°C.

Según Maurice Croiset el confort térmico en una habitación, para locales con baja actividad física como las viviendas, está dado principalmente por la temperatura del ambiente (determinada en 21°C) y la temperatura radiante, la cual debe estar 4°C por debajo de la temperatura ambiente, es decir, en 17°C (*Croiset & Luque Maldonado, 1970*), por lo cual se tomará este valor como referencia para la temperatura radiante.

### 4.3.3 Discusión

De acuerdo al análisis realizado a cada una de las tipologías de fachada seleccionadas, se plantea la siguiente discusión:

Los valores de transmitancia térmica obtenidos para cada una de las tipologías, proporcionan temperaturas de superficie interior, que considerando una temperatura ambiente interior ideal de 21°C, se encuentran en algunos casos por debajo de los 4°C recomendados por Maurice Croiset para asegurar el confort térmico en espacios interiores. (*Croiset & Luque Maldonado, 1970*), Lo cual, tomando en cuenta que el análisis ha sido realizado bajo circunstancias ideales de acuerdo a los valores dados por la NTC 5316, y que en la práctica este valor está condicionado por el control de la temperatura interior realizado por los ocupantes de las viviendas, esta diferencia puede disminuir y de esta forma, también el confort térmico.

Si se realiza una comparación entre los sistemas más utilizados en la vivienda de interés social y los resultados obtenidos en la Tabla 4-31 y en la Tabla 4-32 en las cuales se analiza el riesgo de condensaciones, las fachadas con menor desempeño térmico son las que utilizan sistemas industrializados. Sin embargo, se evidencia que todas las tipologías

de fachada analizadas poseen riesgo de aparición de condensaciones en algún momento del año.

Así mismo, se puede concluir que la ventanería, utilizando únicamente vidrio de 4mm como en la tipología No 8 de fachada, presenta un comportamiento térmico con pérdidas de calor que generan disminución del confort térmico y que origina a su vez condensaciones en todo el año si el interior de la vivienda se encuentra a una temperatura de 21°C.

De acuerdo al análisis realizado mediante la metodología expuesta, se observa que existe una influencia negativa en el confort térmico al interior de las viviendas VIS multifamiliar así como en el riesgo de aparición de condensaciones, proporcionado por los materiales utilizados actualmente en las fachadas de estas.

Se observa, de acuerdo al análisis realizado, que para las condiciones de temperatura y humedad presentes en la ciudad de Bogotá D.C, y de acuerdo a los datos proporcionados por el IDEAM con una temperatura interior de 21°C, una fachada con una transmitancia térmica de 1,78 W/m<sup>2</sup>K, proporciona teóricamente una temperatura interior de fachada superior a la temperatura de rocío máxima a lo largo del año.

El valor de temperatura radiante se determina según la metodología planteada por Maurice Croiset en 17°C.

Si bien el valor de transmitancia térmica obtenido mejora el confort higrotérmico, debido a que minimiza el riesgo de aparición de condensaciones y a la vez, se encuentra por encima de los 17°C planteados por Maurice Croiset como mínimo para la temperatura radiante asegurando el confort térmico, es necesario que las empresas constructoras por medio de estrategias bioclimáticas que potencien la acumulación de temperatura en el interior de las viviendas VIS, como pueden ser las descritas en el apartado 2.2.4, aseguren la temperatura interior mínima propuesta en esta investigación, favoreciendo el confort térmico y el ahorro energético de las viviendas, hecho que se sugiere sea planteado en investigaciones posteriores.

En consideración de lo propuesto, y teniendo en cuenta su influencia tanto en el confort térmico, como en la salubridad de las viviendas, se considera que realizar una propuesta de anteproyecto de norma para el control térmico de fachadas en vivienda VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C, puede mejorar las condiciones en este aspecto y generar un impacto positivo en la calidad de vida y la habitabilidad de las viviendas.





## **5. Propuesta de anteproyecto de norma para el control térmico de fachadas en vivienda VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C.**

Notas previas al anteproyecto:

La propuesta de anteproyecto de norma tiene como objetivo principal, mejorar el confort higrotérmico en las viviendas de interés social en la ciudad de Bogotá D.C. Para ello se proponen valores límite promedio de transmitancia térmica de las fachadas, de temperatura radiante y finalmente de aparición de condensaciones, de acuerdo a los valores obtenidos de confort para viviendas tipo VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C, según la normativa NTC 5316 (ICONTEC, 2004b) y las exigencias para satisfacer el confort de un espacio planteadas por Maurice Croiset. (Croiset & Luque Maldonado, 1970).

La transferencia de calor se describe mediante la transmitancia del cerramiento (U) dado en ( $W/m^2 \cdot K$ ). Este valor brinda la pérdida de calor a través del elemento constructivo por unidad de superficie y diferencia de temperatura de los medios a cada lado del elemento considerado. (Díaz Regodón & Tenorio Ríos, 2005). De acuerdo a esto, el valor (U) determina la temperatura de superficie interior del cerramiento, la temperatura interior del espacio y el riesgo de condensación, como se ha expresado en el apartado 2.2.2 “Envoltorio de la edificación”.

Para determinar el valor límite de transmitancia (U) de cerramientos se toman en cuenta dos parámetros:

Primero, la temperatura de la superficie interior del cerramiento, la cual debe ser inferior que la temperatura de rocío para que no se produzcan condensaciones, y que de acuerdo a los valores para punto de rocío y humedad presentes en la ciudad de Bogotá D.C, determinados en el apartado 4.3.1 “Cálculo de riesgo de condensaciones” está dada en  $17,99^{\circ}C$  como dato más desfavorable. Para que la superficie interior de la fachada posea una temperatura superior a la mencionada, es necesario que esta posea una transmitancia U de como máximo  $1,78 W/m^2K$  en la fachada.

Segundo, el confort en una habitación según Maurice Croiset, para locales con baja carga metabólica como las viviendas, está dado principalmente por la temperatura del ambiente la cual, de acuerdo a la NTC 5316 para la ciudad de Bogotá D.C, se determina en  $21^{\circ}C$ , y la temperatura radiante la cual, debe estar  $4^{\circ}C$  por debajo de la temperatura ambiente, es decir, en  $17^{\circ}C$  (Croiset & Luque Maldonado, 1970). Sin embargo, debido a que la temperatura de superficie interior de fachada definida para eliminar el riesgo de condensaciones es superior a la mencionada, se toma este dato como referencia, es decir con un valor de transmitancia térmica U como máximo de  $1,78 W/m^2K$  en la fachada.

## 5.1 Alcance

Esta propuesta de anteproyecto de norma establece reglas y procedimientos que permiten evaluar el rendimiento térmico de fachadas de vivienda VIS multifamiliar de acuerdo a valores de referencia para la ciudad de Bogotá D.C. y una temperatura ambiente de 21°C.

## 5.2 Objeto

Limitar adecuadamente la transferencia de calor en fachadas de edificios multifamiliares VIS, de tal forma que se pueda obtener el confort térmico en función del clima de Bogotá D.C. y al mismo tiempo se minimice la aparición de condensaciones en el interior de las viviendas.

Los factores tratados son: transmitancia térmica de los materiales que componen las fachadas, temperatura radiante y aparición de condensaciones.

Esta propuesta de anteproyecto de norma especifica valores límite de transmitancia térmica en las fachadas y de temperatura radiante que permiten minimizar el riesgo de aparición condensaciones y así mismo satisfacer las condiciones de confort térmico de acuerdo a la NTC 5316.

## 5.3 Definiciones

confort térmico

condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico, requiere evaluación subjetiva.

ambiente térmico

las características del ambiente que afectan la pérdida de calor de una persona.

ambiente térmico aceptable

ambiente que al menos el 80% de los ocupantes encontrarían térmicamente aceptable.

cerramiento

elemento constructivo del edificio que lo separa del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios. Comprende las cubiertas, suelos, huecos, muros y medianeras.

condensación superficial

condensación de vapor de agua sobre la superficie interna de los cerramientos exteriores que se produce cuando la temperatura de dichas superficies es menor que la temperatura de rocío del aire del recinto que limitan

conductividad térmica

flujo de calor transmitido a través de un material de espesor unitario por unidad de superficie, cuando el gradiente de temperatura en dirección normal es unitario.

densidad de flujo de calor

cociente entre el flujo de calor y el área

fachada

cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60° respecto a la horizontal.

flujo de calor

cociente entre la cantidad de calor que atraviesa una superficie y el tiempo empleado para ello.

humedad relativa

la relación entre la fracción mol del vapor de agua presente en el aire, y la fracción mol de vapor de agua presente en el aire saturado a la misma temperatura y presión barométrica alternativamente, es igual a la relación de la presión parcial (o densidad) del vapor de agua en el aire, y la presión de saturación (o densidad del vapor de agua) a la misma temperatura.

resistencia térmica

cociente entre la diferencia de temperatura y la densidad de flujo de calor, en condiciones de régimen estacionario

resistencia térmica superficial interna

resistencia térmica de la capa superficial de aire adyacente a la superficie interior de un elemento que transmite calor por radiación y convección.

resistencia térmica superficial externa

resistencia térmica de la capa superficial de aire adyacente a la superficie exterior de un elemento que transmite calor por radiación y convección.

resistencia térmica total

inversa de la transmitancia térmica

temperatura del aire

la temperatura de bulbo seco del aire que rodea al ocupante.

temperatura de punto de rocío (o presión del vapor de agua del ambiente)

la temperatura a la cual el aire húmedo se satura (humedad relativa 100%) con vapor de agua cuando se enfría a presión constante.

temperatura operativa

la temperatura uniforme de un cerramiento negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación más convección, que en un ambiente no uniforme real. La temperatura operativa es numéricamente el promedio de la temperatura del aire y la temperatura media radiante ponderada por sus respectivos coeficientes de transferencia de calor

temperatura radiante plana

la temperatura uniforme de un cerramiento en el cual el flujo radiante que incide en un lado de un elemento plano reducido, es el mismo que en el ambiente existente.

transmitancia térmica

flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

zona ocupada

la región ocupada normalmente por personas dentro de un espacio, que generalmente se considera que está entre el piso y 1,8 m (6pies) sobre el piso y a más de 0,6 m (2 pies) de las paredes o equipo de aire acondicionado fijo.

## 5.4 Exigencias

Para la satisfacción de este anteproyecto de norma se toman como referencia los siguientes valores:

**Tabla 5-1.** Exigencias de transmitancia térmica y temperatura radiante.

CONCEPTO	VALOR LIMITE
Transmitancia térmica de fachada (U)	1,78 W/m <sup>2</sup> K
Temperatura radiante plana mínima	17°C

## **5.5 Verificación y justificación del cumplimiento de las exigencias**

### **5.5.1 Procedimiento de verificación**

Para la correcta aplicación de este anteproyecto de norma, deben realizarse las siguientes verificaciones:

- Verificación del cumplimiento de las exigencias cuantificadas en el apartado 5.4 de acuerdo con los datos obtenidos mediante los métodos de cálculo incluidos en el apartado 5.6.

### **5.5.2 Justificación del cumplimiento de las exigencias**

Para la justificación del cumplimiento del anteproyecto de norma para el control térmico de fachadas en vivienda VIS multifamiliar en la ciudad de Bogotá D.C, se deberá incluir en la memoria descriptiva del proyecto, como mínimo lo siguiente:

- Descripción técnica de las tipologías de fachada presentes en el edificio y los materiales que la componen, de acuerdo al formato incluido en el apartado 5.10.
- Descripción del método de cálculo utilizado y cuadro comparativo de estos con respecto a las exigencias del apartado 5.4

## **5.6 Métodos de cálculo**

Para el cálculo de los valores necesarios para la satisfacción de las exigencias, se deben calcular, la transmitancia térmica en partes opacas de la fachada, transmitancia térmica en las partes acristaladas de la fachada (ventanas), temperatura radiante interior de la fachada, y condensaciones.

### **5.6.1 Transmitancia térmica de fachadas partes opacas**

Para la satisfacción de este anteproyecto de norma, el cerramiento analizado debe tener un valor de transmitancia  $U$ , como máximo de  $1,78 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Para el análisis del cerramiento pueden utilizarse las siguientes ecuaciones:

La transmitancia térmica  $U$  ( $W/m^2 \cdot K$ ) esta dada por la ecuación 1 (apartado 2.2.2):

$$U=1/R_t$$

Ecuación 1

Siendo,

$R_t$  La resistencia térmica total del componente constructivo [ $m^2 \cdot K/W$ ]

La resistencia térmica total  $R_t$  de un componente constituido por capas térmicamente homogéneas se calcula mediante la expresión dada en la ecuación 2 (apartado 2.2.2):

$$R_t = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$$

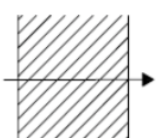
Ecuación 2

Siendo.

$R_1, R_2 \dots R_n$  Las resistencias térmicas de cada capa definidas según la ecuación 3 [ $m^2 \cdot K/W$ ]

$R_{si}$  y  $R_{se}$  Las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente, tomadas de la Tabla 2-3 (apartado 2.2.2).

**Tabla 2-3** Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en  $m^2 \cdot K/W$  Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor

		$R_{se}$	$R_{si}$
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13

La resistencia térmica de una capa térmicamente homogénea viene definida por la expresión dada en la Ecuación 3 (apartado 2.2.2).

$$R=e/\lambda$$

Ecuación 3

Siendo,

$e$  el espesor de la capa [m].

$\lambda$  la conductividad térmica de diseño del material, [ $W/m K$ ].

### 5.6.2 Transmitancia térmica de ventanas

Para el cálculo de la transmitancia térmica de los ventanas,  $U_h$  ( $Wm^2 \cdot K$ ) de acuerdo a la UNE EN ISO 10077 se utiliza la siguiente ecuación.

$$U_H = \frac{A_{H,v} U_{H,v} + A_{H,m} U_{H,m} + l_v \psi_v + A_{H,p} U_{H,p} + l_p \psi_p}{A_{H,v} + A_{H,m} + A_{H,p}}$$

Ecuación 5

Siendo.

$U_H$  la transmitancia térmica del hueco (ventana, lucernario o puerta) [ $W/m \cdot K$ ];

$U_{H,v}$  la transmitancia térmica del acristalamiento [ $W/m \cdot K$ ];

$U_{H,m}$  la transmitancia térmica del marco [ $W/m \cdot K$ ];

$U_{H,p}$  la transmitancia térmica de la zona con panel opaco [ $W/m \cdot K$ ];

$\Psi_v$  la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y acristalamiento [ $W/m \cdot K$ ];

$\Psi_p$  la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y paneles opacos [ $W/m \cdot K$ ];

$A_{H,v}$  el área de la parte acristalada [ $m^2$ ];

$A_{H,m}$  el área del marco [ $m^2$ ];

$A_{H,p}$  el área de la parte con panel opaco [ $m^2$ ];

$l_v$  la longitud de contacto entre marco y acristalamiento [ $m$ ];  $l_p$  la longitud de contacto entre marco y paneles opacos [ $m$ ];

**Tabla 2-4** Transmitancia térmica lineal  $\Psi_v$

MATERIAL MARCO	ACRISTALAMIENTO SIMPLE	ACRISTALAMIENTO DOBLE
Madera y plástico	0,00	0,06
Metálico	0,00	0,02

### 5.6.3 Calculo de condensaciones.

Para el cálculo de condensaciones se parte del hecho de que la temperatura de la superficie interior no debe ser inferior a los 17,99 °C

Para determinar la temperatura de la cara interior de un cerramiento se tiene la siguiente ecuación:



$$t_i = T_i - \frac{K}{h_i} (T_i - T_e)$$

Ecuación 7

Donde

$T_i$  es la temperatura del ambiente interior, en °C

$T_e$  es la temperatura del ambiente exterior, en °C

$t_i$  es la temperatura superficial interior del cerramiento, en °C

$R_t$  es la resistencia térmica total del cerramiento, en  $h \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{kcal} (\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W})$

$1/h_i$  es la resistencia térmica superficial interior del cerramiento, en  $h \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{kcal} (\text{m}^2 \text{ }^\circ\text{C}/\text{W})$

### 5.6.4 Temperatura radiante plana

Para el cálculo de la temperatura radiante plana se toma como base un porcentaje asignado a los elementos que conforman la habitación, conformada así:

- Para los vidrios 50%
- Para las partes opacas de la fachada 20%
- Para las otras paredes 30%.

$$\theta_r = T_v \cdot \frac{50}{100} + T_o \cdot \frac{20}{100} + T_p \cdot \frac{30}{100}$$

Ecuación 6

Donde

$\theta_r$  Temperatura radiante plana

$T_v$  Temperatura para los vidrios

$T_o$  Temperatura para las partes opacas de la fachada

$T_p$  Temperatura para las otras paredes.

De esta forma para el análisis se toman los valores de temperatura de la superficie interior de cada uno de los elementos de acuerdo a la ecuación 6, y con base en los porcentajes dados, se obtiene el valor general considerado a 1 mt de distancia de la fachada.

Debido que para el cálculo de la temperatura radiante plana, es necesario conocer el valor de temperatura interior de las superficies con vidrio, esta debe obtenerse por medio de la Ecuación 5

## **5.7 Conformidad**

Para cumplir con este anteproyecto de norma se deben satisfacer los requisitos incluidos en el apartado 5.4.

## 5.8 APENDICE A - Clima de referencia

Bogotá D.C. se halla a 4°38' de latitud norte y a 2630 metros de altitud. El clima de Bogotá D.C. es frío – muy seco. El promedio de lluvia total anual es de 797 mm.

Para el cálculo de los valores de transmitancia térmica de cerramientos, debe utilizarse los siguientes valores climáticos de referencia.

**Tabla 5-2.** Valores climáticos de referencia – Bogotá D.C.

Fuente: IDEAM <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/mapas-graficos-tiempo-clima/indicadores-climatologicos?inheritRedirect=true>

CONCEPTO	MIN. ANUAL	MAX. ANUAL	PROMEDIO ANUAL
Temp. media	7.9°C	20.1°C	13.7°C
Temp. máxima	9.0°C	19.4°C	14.1°C
Temp. mínima	6.2°C	18.4°C	13.4°C
Humedad relativa	77%	83%	80%

## 5.9 APENDICE B – Catálogo de materiales

Como información de referencia se proporcionan los siguientes datos de conductividad térmica de materiales típicos en la vivienda de interés social.

**Tabla 5-3.** Valores conductividad térmica de materiales.

Fuente: (construcción et al., 2010).

Material	"λ" (W/m·K)
Ladrillo de arcilla macizo	0,87
Ladrillo de arcilla hueco	0,76
Ladrillo de arcilla perforado	0,76
Bloque de concreto hueco	0,56
Concreto/ 2400 kg m <sup>3</sup>	2
Mortero/ 1800 kg m <sup>3</sup>	0,9
Yeso	0,35
Vidrio sódico calcáreo	1
Poliestireno expandido	0,32

## 5.10 APENDICE C – Formato de descripción de tipología de fachada.

### FORMATO DE DESCRIPCIÓN DE TIPOLOGÍAS DE FACHADA

Nombre de la edificación:

Dirección:

Proyectista:

Descripción de fachada No. 1:

La fachada presenta los siguientes valores de conductividad térmica:

Material	" $\lambda$ " (W/m·K)
----------	-----------------------

Material No.1

Material No.2

Material No.3

Material No.4

Material No.5

Tipo de fachada No. \_\_ Componente Opaco

Sección (exterior – interior)	Componentes	Valor U W/m <sup>2</sup> K
-------------------------------	-------------	----------------------------

Nombre del material No.1

Nombre del material No.2

Nombre del material No.3

Nota: En el caso de existir más una tipología debe realizarse el anterior esquema por cada una de ellas.

---

Tipo de fachada No. \_\_ Ventanería

---

Componentes

Valor U W/m<sup>2</sup>K

---

Material del marco

---

Tipo de vidrio

---

<b>CONFORMIDAD</b>	
Temperatura Radiante Orientada:	
Temperatura Interior de la parte opaca de la fachada:	

°C

## 5.11 APENDICE D - Recomendaciones

Para la verificación de la conformidad del siguiente anteproyecto de norma se proporciona el siguiente ejemplo.

Si se toma una tipología de fachada con una transmitancia térmica de 3,21 W/m<sup>2</sup>K compuesta por un muro de concreto de 0,12 mts, y se agrega en la cara interior, una capa de poliestireno de 0,015 mts y un placa de cartón yeso de 0,010 mts su transmitancia térmica disminuye a 1,64 W/m<sup>2</sup>K.

Siguiendo este esquema de caracterización de materiales, se obtiene lo siguiente:

**Tabla 5-4.** Cerramiento Tipo. Valores conductividad térmica de materiales.

Material	"λ" (W/m·K)
Mortero	0,9
Concreto	2
Poliestireno expandido	0,047
Yeso	0,25

**Tabla 5-5.** Cerramiento Tipo. Valores resistencia térmica de materiales.

Material	Espesor (mts)	"λ" (W/m·K)	R (m <sup>2</sup> ·K/W)
Mortero	0,02	0,9	0,02
Concreto	0,12	2	0,06
Poliestireno expandido	0,015	0,047	0,32
Yeso	0,01	0,25	0,04

**Tabla 5-6.** Cerramiento Tipo. Valor de resistencia térmica total.

Concepto	R (m <sup>2</sup> ·K/W)
Mortero	0,02
Concreto	0,06
Poliestireno expandido	0,32
Yeso	0,04
Resistencia superficial interior	0,13
Resistencia superficial exterior	0,04
<b>Resistencia total</b>	<b>0,61</b>

**Tabla 5-7.** Cerramiento Tipo. Valor de transmitancia térmica

Resistencia total ( $m^2 \cdot K/W$ )	Transmitancia térmica ( $W/m^2K$ )
0,61	1,64



## **6. Conclusiones y recomendaciones**

### **6.1 Conclusiones**

De acuerdo al análisis realizado basado en las estadísticas que proporciona el DANE y CAMACOL, en la ciudad de Bogotá D.C. en el año 2015 la vivienda de interés social se ha construido mayoritariamente en mampostería estructural con un 51% y sistemas industrializados con un 29%, con una menor presencia de mampostería confinada 18% para finalmente dejar otros sistemas estructurales en una presencia del 2% mostrándose pequeñas variaciones desde el año 2013.

Tomando los sistemas constructivos analizados como base para la presente investigación, se realizó el análisis de los mismos de acuerdo a las descripciones y características incluidas en el inventario de sistemas constructivos de vivienda de interés social (Echeverry Campos, 2000), dando como resultado 8 tipos diferentes de fachada, determinados por las variantes más utilizadas de los sistemas encontrados.

Mediante la utilización de normativas nacionales contrastadas con valores climáticos obtenidos de la información suministrada por el DANE para la ciudad de Bogotá D.C, se ha determinado que con fachadas con un valor de transmitancia térmica de  $1,78 \text{ W/m}^2\text{K}$  se minimiza el riesgo de la aparición de condensación superficial en locales de vivienda con una humedad relativa igual a la exterior en todos los meses del año.

Contrastadas las tipologías de fachada planteadas con los valores de referencia hallados para la ciudad de Bogotá D.C, se identificó que las fachadas actualmente utilizadas en la vivienda de interés social poseen un bajo rendimiento térmico, el cual puede ocasionar la aparición de condensación superficial, así como disminuir el confort térmico al interior de las viviendas. De igual manera se identificó que las fachadas que utilizan materiales con presencia de aire en el interior presentan un mejor comportamiento térmico, tal como el ladrillo perforado.

Si se realiza una comparación entre los sistemas más utilizados en la vivienda de interés social presentes en la Figura 4-13 y los resultados obtenidos en la Tabla 4-31 y en la Tabla 4-32, las fachadas con menor desempeño térmico son las que utilizan sistemas industrializados, sistemas que son utilizados en el 29% de las viviendas construidas (CAMACOL, 2016). Así mismo, se puede concluir que la ventanería, utilizando únicamente vidrio de 4mm como en la tipología No 8 de fachada, presenta un rendimiento térmico con pérdidas de calor que generan disminución del confort térmico y que origina a su vez condensaciones en todo el año.

De acuerdo a lo anterior, y dando respuesta a la pregunta de investigación, se concluye, que una normativa de control térmico para fachadas de vivienda VIS multifamiliar en Bogotá D.C, puede aportar mejoras en las condiciones de habitabilidad de las mismas.

Finalmente, se propone un anteproyecto de norma que incluye valores límite de transmitancia térmica en fachadas y de temperatura de cara interior. Esto con el objetivo de brindar valores que minimicen el riesgo de aparición de condensación superficial y brindar valores de temperatura interior en el rango admisible de acuerdo a la NTC 5316 y los planteamientos realizados por Maurice Croiset. (*Croiset & Luque Maldonado, 1970*).

## 6.2 Recomendaciones

Esta propuesta de anteproyecto de norma, si bien aporta a la mejora de las condiciones de habitabilidad de las viviendas de interés social, pone en evidencia la necesidad de realizar un estudio de características similares que brinde valores de referencia y procedimientos en el análisis para los demás elementos de la envolvente de la edificación de tal forma, que se puedan satisfacer las necesidades de confort en la vivienda de manera integral, así como realizar estudios en otras tipologías de edificación y en otras ciudades del país, pudiendo generar, una mejora sustancial de la habitabilidad.

Del mismo modo, debido al alcance del estudio realizado en el cual se propone una normativa de control térmico que brinda valores de aislamiento, se identifica la necesidad de realizar estudios posteriores sobre la inclusión de estrategias bioclimáticas en la vivienda VIS, de tal forma que se pueda aumentar la temperatura interior en las mismas.

## 7. Bibliografía

- Reglamento de servicios de normalización nacional del Icontec, (2000).
- AENOR, A. e. d. n. y. c. (2012). Materiales y productos para la edificación. Propiedades higrotérmicas. Valores tabulados de diseño y procedimientos para la determinación de los valores térmicos declarados y de diseño. (ISO 10456:2007). Madrid, España: AENOR, Asociación española de normalización y certificación.
- Arq, S. (2014). Perdidas o ganancias por conducción (Qc). Retrieved from mso-bidi-language:AR-SA"><http://www.sol-arq.com/index.php/edificios/balance-termico>
- ASHRAE. (2001). Fundamentals. Estados Unidos: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- Ballén Zamora, S. A. (2009). VIVIENDA SOCIAL EN ALTURA: ANTECEDENTES Y CARACTERÍSTICAS DE PRODUCCIÓN EN BOGOTÁ / HIGH RISE SOCIAL HOUSING: BACKGROUND AND PRODUCTION TRAITS IN BOGOTA. *Revista INVI*(67), 95. doi:10.4067/S0718-83582009000300004
- Bustamante, D., & Portafolio. (2014). El deficit de vivienda bajo en Colombia. Retrieved from mso-bidi-language:AR-SA"><http://www.portafolio.co/economia/finanzas/deficit-vivienda-colombia-45052>
- CAMACOL, C. C. d. I. C. (2016). Construcción en cifras. Retrieved from <http://camacol.co/informacion-economica/construccion-en-cifras>
- Chávez del Valle, F. J. (2002). *Zona variable de confort térmico*. (Dissertation/Thesis), Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <http://ezproxy.unal.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edstdx&AN=tdx.10803.6104&lang=es&site=eds-live> Available from EBSCOhost edstdx database.
- Colombia. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10 : decreto 926 de marzo 19 de 2010 (Vol. Decreto 926 de marzo 19 de 2010). Bogotá: Bogotá Panamamericana Editorial, 2010.
- Ley 9 de 1989, 9 C.F.R. (1989).
- Constitucion Politica de Colombia*. (2003). Bogota, D.C. LEGIS 2003.
- construcción, I. E. T. d. c. d. I., CEPCO, & AICIA. (2010). CTE CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN - CATALOGO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL CTE. ESPAÑA: GOBIERNO DE ESPAÑA - MINISTERIO DE FOMENTO.
- Croiset, M., & Luque Maldonado, R. t. (1970). *Humedad y temperatura en los edificios : condensaciones y confort térmico de verano y de invierno*: Barcelona Técnicos Asociados 1970.
- Díaz Regodón, M. I., & Tenorio Ríos, J. A. (2005). Pérdidas de calor y formación de condensaciones en los puentes térmicos de los edificios.
- Echeverry Campos, D. (2000). *Vivienda de interés social : inventario de sistemas constructivos*: [Santafé de Bogotá] Metrovivienda. Empresa Industrial y Comercial del Distrito Capital 2000.

- El espectador, P. (2015). Distrito asegura que Bogotá tuvo el déficit de vivienda más bajo en 12 años. Retrieved from <http://www.elespectador.com/noticias/bogota/distrito-asegura-bogota-tuvo-el-deficit-de-vivienda-mas-articulo-584652>
- El Tiempo, P. (2015). En el pueblo más caliente del país la ropa se seca en solo una hora. Retrieved from <http://www.eltiempo.com/colombia/otras-ciudades/guaymaral-el-pueblo-mas-caluroso-de-colombia/16163537>
- España, M. d. F. (2015). *Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía Código Técnico de la Edificación*. Madrid, España: Ministerio de Fomento.
- España, M. d. t. y. a. s. (1983). NTP 74: Confort térmico - metodo de Fanger para su evaluación (Vol. NTP 74). España: Ministerio de trabajo y asuntos sociales.
- España., M. d. F. (2015). Historia del CTE. *Código técnico*.
- Estadística, D.-D. A. N. d. (2015). *Censo de edificaciones III trimestre de 2015*. Retrieved from Bogotá, Colombia.:
- Guimaraes Mercon, M. (2008). Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido-Húmedo: análisis térmico de la cubierta ventilada. *Universidad de Cataluña. Barcelona*.
- Hernández Sampieri, R., Baptista Lucio, M. d. P., & Fernández Collado, C. (2014). *Metodología de la investigación*: México, D.F. McGraw Hill, 2014 Sexta edición.
- Hurtado Figueroa, O. (2014). *Sistemas constructivos industrializados*. Bogotá: SENA.
- ICONTEC. (2004a). Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas *Norma Técnica Colombiana: NTC 5316*. Bogotá: ICONTEC.
- ICONTEC. (2004b). *Condiciones ambientales térmicas de inmuebles para personas: Bogotá ICONTEC 2004*.
- IDEAM. (2015). Características climatológicas de ciudades principales y municipios turísticos Retrieved from <http://institucional.ideam.gov.co/descargas?com=institucional&name=pubFile7982&downloadname=1Sitios%20turisticos2.pdf>
- IDEAM, I. d. h., meteorología y estudios ambientales. (2015). Solicitud de información estaciones meteorológicas. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/solicitud-de-informacion>
- IDEAM, I. d. h. m. y. e. a. (2010). Promedios climatológicos. Retrieved from <http://www.ideam.gov.co/web/pronosticos-y-alertas/mapas-graficos-tiempo-clima/indicadores-climatologicos?inheritRedirect=true>
- Instituto Argentino de Normalización, I. (2002). Norma IRAM No. 11549. Aislamiento térmico de edificios. Vocabulario. Buenos aires. Argentina.
- Instituto Nacional de vivienda de interés social y reforma urbana, R. d. C. (2002). *Guía para la viabilización de vivienda de interés social*.
- Martínez, P., Urquieta, W., & Sarmiento, P. (2005). Evaluación de la humedad por condensación al interior de viviendas sociales. *Revista INVI*.
- Mincomercio. (2016). Reglamentos técnicos. Retrieved from <http://www.mincit.gov.co/publicaciones.php?id=16023&dPrint=1>
- Ministerio de fomento, E. (2014). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Ahorro de Energía*. Retrieved from
- Ministerio de vivienda y desarrollo territorial / Diaz Reyes, C. A., Luna, R., & Julia Aurora (eds.), A. t. (2011). *Guía de asistencia técnica para vivienda de interés social, No. 3*. Bogotá, Colombia: Ministerio de ambiente y desarrollo territorial.
- Decreto 2501, 2501 C.F.R. (2007).

- Morales Russi, M. A. (2010). *Informe final de auditoria gubernamental con enfoque integral modalidad especial transversal Gestión del suelo para vivienda de interés social VIS, en Bogotá D.C.* Retrieved from Bogotá D.C.: [http://www.contraloriabogota.gov.co/intranet/contenido/informes/AuditoriaGubernamental/Control\\_Urbano/PAD\\_2010/CicloI/Inf\\_final\\_VIS.pdf](http://www.contraloriabogota.gov.co/intranet/contenido/informes/AuditoriaGubernamental/Control_Urbano/PAD_2010/CicloI/Inf_final_VIS.pdf)
- Murguía Díaz, M. M. Z., Diana. (1997). *Detalles de Arquitectura*. Mexico: Arbol Editorial.
- Neila González, F. J. (2004). *Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible*: Munilla-Lería.
- Normalización, I. A. d. (1996). Norma IRAM No. 11605. Aislamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en viviendas. Valores máximos de transmitancia térmica en corrimientos opacos. Buenos aires. Argentina.
- Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*: Editorial Gustavo Gili.
- Pardal, C., & Ansuategui, I. P. (2006). *La fachada ventilada y ligera*: Bisagra.
- RAE, R. A. E. (2016). Diccionario de la lengua española (22.aed.). Retrieved from <http://www.rae.es/rae.html>
- Ramos Calonge, H. (2011, 2011). El confort en la vivienda de bajo costo: modelo metodológico para diagnosticar higrotermicidad, iluminación y acústica. *Traza*.
- Sala, M., Gallo, C., & Sayigh, A. A. M. (1999). *Architecture-Comfort and Energy*: Elsevier.
- Serra, R. (2000). *Arquitectura y climas*: Editorial G. Gili.
- Standard, S. (2006). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico. Ahorro de Energía*. Retrieved from
- Yin, R. K. (2014). *Case study research : design and methods*: Los Angeles, Calif SAGE, 2014  
5 edition.
- Zanni, E. (2008). *Patología de la construcción y restauración de obras de arquitectura/ Construction Pathology and restoration of architecture works*: German Marcelo Ferrero.