



**UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO**  
**FACULTAD DE ARQUITECTURA, CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO**

**APLICACIÓN DE ESTRATEGÍAS DE DISEÑO PASIVO EN VIVIENDAS  
UNIFAMILIARES PARA UN CLIMA ECUATORIAL FRÍO DE ALTA MONTAÑA, EN  
LA CIUDAD DE IPIALES, COLOMBIA**

**TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN HÁBITAT SUSTENTABLE Y  
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

**AUTOR: Arq, JAIRO ESTEBAN POSADA GÓMEZ**

**PROF. GUIA: DR. CARLOS RUBIO BELLIDO**

**Concepción, 2016**

## Resumen

La vivienda en Colombia se desarrolla en su mayoría sin criterios de bioclimática y aún menos cuando es en regiones climáticas frías, por esta razón, se decide realizar un estudio para mejorar las condiciones de confort térmico con estrategias pasivas, en viviendas unifamiliares de clima frío.

Esta investigación tiene como objetivo optimizar soluciones que usen varias estrategias pasivas para conseguir mayores horas de confort térmico en un clima tropical de alta montaña. Por medio de simulaciones paramétricas, mediante el software Design Builder, se realiza un estudio multifactorial que permite verificar las correlaciones entre las diferentes estrategias utilizadas, en donde se combinan diversas posibilidades (96 simulaciones); el resultado de mejor desempeño se simula en 3 distintas formas de agrupamiento.

El estudio se realiza en la ciudad de Ipiales Nariño, ubicada al sur de Colombia, siendo el límite fronterizo con Ecuador, se selecciona esta población por sus características climáticas de alta montaña en un clima ecuatorial, encontrando varias ciudades en Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia con situaciones climáticas similares, para las cuales puede ser de interés este estudio.

Para seleccionar la vivienda representativa a la cual se le desarrollan las simulaciones, se realizó un diagnóstico de la vivienda predominante de la ciudad y además, se incluyó como factor de decisión que tuviera una gran cantidad de características formales y constructivas comunes para así, aplicar soluciones que puedan ser aprovechadas en nuevas urbanizaciones de vivienda.

Se contemplan las siguientes características como factores que puedan mejorar la vivienda: factor de forma, transmitancia térmica, porcentaje y tipo de vanos acristalados, hermeticidad y variaciones de la masa térmica. Con estos factores se halla la solución combinada óptima en el caso de estudio. Demostrando qué mejoras afectan el confort térmico de los usuarios, entendiendo no solo la vivienda como unidad aislada, sino también las distintas formas de agrupamiento.

### **Palabras clave:**

Vivienda pasiva, confort térmico, clima ecuatorial frío

## **Abstract**

Housing in Colombia is conducted mostly without bioclimatic criteria and even less when it is in cold weather regions, for this reason, it was decided to carry out a study to improve the conditions of thermal comfort with passive strategies, in single family dwellings in cold weather.

This research aims to optimize solutions that use several passive strategies to achieve greater hours of thermal comfort in a tropical climate of high mountains. Through parametric simulations, using the Design Builder software, with a multifactorial study, allowing to verify the correlations between the different strategies employed combines different possibilities (96 simulations); the result of better performance is simulated in 3 different forms of clustering.

The study is performed in the city of Ipiales Nariño, located at the South of Colombia, being the limit border with Ecuador, this population is select by their features weather of the highest mountain in an Equatorial climate, finding many cities in Colombia, Ecuador, Peru and Bolivia with similar weather situations, for which it can be interest in this study.

To select the most representative housing, which is developed simulations, a diagnosis of the predominant housing of the city was made and also formals and constructive characteristics was included as a decision factor to apply solutions that can be used in new housing developments.

Dealt with the following characteristics as factors that can improve housing: form factor, thermal transmittance, percentage and type of openings glazed, air tightness and thermal mass variations. With these factors is the optimal blended solution in the case study. Demonstrating what improvements affect the thermal comfort of their users, understanding not only the house as unit isolated, but also the different forms of grouping.

### **Keywords:**

Passive house, thermal comfort, cold Equatorial climate

**ÍNDICE**

|   |    |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN .....   | 8  |
| 1.1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA .....   | 8  |
| 1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....  | 16 |
| 2. HIPÓTESIS.....   | 21 |
| 3. OBJETIVO GRAL, ESPECÍFICOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....   | 22 |
| 3.1. Objetivo general .....   | 22 |
| 3.2. Objetivos específicos .....  | 22 |
| 3.3. Preguntas de investigación.....  | 22 |
| 4. METODOLOGÍA.....   | 23 |
| 5. ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO.....  | 25 |
| 5.1 Vivienda para clima frío.....   | 28 |
| 5.2 Propiedades físicas de la vivienda .....  | 28 |
| 5.2.1 Masa térmica.....   | 28 |
| 5.2.2 Aislamiento térmico de la envolvente .....  | 29 |
| 5.2.3 Hermeticidad de la vivienda: renovaciones de aire .....   | 30 |
| 5.2.4 Factor de forma .....   | 33 |
| 5.2.5 Tratamiento en vanos sobre la fachada: .....  | 34 |
| 5.3 Agrupaciones de la vivienda: .....  | 35 |
| 6. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR REPETITIVA DE LA CIUDAD DE IPIALES, COLOMBIA..... | 37 |
| 6.1 selección de muestra representativa de la vivienda.....   | 37 |
| 6.2 Características de la muestra representativa .....  | 38 |
| 6.3 Selección de un caso de estudio representativo .....  | 52 |
| 7. EXPERIMENTACIÓN (simulación paramétrica) .....   | 54 |
| 7.1 Evaluación del caso base mediante simulación paramétrica.....   | 54 |
| 7.2 Realización de un estudio multifactorial a partir de las distintas estrategias propuestas .....           | 58 |
| 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....   | 64 |
| 8.1 Delimitación de resultados y análisis detallado.....  | 64 |
| 8.2 Comparación de resultados y discusión .....   | 68 |
| 9. EXPERIMENTACIÓN EN AGRUPACIONES .....  | 70 |
| 10. CONCLUSIONES .....  | 76 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA.....   | 78 |

|                  |    |
|------------------|----|
| 12. ANEXOS ..... | 85 |
|------------------|----|

## ÍNDICE DE IMÁGENES, TABLAS Y GRÁFICOS:

|   |           |
|---|-----------|
| Imagen 1 Ubicación de Colombia con respecto a la línea Ecuatorial.....  | 9         |
| Imagen 2 Clasificación climática para la guía de ahorro de agua y energía.....  | 10        |
| Imagen 3 Localización de Ipiales .....  | 12        |
| Imagen 4 Carta solar para Ipiales, Colombia .....   | 15        |
| Imagen 5 Ubicación de las viviendas unifamiliares repetitivas seleccionadas en el perímetro urbano de Ipiales .....   | 37        |
| Imagen 6 Detalle constructivo típico de placa de contra piso .....  | 47        |
| Imagen 7 Detalle constructivo típico de un muro de en mampostería de ladrillo .....   | 48        |
| Imagen 8 Detalle constructivo típico de una placa de entepiso típica maciza en concreto .....   | 49        |
| Imagen 9 Detalle constructivo típico de una placa de cubierta maciza en concreto.....   | 50        |
| Imagen 10 Plantas del primer y segundo nivel con la distribución utilizada en el software Design Builder.....   | 57        |
| Imagen 11 Factor de forma .....   | 59        |
| Imagen 12 Transmitancia térmica .....   | 59        |
| Imagen 13 m <sup>2</sup> de superficie vidriada Fuente: Design Builder, Imagen 14 Tipo de vidrio .....  | 60        |
| Imagen 15 Renovaciones de aire Fuente: elaboración propia .....   | 60        |
| Imagen 16 Masa térmica Fuente: elaboración propia.....  | 61        |
| Imagen 17 Vivienda adosada por oriente y occidente, Imagen 18 Vivienda aislada .....  | 72        |
| Imagen 19 Vivienda pareada, Imagen 20 Vivienda adosada por 3 costados .....   | 72        |
| <br>  |           |
| Tabla 1 Déficit convencional de vivienda Total nacional, 2005 .....   | 11        |
| Tabla 2 Cuadro de urbanizaciones ubicadas entre 2800 hasta 3000 m.s.n.m en Colombia con su respectivo número de habitantes según censo DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas) 2005 y proyección para 2016..... | 13        |
| Tabla 3 Valores climatológicos principales de la ciudad de Ipiales.....   | 14        |
| Tabla 4 Datos climáticos principales para la ciudad de Ipiales .....  | 14        |
| Tabla 5 Definición de distintos rangos de confort y su correspondiente promedio .....   | 26        |
| Tabla 6 Clases de hermeticidad del aire aceptables para distintos países .....  | 32        |
| Tabla 7 Infiltraciones de aire para la edificación habitacional en Chile. ....  | 32        |
| <i>Tabla 8 Demanda energética según agrupación .....</i>  | <i>35</i> |
| Tabla 9 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica.....  | 47        |
| Tabla 10 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica.....   | 48        |
| Tabla 11 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica.....   | 49        |
| Tabla 12 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica.....   | 50        |
| Tabla 13 Norma térmica chilena OGCUC 4.1.10.....  | 51        |

|  |    |
|--|----|
| Tabla 14 Según el código técnico de la construcción la transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica en edificios de uso residencial privado .....  | 51 |
| Tabla 15 Valores u de las soluciones constructivas representativas de las viviendas del diagnóstico .....  | 51 |
| Tabla 16 Datos generales de las viviendas analizadas y sus promedios .....   | 53 |
| Tabla 17 Datos del comportamiento interior de la vivienda representativa en los diferentes meses del año obtenidos mediante Design Builder con el motor de cálculo Energy Plus .....   | 55 |
| Tabla 18 Comportamiento interior recinto a recinto de la vivienda representativa temperatura operativa y humedad relativa .....  | 57 |
| Tabla 19 Comportamiento interior recinto a recinto segunda mejor solución.....   | 68 |
| Tabla 20 Comportamiento interior recinto a recinto mejor solución.....   | 69 |
| Tabla 21 Temperaturas máximas y mínimas para los distintos casos .....   | 70 |
| Tabla 22 Porcentajes de horas de confort durante el año según los diferentes horarios y casos ....   | 70 |
| Tabla 23 Comparación de los distintos casos en cuanto a temperaturas en el día más caluroso del año (11 de octubre), día más frío (29 de noviembre) y el de mayor fluctuación (2 de agosto) .....  | 71 |
| Tabla 24 Porcentaje de horas de confort/año en las distintas orientaciones de la solución óptima pareada por 3 costados.....   | 75 |
| <br>   |    |
| Gráfica 1 Diagrama psicométrico para la ciudad de Ipiales .....  | 15 |
| Gráfica 2 Mecanismo del Confort térmico adaptativo .....   | 17 |
| Gráfica 3 Tipo de viviendas de Ipiales, Gráfica 4 Promedio de personas por hogar en Ipiales .....  | 20 |
| Gráfica 5 Mapa mental de la hipótesis .....  | 21 |
| Gráfica 6 Diagrama del estudio multifactorial .....  | 24 |
| Gráfica 7 Mapa mental de la metodología .....  | 24 |
| Gráfica 8 psicométrico según confort adaptativo en el cual se tiene como única estrategia para mantener la temperatura el uso de las ventanas cuando sea conveniente .....   | 25 |
| Gráfica 9 psicométrico del Ashrae Estándar 55 usando PMV de 11 am a 6 pm .....   | 27 |
| Gráfica 10 psicométrico del Ashrae Estándar 55 usando PMV de 7pm a 10 am .....   | 27 |
| Gráfica 11 Mapa mental de la correlación entre las estrategias planteadas .....  | 35 |
| Gráfica 12 Datos del comportamiento interior de la vivienda representativa obtenidos mediante Design Builder con el motor de cálculo Energy Plus .....   | 54 |
| Gráfica 13 temperatura interior de la vivienda en los días: más caluroso, más frío y con mayor fluctuación de temperatura en el exterior respectivamente .....   | 56 |
| Gráfica 14, Cómo afectan las horas de confort interior durante el año a las diferentes estrategias individualmente aplicadas a la vivienda como está diseñada actualmente y compacta. Fuente: elaboración propia a partir de simulaciones paramétricas en Design Builder. .... | 61 |
| Gráfica 15 Soluciones constructivas combinadas .....   | 62 |
| Gráfica 16 Soluciones constructivas combinadas que utilizan las estrategias de transmitancia térmica.....  | 63 |
| Gráfica 17 Comportamiento térmico mes a mes de la segunda mejor solución .....   | 65 |
| Gráfica 18 Comportamiento térmico mes a mes de la mejor solución .....   | 65 |

|  |    |
|--|----|
| Gráfica 19 Temperatura interior en el día más cálido, más frío y de mayor fluctuación en el año para la segunda mejor solución ..... | 65 |
| Gráfica 20 Temperatura interior en el día más cálido, más frío y de mayor fluctuación en el año para la mejor solución.....          | 67 |
| Gráfica 21 Resultados mes a mes vivienda aislada.....  | 73 |
| Gráfica 22 Resultados mes a mes vivienda pareada.....  | 73 |
| Gráfica 23 Resultados mes a mes vivienda adosada .....   | 73 |
| Gráfica 24 Resultados de las diferentes formas de agrupación.....  | 74 |
| Gráfica 25 Resultados de las diferentes orientaciones en la agrupación adosada .....   | 75 |

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. FORMULACIÓN GENERAL DEL PROBLEMA

En Colombia en la actualidad no existe una normativa que regule la construcción de edificios con criterios de bioclimática, en la resolución 0549 del 10 de julio de 2015 (MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO 2015) se reglamenta un decreto de lineamientos de construcción sostenible y se adopta la guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, teniendo validez para su funcionamiento un año después de su publicación e iniciando a regir solo para ciudades de más de 1.200.000 habitantes durante el primer año y su aplicabilidad en el resto del país desde el año siguiente (10 de julio de 2017).

La normativa presenta ahorro en porcentaje de agua y energía de acuerdo a un promedio establecido con datos verídicos de las empresas de servicios públicos de los consumos reales actuales para las diferentes tipologías edificatorias y para 4 zonas climáticas establecidas por el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), en vivienda vis (vivienda de interés social) y vip (vivienda de interés prioritario) la normativa es de optativo cumplimiento, siendo en el resto de edificaciones obligatoria. Los estudios para determinar el funcionamiento de la guía de ahorro de agua y energía son realizados en las cuatro ciudades más grandes de Colombia: Bogotá, Medellín, Cali y Barranquilla, teniéndolas como representativas de las zonas climáticas: fría, templada, cálida seca y cálida húmeda; presentan falencias para la implementación en ciudades y regiones distintas, por lo cual sería necesario de aquí a su implementación realizar estudios en distintas zonas para mejorar el funcionamiento de la guía («Anexo No.1 Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones» 2015).

En la descripción que se hace del clima ecuatoriano, por su cercanía con Colombia parece pertinente y una descripción general apropiada para este por sus características similares *“la presencia de la cordillera de los Andes, la influencia del mar y la selva amazónica, han formado diversos pisos climáticos y una gran variedad de subclimas, microclimas y topoclimas que van desde el tropical hasta los fríos”* (Vanessa Mena 2014).

Debido a la cercanía de Colombia con la línea Ecuatorial, posee un clima estable a lo largo del año, (exceptuando algunos cambios ocurridos por fenómenos climáticos como el del Niño), con grandes fluctuaciones en un mismo día. En la Imagen 1, se puede ver la ubicación de Colombia con respecto



a su latitud; tiene una gran variedad climática, definida por sus características topográficas con marcadas diferencias de altitud, lo cual genera que no se puedan trazar límites exactos para una clasificación climática (Eslava 1993), a pesar de esto, se han desarrollado distintas clasificaciones climáticas, según J. Eslava se destacan las siguientes: Caldas (1805) tiene en cuenta altitud y temperatura; Lang (1915) que hace una división climatológica a partir de la humedad; la de Caldas-Lang (1962) que es una clasificación basada en las dos nombradas anteriormente; la de Martonme (1926) tiene en cuenta la precipitación y la temperatura en la cual se hace una adaptación con los datos del mes más seco; la de Thornthwaite (1948) basada principalmente en la humedad, evapotranspiración y temperatura, con algunos factores secundarios; y la de W. Koeppen (1923) basada en los distintos tipos de vegetación, asociadas a una zona climática. (Eslava 1993).



Imagen 1 ubicación de Colombia con respecto a la línea Ecuatorial Fuente: elaboración propia

En la actual guía de ahorro de agua y energía se presenta una clasificación climática desarrollada por el IDEAM, ver Imagen 2, en la que se divide en 4 zonas climáticas, según la temperatura y la humedad relativa, utilizando los mismos criterios de clasificación desarrollados por Caldas; en lo que respecta a esta investigación, esta clasificación resulta deficiente, por la cantidad de variables que no son tenidas en cuenta, encontrado gran variabilidad en lo que se denomina una zona climática sobre todo teniendo en cuenta la temperatura del ambiente.

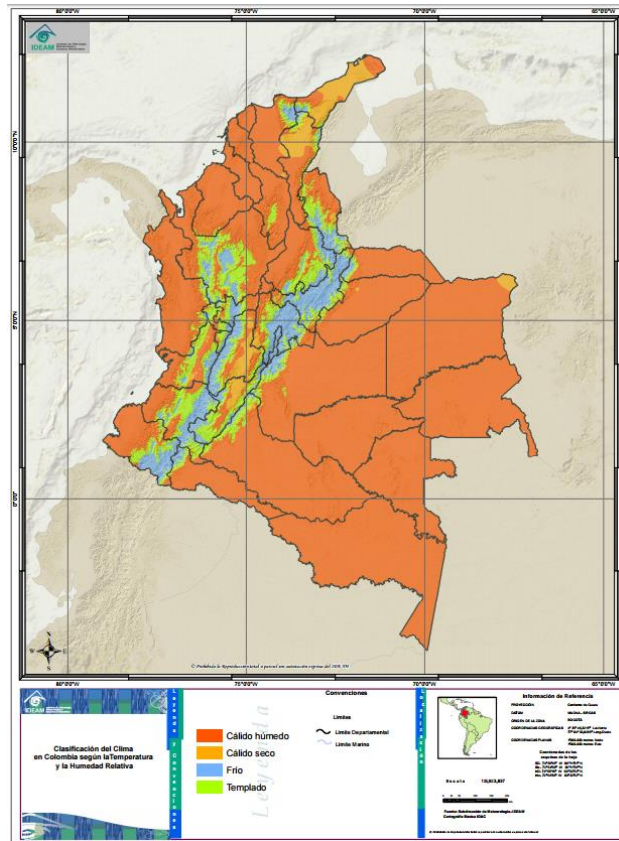


Imagen 2 Clasificación climática para la guía de ahorro de agua y energía Fuente: Guía de ahorro de agua y energía, resolución 0549 del 10 de julio de 2015

En Colombia, la mayor parte de la construcción de vivienda se realiza sin tener en cuenta las características bioclimáticas, debido a la falta de interés del mercado por la implementación de estrategias que regulen las condiciones térmicas, *“Los bajos ingresos, la concentración de la construcción de vivienda en corporaciones privadas y una ausencia de políticas públicas de sostenibilidad han hecho que el acceso a una vivienda digna sea muy difícil para la población colombiana de escasos recursos”* (Bedoya 2012); en los climas cálidos se presenta un mayor desarrollo de estrategias pasivas, principalmente de ventilación que pueden disminuir la temperatura interior de las edificaciones; por el contrario en los climas fríos en Colombia, exceptuando intervenciones puntuales, no son tenidas en cuenta las características climatológicas al diseñar y construir vivienda.

En el caso particular de Colombia, en las descripciones cualitativas más aceptadas de la vivienda, las características de bioclimática, de la envolvente, de confort interior, entre otras condiciones relevantes con respecto a su ubicación y clima no son tenidas en cuenta; como se puede ver en la Tabla 1, que contiene los datos mayormente usados para los planes y estudios regionales, y muestra

específicamente el caso de Nariño. Esto da muestra de la relevancia a nivel nacional del desarrollo de estudios de las condiciones climáticas interiores de la vivienda y sus posibilidades de mejora.

Tabla 1 Déficit convencional de vivienda Total nacional, 2005

| CARACTERÍSTICA   | CABECERA URBANA  |              | RESTO            |              | TOTAL             |              |
|--|------------------|--------------|------------------|--------------|-------------------|--------------|
|  | No.              | %            | No.              | %            | No.               | %            |
| <b>Total hogares</b>                                     | <b>8.210.347</b> | <b>100,0</b> | <b>2.360.552</b> | <b>100,0</b> | <b>10.570.899</b> | <b>100,0</b> |
| <b>Hogares sin déficit</b>                               | <b>5.993.484</b> | <b>73,0</b>  | <b>749.360</b>   | <b>31,7</b>  | <b>6.742.844</b>  | <b>63,8</b>  |
| <b>Hogares con déficit</b>                               | <b>2.216.863</b> | <b>27,0</b>  | <b>1.611.192</b> | <b>68,3</b>  | <b>3.828.055</b>  | <b>36,2</b>  |
| - Déficit cuantitativo                                   | 1.031.256        | 12,6         | 276.501          | 11,7         | 1.307.757         | 12,4         |
| - Estructura   | 111.465          | 1,4          | 172.255          | 7,3          | 283.720           | 2,7          |
| - Cohabitación   | 784.418          | 9,6          | 104.246          | 4,4          | 888.664           | 8,4          |
| - Hacinamiento no mitigable                              | 135.373          | 1,6          | 0                | 0,0          | 135.373           | 1,3          |
| - Déficit cualitativo                                    | 1.185.607        | 14,4         | 1.334.691        | 56,5         | 2.520.298         | 23,8         |
| - Solo estructura  | 38.590           | 0,5          | 95.753           | 4,1          | 134.342           | 1,3          |
| - Solo hacinamiento mitigable                            | 118.777          | 1,4          | 40.705           | 1,7          | 159.482           | 1,5          |
| - Solo servicios   | 647.963          | 7,9          | 614.049          | 26,0         | 1.262.012         | 11,9         |
| - Solo cocina  | 101.002          | 1,2          | 13.302           | 0,6          | 114.304           | 1,1          |
| - Estructura y hacinamiento mitigable                    | 5.032            | 0,1          | 16.284           | 0,7          | 21.316            | 0,2          |
| - Estructura y servicios                                 | 87.818           | 1,1          | 349.613          | 14,8         | 437.431           | 4,1          |
| - Estructura y cocina                                    | 8.251            | 0,1          | 3.471            | 0,1          | 11.722            | 0,1          |
| - Hacinamiento mitigable y servicios                     | 34.850           | 0,4          | 54.127           | 2,3          | 88.977            | 0,8          |
| - Hacinamiento mitigable y cocina                        | 14.097           | 0,2          | 3.488            | 0,1          | 17.586            | 0,2          |
| - Servicios y cocina                                     | 59.004           | 0,7          | 14.991           | 0,6          | 73.995            | 0,7          |
| - Estructura, hacinamiento mitigable y servicios         | 12.755           | 0,2          | 97.793           | 4,1          | 110.548           | 1,0          |
| - Estructura, hacinamiento mitigable y cocina            | 2.315            | 0,0          | 1.457            | 0,1          | 3.772             | 0,0          |
| - Estructura, servicios y cocina                         | 36.182           | 0,4          | 16.856           | 0,7          | 53.037            | 0,5          |
| - Hacinamiento mitigable, servicios y cocina             | 10.519           | 0,1          | 5.338            | 0,2          | 15.857            | 0,2          |
| - Estructura, hacinamiento mitigable, servicios y cocina | 8.452            | 0,1          | 7.464            | 0,3          | 15.916            | 0,2          |

Fuente: DANE. Licencias de Construcción 2005

El clima tropical en distintas descripciones es tomado como un clima estático, con muy pocas fluctuaciones a lo largo del año, en donde su temperatura es cálida y no son estudiadas algunas variables que podrían influir en su temperatura como lo es la altitud; en algunas otras descripciones del clima se toman en cuenta otras variables estudiándolas en detalle, a medida que han ido pasando los años; por esta razón, en muchos casos no son considerados, algunos sistemas que permiten mejorar el confort térmico, en zonas climáticas ecuatoriales frías.

Retomando lo anterior, esta investigación se centra en un clima frío de alta montaña representativo. Nariño es una región colombiana que *“se encuentra ubicada al sureste de Colombia, en la frontera con la República del Ecuador. La cordillera de los Andes, que proviene del sur de Chile y Argentina, entra a Colombia en Nariño y cruza el país desde el sur hasta el norte”*, (FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS 2010). La Cordillera de los Andes por sus distintos pisos térmicos genera gran variedad de climas, teniendo influencia en los vientos, temperaturas y precipitación. (Eslava 1993).

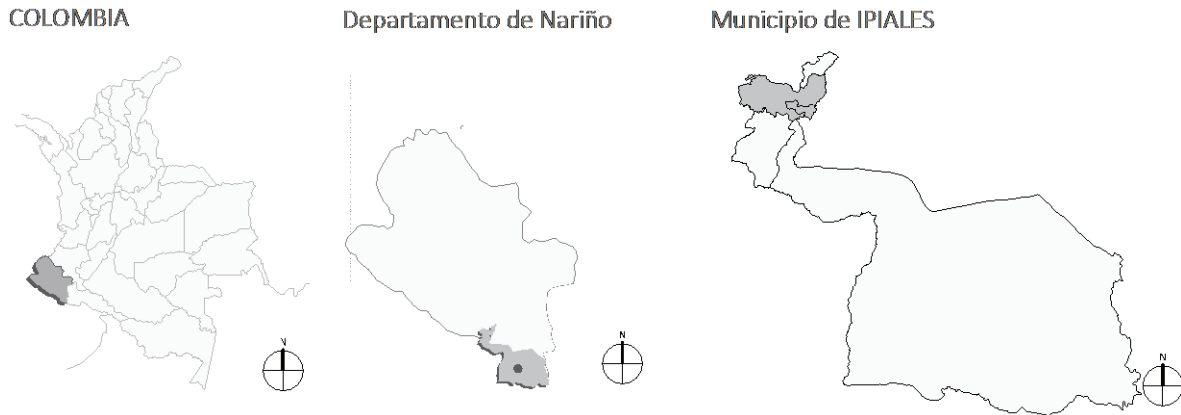


Imagen 3 Localización de Ipiales, Nariño *Fuente: elaboración propia*

La ciudad de “*Ipiales está ubicada a una altura de 2897 m.s.n.m., posee una temperatura promedio de 12° C, una extensión de 1.646 km. La zona urbana y suburbana, abarca en su gran mayoría el clima frío*”, (CAMARA DE COMERCIO DE IPIALES 2011); en la Imagen 3 se puede ver la ubicación de Ipiales con respecto a Colombia. Tiene un déficit cualitativo en sus edificaciones, debido al bajo presupuesto implementado en ellas por la situación del mercado.

Ipiales es un Municipio situado al sur del país, en la frontera con Ecuador, por las condiciones de su clima es conveniente para el desarrollo de esta investigación. La variación de la temperatura en la medida que se avanza con la altura en la región montañosa tiene un promedio de 5,53°C por cada kilómetro, (Eslava 1994). El régimen de temperatura del aire está determinado por la situación geográfica de Colombia en el mundo y las particularidades fisiográficas de su territorio. El primer factor influye ante todo sobre la amplitud anual de la temperatura del aire, mientras que el segundo lo hace sobre la variabilidad espacial de la misma y su amplitud diaria. (Pabón, Eslava y Gómez 2001).

Por esta razón y al no encontrar una división climatológica exacta, en donde se puedan definir cuáles municipios pertenecen a cada zona climática, entre las clasificaciones nombradas anteriormente, se decide nombrar las urbanizaciones de características climáticas similares, de acuerdo a su altitud correspondiente, asumiendo un rango desde 2800 hasta 3000 m.s.n.m, tomando la decisión al ser Ipiales un punto intermedio entre estos (2898 m.s.n.m); teniendo en cuenta como factor climático de mayor relevancia la temperatura ambiente; “*la temperatura disminuye un grado cada 180 m de altitud*” (Basto 2002).

Tabla 2 Cuadro de urbanizaciones ubicadas entre 2800 hasta 3000 m.s.n.m en Colombia con su respectivo número de habitantes según censo DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas) 2005 y proyección para 2016

| Altitud | Municipio        | Departamento | Población 2005 | Población 2016 proyección |
|---------|------------------|--------------|----------------|---------------------------|
| 2985 m  | Iles             | Nariño       | 7.836          | 8.786                     |
| 2980 m  | Carmen de Carupa | Cundinamarca | 8.491          | 9.191                     |
| 2950 m  | Murillo          | Tolima       | 5.075          | 5.018                     |
| 2949 m  | Chita            | Boyacá       | 10.844         | 9.407                     |
| 2942 m  | Soracá           | Boyacá       | 5.945          | 5.279                     |
| 2908 m  | Motavita         | Boyacá       | 6.772          | 6.195                     |
| 2900 m  | Monguí           | Boyacá       | 5.002          | 4.985                     |
| 2900 m  | Sapuyes          | Nariño       | 7.473          | 6.237                     |
| 2900 m  | Chivatá          | Boyacá       | 5.049          | 6.315                     |
| 2900 m  | Tópaga           | Boyacá       | 3.683          | 3.694                     |
| 2900 m  | Chíquiza         | Boyacá       | 6.073          | 5.433                     |
| 2900 m  | Gualmatán        | Nariño       | 5.673          | 5.773                     |
| 2898 m  | Ipiales          | Nariño       | 109.116        | 141.863                   |
| 2880 m  | Güicán           | Boyacá       | 7.869          | 6.801                     |
| 2870 m  | Tota             | Boyacá       | 5.676          | 5.348                     |
| 2867 m  | Córdoba          | Nariño       | 13.499         | 14.037                    |
| 2860 m  | Sotaquirá        | Boyacá       | 8.966          | 7.578                     |
| 2850 m  | Ospina           | Nariño       | 8.221          | 8.757                     |
| 2850 m  | Puracé           | Cauca        | 14.970         | 15.269                    |
| 2825 m  | Cómbita          | Boyacá       | 12.981         | 14.812                    |
| 2825 m  | Marulanda        | Caldas       | 3.489          | 3.396                     |
| 2817 m  | Puerres          | Nariño       | 8.979          | 8.319                     |
| 2810 m  | Toca             | Boyacá       | 10.561         | 10.106                    |
| 2810 m  | Tunja            | Boyacá       | 154.096        | 191.878                   |
| 2800 m  | Mongua           | Boyacá       | 5.264          | 4.657                     |
|         |                  | <b>Total</b> | 441.603        | 511.134                   |

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 2, se puede ver las poblaciones en Colombia con una altitud entre 2800 y 3000 m.s.n.m., las cuales poseen temperaturas similares, se encuentra que según el DANE en 2005, habitan 441.603 habitantes y en las proyecciones para 2016, 511.134 habitantes, lo cual muestra un aumento poblacional de 15,74%, teniendo en la mayoría de municipios pequeños una disminución de la población con algunas excepciones; caso contrario sucede con los municipios de mayor cantidad de habitantes teniendo en 2005 en Tunja 154.096 personas y 197.878 en 2016, lo que representa un crecimiento del 24,51%; y en Ipiales la ciudad de mayor crecimiento poblacional entre las analizadas, 109.116 habitantes en 2005 y 141.863 en 2016, mostrando un aumento de 30% de su población.

Según un estudio del confort térmico para la ciudad de Bogotá, en que, el clima se da por su altitud y latitud; se determinan climas iguales por ser subtropical de tierras altas, se nombran ejemplos de ciudades como Pasto y Tunja (capitales regionales en Colombia), Quito y Cuenca (capital nacional y regional respectivamente de Ecuador) y Cajamarca (capital regional en Perú), (Natarajan, Rodriguez

y Vellei 2015). Según las consideraciones anteriores Ipiales tiene un clima que posee estas mismas características.

Las viviendas en esta ciudad tienen una baja calidad constructiva, Según el DANE 2005, los hogares en déficit de vivienda son 45%, con un 17,1% cuantitativo y 28,5% cualitativo; en la mayoría de espacios se presentan temperaturas bajas interiores, exceptuando, algunos solares, terrazas o espacios con cerramientos en superficies translúcidas, los cuales dependiendo del horario de ocupación pueden presentar sobrecalentamiento o tener una baja temperatura, comúnmente no se usa ninguna técnica activa ni pasiva para regular su temperatura.

Tabla 3 Valores climatológicos principales de la ciudad de Ipiales

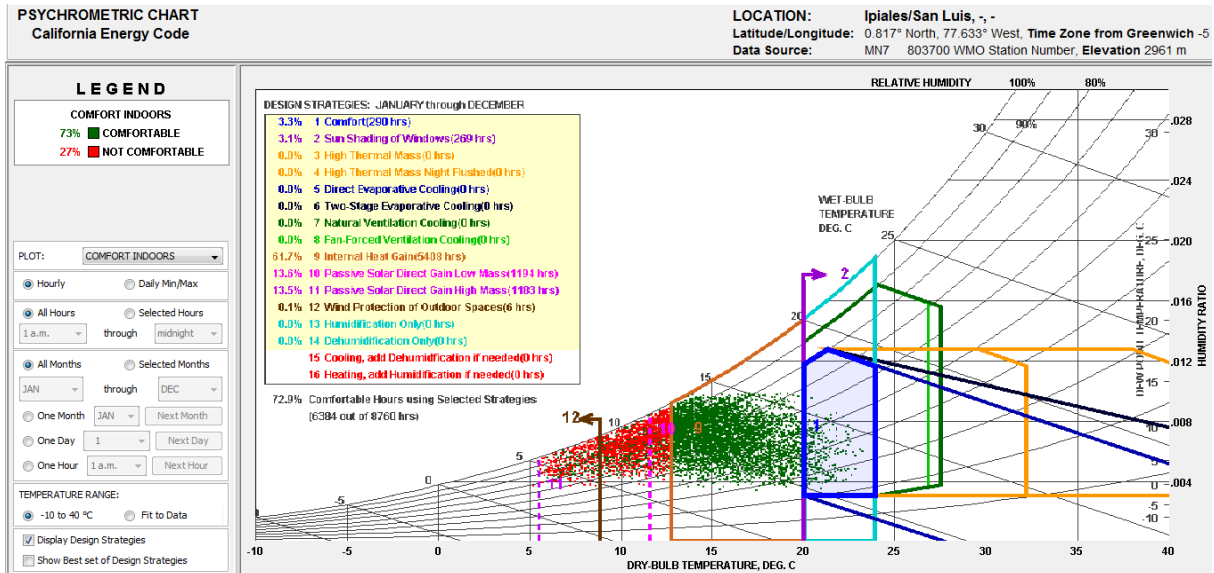
| MEDIOS        | ENERO | FEBRERO | MARZO | ABRIL | MAYO  | JUNIO | JULIO | AGOS  | SEP  | OCTU  | NOVIEM | DICIEM |
|---------------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|--------|
| PRECIPITACIÓN | 79.4  | 77.6    | 88.1  | 93.6  | 74.5  | 53.6  | 41.4  | 35.8  | 44.3 | 94.4  | 105    | 83.7   |
| No. DIAS      | 17    | 16      | 19    | 19    | 19    | 18    | 17    | 16    | 14   | 17    | 19     | 18     |
| T.MAX ABS.    | 24.2  | 23      | 22.5  | 21.5  | 21    | 21    | 20    | 21.5  | 21   | 22    | 23.3   | 22     |
| T.MIN ABS.    | -1.4  | -0.7    | -0.5  | 0     | 0     | -0.8  | -2.3  | -1    | -1.4 | -1    | -2.4   | 0.2    |
| TM. MAX MED   | 19    | 19.2    | 19.1  | 18.5  | 18.2  | 17.3  | 16.6  | 17.7  | 18.3 | 19.4  | 19.2   | 18.9   |
| TEMP          | 11.2  | 11.3    | 11.5  | 11.4  | 11.3  | 10.6  | 10    | 10.1  | 10.6 | 11.3  | 11.5   | 11.4   |
| TM. MIN MED   | 1.8   | 2       | 3     | 3.5   | 3.2   | 2.3   | 1.2   | 0.5   | 1.1  | 1.9   | 2.3    | 2.5    |
| BRILLO        | 128.9 | 103.6   | 101   | 108.6 | 124.1 | 126.4 | 132.9 | 132.3 | 122  | 122.6 | 120    | 130.8  |
| EVAPORACIÓN   | 86    | 76.8    | 81    | 81.2  | 83.2  | 73.8  | 77.7  | 83    | 90.8 | 95.9  | 86.7   | 85.6   |

Fuente: (IDEAM 1999)

Tabla 4 Datos climáticos principales para la ciudad de Ipiales

| MONTHLY MEANS                            | JAN  | FEB  | MAR  | APR  | MAY  | JUN  | JUL  | AUG  | SEP  | OCT  | NOV  | DEC  |           |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| Dry Bulb Temperature (Avg Monthly)       | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   | 13   | 14   | 14   | 14   | 14   | 13   | 13   | degrees C |
| Wind Speed (Avg Monthly)                 | 2    | 2    | 2    | 1    | 2    | 2    | 3    | 3    | 3    | 2    | 2    | 2    | m/s       |
| Wind Direction (Monthly Mode)            | 40   | 30   | 30   | 30   | 30   | 20   | 160  | 170  | 10   | 40   | 30   | 50   | degrees   |
| Relative Humidity (Avg Monthly)          | 74   | 74   | 76   | 77   | 75   | 69   | 64   | 60   | 65   | 71   | 74   | 75   | percent   |
| Global Horiz Radiation (Avg Daily Total) | 4489 | 3839 | 3846 | 3656 | 3700 | 4473 | 3904 | 4045 | 4428 | 4269 | 4316 | 3921 | Wh/sq.m   |
| Global Horiz Radiation (Avg Hourly)      | 375  | 320  | 320  | 304  | 307  | 371  | 324  | 336  | 368  | 356  | 360  | 328  | Wh/sq.m   |
| Direct Normal Radiation (Avg Hourly)     | 266  | 202  | 151  | 164  | 209  | 261  | 226  | 234  | 223  | 219  | 247  | 220  | Wh/sq.m   |
| Diffuse Radiation (Avg Hourly)           | 199  | 179  | 215  | 194  | 169  | 202  | 177  | 178  | 213  | 206  | 190  | 183  | Wh/sq.m   |

Fuente: Climate consultant 6.0 (UCLA 2015) a partir de archivo climático epw.



Gráfica 1 Diagrama psicrométrico para la ciudad de Ipiales Fuente: *Climate consultant 6.0* (UCLA 2015)

En la Tabla 3 y Tabla 4, se observa que a partir de datos climáticos diferentes, las temperaturas están por debajo de los rangos de confort, siendo menor durante todas las épocas del año; las estrategias solares pasivas son una opción si se incrementan sus ganancias y se disminuyen sus pérdidas. El diagrama psicrométrico de la Gráfica 1, nos permite ver que solo el 73% del tiempo podría estar la temperatura interior en los rangos de confort con estrategias pasivas y un 27% se complementa con calefacción activa. En la Imagen 4 se ve la carta solar para la localización de Ipiales en donde se puede observar por su cercanía con la línea del Ecuador, la inclinación del sol norte y sur es mínima, dependiendo de la época del año.

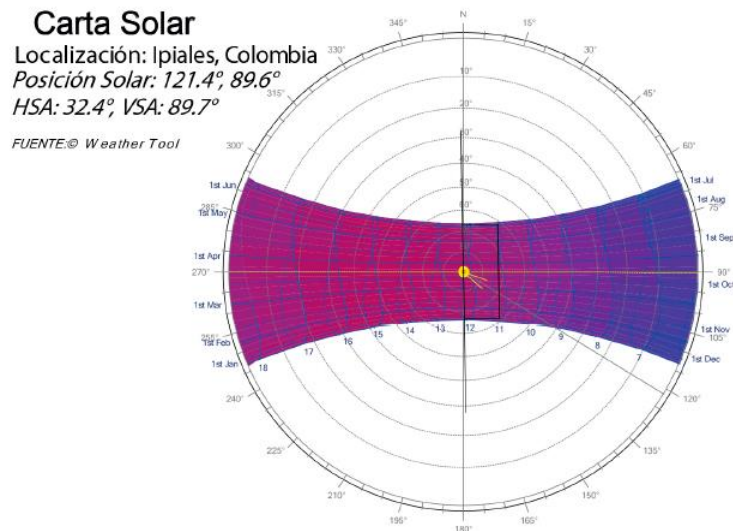


Imagen 4 Carta solar para Ipiales, Colombia Fuente: Weather Tool

Los materiales predominantes en las viviendas de Ipiales son, bloque, concreto o ladrillo 84,9%, adobe o tapia pisada 9,7%, madera 1,8%, otros 3,7%; el material predominante en el techo es plancha o concreto 49,3%, zinc 4,7%, asbesto cemento 20,1%, teja de barro 21,7% otros 4,2%; y el material predominante en el piso, cemento gravilla 27,2% cerámica 26,4%, baldosín, ladrillo, vinisol o sintético 18,3%, madera 8,4%, tierra o arena 4,2%, mineral 1,8%, mármol 1,8%, (CAMARA DE COMERCIO DE IPIALES 2011). En el mejor de los casos, la composición de la solución constructiva no tiene más que un pañete y pintura tanto interior como exterior, siendo muy baja la aislación térmica que poseen las soluciones constructivas en relación al clima.

El municipio de Ipiales “pasó de 74.495 habitantes en el año 1993 a 109.116 en el año 2005, lo que representa un incremento porcentual del 3.6% anual” (Ortega y Villmarín 2010). Este crecimiento da muestra de la elevada velocidad del crecimiento teniendo un crecimiento regional 1,9% y un crecimiento nacional de 2% en estos mismos años, según lo afirman, Ortega X, Villamarín F. el crecimiento acelerado de la ciudad da cuenta de la necesidad de generar vivienda nueva y asequible. (El censo de 2005 es el más actualizado en el país).

## **1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

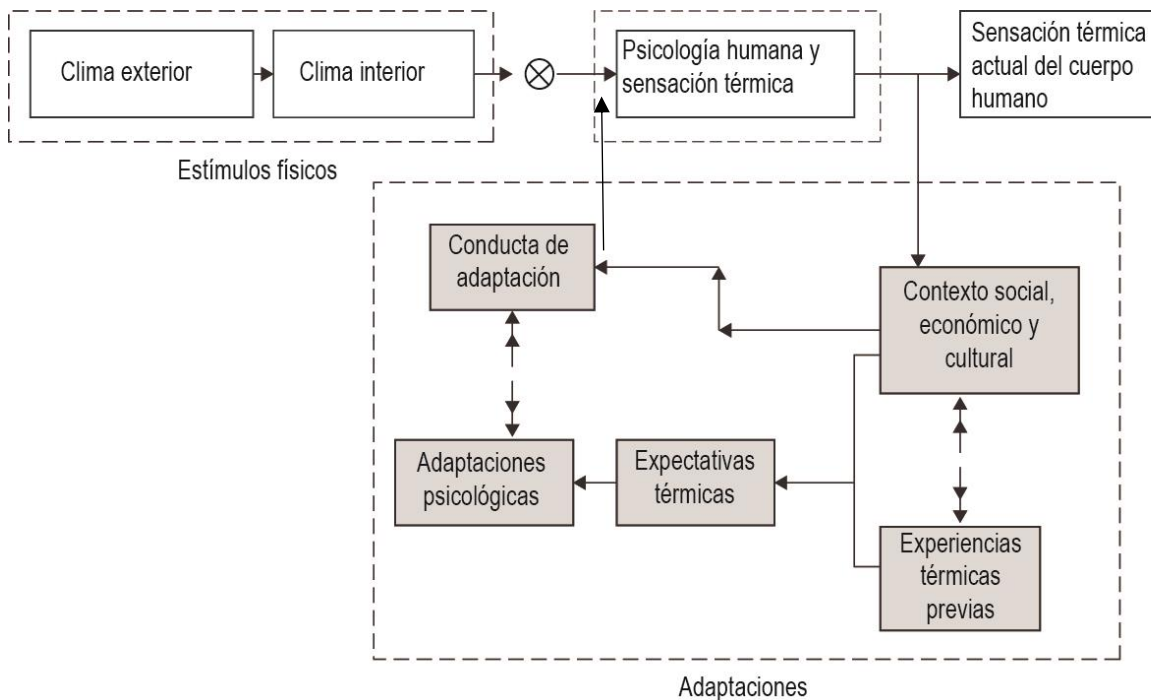
“El confort térmico es un parámetro clave para la salud y la productividad”, (Taylor, Fuller y Luther 2008). El comportamiento del ambiente interior de una edificación es de gran importancia en el funcionamiento, bienestar y salud de los humanos, (Frontczak y Wargocki 2011). Esto demuestra que el confort térmico, es uno de los factores que pueden cambiar el comportamiento del ambiente interior, genera mejoras en las condiciones de habitabilidad de la vivienda, tomado en esta investigación como el punto base para la realización de modificaciones en las edificaciones habitacionales.

En el artículo Thermal confort: a review paper se dice que el confort térmico tiene dos formas para su evaluación; por un lado, está el modelo de balance de calor de Fanger por medio de (pmv) voto medio predictivo, por sus siglas en inglés, que funciona de modo estacionario y su medición se hace en situaciones controladas del ambiente, dando un rango de temperatura sobre la cual se puede estar en confort; y un modelo de dos nodos que puede predecir respuestas a situaciones transitorias; el confort térmico, se encuentra normado internacionalmente por ISO 7730 y el Ashrae estándar-55, estas normativas se basan en latitudes norteamericanas y de Europa del norte, según lo afirma (Djongyang, Tchinda y Njomo 2010). Es así que para otras latitudes, sobre todo en climas



tropicales, su funcionamiento tenga algunos errores. En un estudio para la ciudad de Maracaibo (Clima cálido húmedo) se encuentra que “*el método de Fanger, subestima la sensación térmica y subjetividad de los individuos. Los mismos, se suman a los numerosos estudios que cuestionan la validez*” (Bravo y González 2001).

Por otro lado, se encuentra el enfoque adaptativo, que puede realizarse en interiores de edificaciones con sistemas pasivos de acondicionamiento térmico, ya que no se basa en un ambiente controlado. En el modelo adaptativo de grados día (ACDD) por sus siglas en inglés, se ha encontrado que mayor parte de la población se encuentra en satisfacción; tiene potencial de disminución de energía con respecto al modelo de pmv Fanger (Mishra y Ramgopal 2015). Como se observa en la Gráfica 2, el confort térmico depende de una gran cantidad de factores y cada sujeto puede tener una percepción distinta del clima por lo cual es subjetivo fijar un rango temperaturas.



Gráfica 2 Mecanismo del Confort térmico adaptativo Fuente: N. Djongyang et al. / Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) Traducción: elaboración propia

Para la definición de los rangos de confort en este estudio, se ha encontrado bibliografía de climas tropicales o subtropicales, en los cuales se definen las condiciones de temperatura estables durante todo el año teniendo climas cálidos y cálidos húmedos, presentando grandes diferencias en la temperatura media de estos climas con el estudiado. Se realiza una revisión bibliográfica de estándares de confort ubicados en climas tropicales, clima estacionarios de alta montaña,

subtropical de alta montaña de similar comportamiento y por ultimo una revisión según las normas Ashrae y California energy code confort model 2013, para así hallar una relación entre estos tres y poder establecer unos rangos de confort que puedan servir como referencia para el desarrollo de esta investigación.

En el primer artículo revisado se habla de una zona de alta montaña ubicada en un clima estacionario en China, tiene una temperatura entre 14 °C a 24 °C en verano y -15 °C a 18 °C en invierno explicando la oscilación tan grande de temperatura porque un solo día alcanzo un cambio de 20 °C, la temperatura interior varia de 2 °C a 20 °C en invierno y de 17 °C a 27 °C en verano; con el método pmv el 68% de los ocupantes se sintieron entre el (-1), (-2), (-3) y solo una cuarta parte neutro en invierno, en verano 96% considero estar entre (-1), (0), (1), la temperatura neutra de invierno fue de 18,9 °C mientras que la de verano fue 23,3 °C y como conclusión se encontró que el estándar Ashrae 55, no era la condición más óptima para el confort interior. (Yang, Yan y Lam 2014).

En el segundo artículo revisado en un clima tropical cálido húmedo en India, se encuentra que la norma recomienda unos rangos interiores en verano de 23 a 26°C y en invierno de 21 a 23°C con una humedad relativa entre 40% y 70% y un rango de confort entre 25 y 30°C; según el modelo usado por la norma EN 15251 los límites para las 7 ciudades analizadas en India está entre 24 y 30°C, siendo la norma más adecuada encontrada para la India, sugiriendo que se deben encontrar estándares propios; la velocidad del aire puede influir y causar correcciones del orden de 2°C en los rangos de confort térmico, para velocidades superiores de 0,65 m/s y los ocupantes prefieren una temperatura por debajo de la neutra entre los rangos de pmv, estas consideraciones expuestas solo se aplican a este clima, (Mishra y Ramgopal 2015). En otro artículo revisado en Tailandia, para un clima cálido húmedo, se concluye que los rangos neutros pmv para oficinas son de 24,2 a 28,3°C y para otros edificios es de 23,3 a 29,2°C (Kwong, Adam y Sahari 2014). En una investigación de la temperatura de confort para el clima subtropical de alta montaña de Bogotá definida mediante el modelo adaptativo propuesto por Ashrae, se halló un rango de temperaturas de confort entre 18,7 a 25.7 °C con una aceptación del 80% (Natarajan, Rodriguez y Vellei 2015).

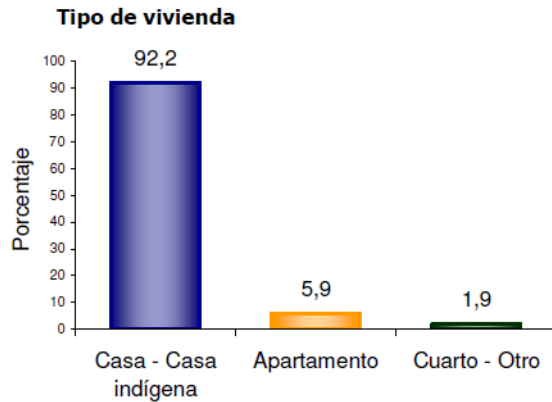
Según los datos de (Climate consultand 6.0) se analizan las guías de confort; el actual manual de fundamentos Ashrae estándar 55, dice que el rango de confort esta entre 20,3°C a 24,3°C con una humedad relativa máxima de 84,9%; el manual de fundamentos Ashrae estándar 55 de 2004, la temperatura de confort se encuentra entre 20°C a 23,3°C con una humedad relativa máxima de 90%; según el modelo de confort adaptativo del modelo Ashrae 55 de 2010, en el cual la medición

sirve para uso en edificaciones que usen sistemas activos o mixtos; el rango está entre 19,4°C a 24,9°C y una humedad relativa máxima entre 80% y 90%; en el modelo Ashrae 55 de 2013 el rango de temperatura es de 18,5 a 25,5 °C según la fórmula presentada en el artículo de (Sánchez, Sánchez y Rubio 2015), con la temperatura media anual ya que en los distintos meses solo varía entre 13 y 14 °C; para terminar en el modelo de confort de 2013 del código de energía de California, tiene la temperatura de confort entre 18,9 °C a 23,9 °C y una humedad relativa máxima de 90%, en todos los casos anteriores la velocidad del viento para estar en confort térmico debe ser 1,5 m/s o inferior.

Las situaciones térmicas no se pueden dividir solamente en 6 variables (dos humanas y 4 medioambientales), también influyen otros aspectos, cultura, edad, actividad a desarrollar, género, posibilidad de control del medio ambiente interior, preferencias individuales, adaptaciones térmicas de los ocupantes; los interiores con mayor aceptabilidad son los que tienen sistemas personalizados de las condiciones; se necesita mejorar los estándares de confort térmico establecidos mundialmente para lograr disminución del consumo energético. (Rupp, Vásquez y Lamberts 2015). Según lo expuesto anteriormente, en la bibliografía revisada se puede concluir que no es posible establecer unos rangos de confort térmico estáticos que funcionen para toda la población, sin embargo estos servirán de referencia para comparar las mejoras de las condiciones térmicas interiores de las viviendas, objeto principal de esta investigación.

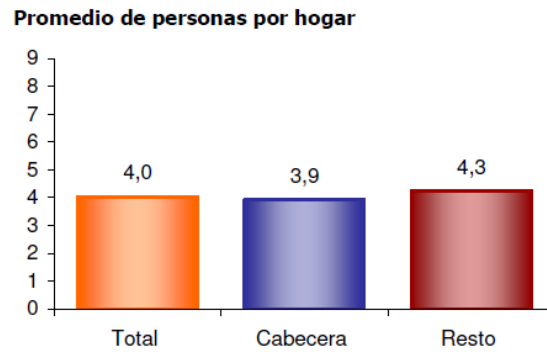
El casco urbano de Ipiales según DANE 2005 tiene 18.605 hogares y 16.003 viviendas presentando un déficit de 2602 viviendas, correspondiente al 16,25% del total, viendo en este caso un déficit cuantitativo de la vivienda; esto sumado al acelerado crecimiento poblacional que presenta, permite ver la importancia del desarrollo de vivienda; en la incorporación de la guía de ahorro de agua y energía para julio de 2017 se va a empezar con la aplicación de la normativa en nuevas edificaciones; por esta razón que la realización de la presente investigación se basa en vivienda nueva.

Como se ve en la *Gráfica 3*, en Ipiales para el 2005 el 92,2% de las viviendas eran casas unifamiliares, a pesar de esto a partir de esta fecha la vivienda multifamiliar ha venido en aumento, siendo menor que la construcción de barrios residenciales de vivienda unifamiliar; en la *Gráfica 4*, se puede ver que contaba con un promedio de 4 personas por hogar.



El 92,2% de las viviendas de **IPIALES** son casas.

Gráfica 3 Tipo de viviendas de Ipiales



El Promedio de personas por hogar en **IPIALES** es de 4,0.

Gráfica 4 Promedio de personas por hogar en Ipiales

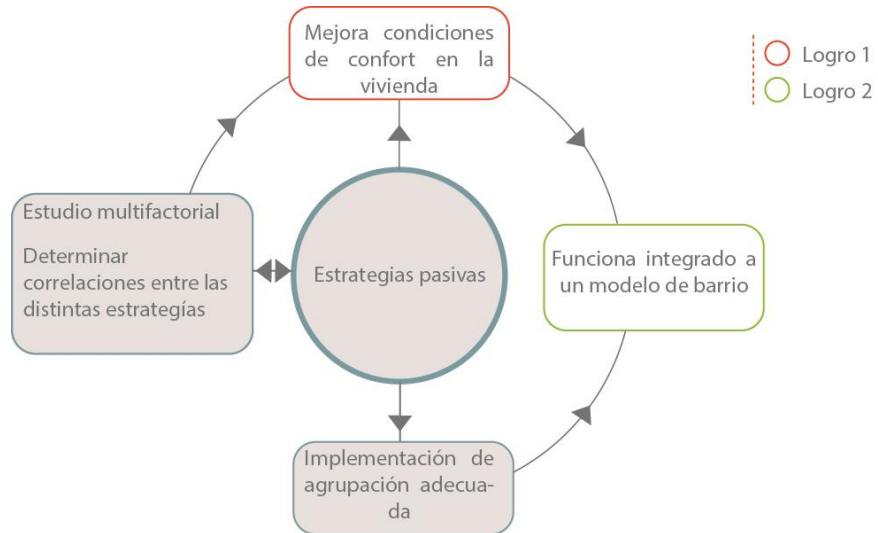
Fuente: (DANE 2005)

En el contexto de la ciudad de Ipiales en Colombia, hay una carencia de estrategias para mitigar los impactos causados por el clima; por falta de interés en las construcciones de viviendas tanto privadas como públicas; hay falta de conocimiento sobre sistemas activos que mitiguen el impacto del clima; generando con ello problemas de salud asociados. *“Las bajas temperaturas disminuyen las defensas y producen cambios en el organismo que conllevan a la aparición de enfermedades como gripe, bronquitis y neumonías, empeorando los problemas respiratorios que sufren algunas personas, como el aumento de la tos, congestión bronquial, entre otros”*. (CENEPRED. 2014); siendo una problemática de carácter público y regional olvidada por el estado.

La población está acostumbrada a bajas temperaturas similares a las exteriores y la necesidad de no generar un mayor gasto energético, son factores importantes por los cuales se prefiere estar a una temperatura por debajo de la de confort, sin considerar la pertinencia de calefaccionar el espacio y las implicaciones que esto podría traer. *“El frío afecta la salud de las personas de diversas maneras, especialmente cuando es intenso, pero este no tiene un efecto inmediato y en muchas ocasiones, sus primeros síntomas aparecen a los pocos días de habernos expuesto a las bajas temperaturas”* (CENEPRED. 2014). Por esta razón no se asocia como una causa directa de enfermedades y no se le da mayor relevancia a la protección climática.

## 2. HIPÓTESIS

En la ciudad de Ipiales, Colombia, por medio de estrategias pasivas, se pueden mejorar las condiciones interiores de las viviendas, consiguiendo niveles cercanos al confort.



Gráfica 5 Mapa mental de la hipótesis Fuente: elaboración propia

### **3. OBJETIVO GENERAL, ESPECIFICOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Objetivo general**

Establecer estrategias pasivas que mejoren las condiciones de confort térmico de viviendas nuevas unifamiliares en agrupaciones, con respecto a su interacción con el clima frío ecuatorial de alta montaña, en la ciudad de Ipiales, Colombia.

#### **3.2. Objetivos específicos**

1. Diagnosticar la situación actual de la vivienda unifamiliar en la ciudad de Ipiales, mediante una muestra en conjuntos residenciales para definir un tipo representativo y sus características principales.
2. Determinar diferentes estrategias pasivas, en la vivienda representativa, para encontrar cual es la solución combinada, que mejore las condiciones de confort térmico interior.
3. Determinar la forma de optimizar la agrupación de la vivienda unifamiliar, para mejorar las condiciones de confort térmico interior.

#### **3.3. Preguntas de investigación**

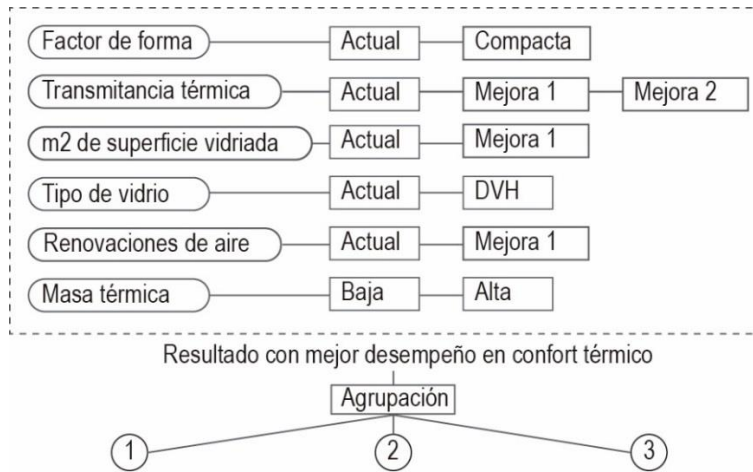
1. ¿Cuál es la situación actual de la vivienda unifamiliar en conjuntos residenciales, de la ciudad de Ipiales?
2. ¿Qué estrategias pasivas se pueden integrar para dar la solución más adecuada al confort térmico interior en la vivienda unifamiliar, de la ciudad de Ipiales?
3. ¿Cómo agrupar las nuevas viviendas unifamiliares de la ciudad de Ipiales, para optimizar el confort térmico interior?

## 4. METODOLOGÍA

El proyecto de investigación parte de la realización de un diagnóstico para determinar el estado actual de la situación constructiva, factores y características principales de la vivienda unifamiliar repetitiva en la ciudad de Ipiales: promedio de m<sup>2</sup>, materialidad, la forma, el número de pisos, su agrupación y la densidad de la vivienda; con los resultados obtenidos, desarrollar un cálculo manual de la transmitancia térmica de las diferentes soluciones constructivas, comparando estas con normativas térmicas de vivienda internacionales, para determinar el estado actual.

Se pasa al proceso de experimentación, para el cual es necesario definir una tipología de vivienda representativa, sobre la cual se va a trabajar como caso base, aplicarle a esta, las variables escogidas, con base en las estrategias obtenidas mediante el software Climate Consultant (UCLA 2015) y el clima epw; la revisión de la guía para ahorro de agua y energía en Colombia y el estándar Passivehaus (Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid 2011); los cuales son: factor de forma, aislamiento térmico, m<sup>2</sup> de superficie vidriada, renovaciones de aire y masa térmica; con esto, se realiza una simulación térmica mediante el software (DesignBuilder Software Ltd 2016), comparando todos los parámetros simulados y sus posibles combinaciones en un estudio multifactorial (Hatt et al. 2012). El estudio multifactorial genera 96 posibles combinaciones, con ellas se va a determinar, cuál es la que genera mejores condiciones de confort interior en la vivienda, utilizando como factor de optimización la mayor cantidad de horas de confort térmico al año.

Con las dos mejores soluciones, se hace un análisis detallado en donde se observa que sucede recinto por recinto, mes a mes y se compara como afectan cada una de las estrategias al comportamiento interior. Al hallar la solución óptima, se simula en tres distintas agrupaciones por medio del software Design Builder, y comprueba cuál de ellas podría tener mejor desempeño térmico. En la Gráfica 6, se puede ver cuáles son las posibles combinaciones y el proceso de simulación que se va a realizar.



Gráfica 6 Diagrama del estudio multifactorial Fuente: elaboración propia

Para finalizar se analiza y comprueba la pertinencia de la aplicabilidad de las herramientas pasivas para la construcción de la vivienda nueva en agrupaciones en la ciudad de Ipiales, Colombia. En la Gráfica 7 se muestran los tres pasos de la metodología y de que consta cada uno de ellos.



Gráfica 7 Mapa mental de la metodología Fuente: elaboración propia

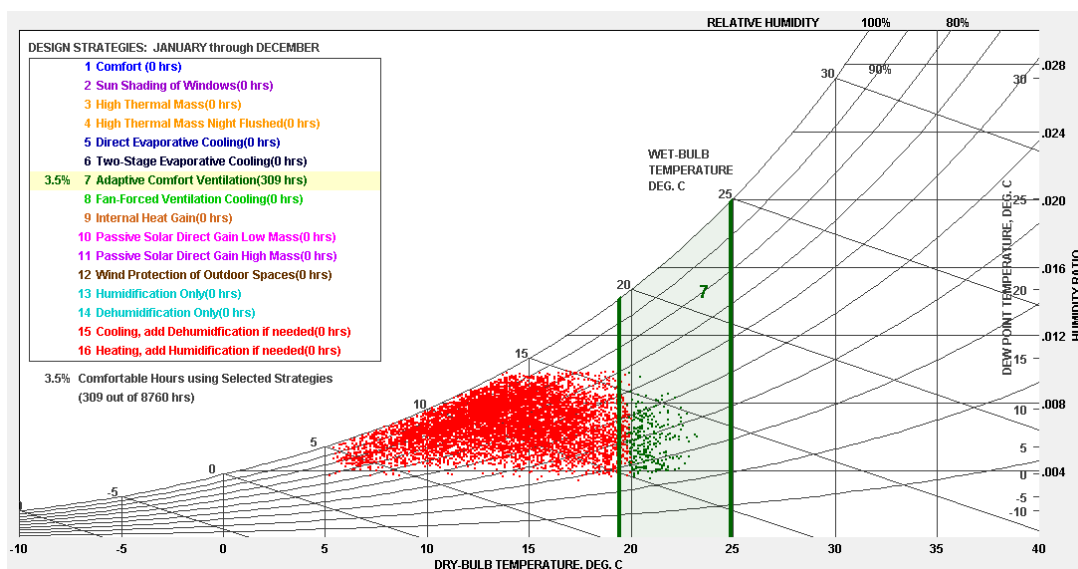


## 5. ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO

Las estrategias a utilizar fueron seleccionadas teniendo en cuenta las características climatológicas del lugar, en donde la temperatura del ambiente exterior se encuentra en su mayoría, durante todo el año, por debajo de los rangos de confort, exceptuando unas pocas horas en días cálidos, es por esta razón que se toman estrategias que funcionen para un clima estático en los distintos meses.

Sin embargo, a pesar de ser un clima estático a lo largo del año con variaciones de la temperatura media que no superan los 3°C, posee las mayores fluctuaciones de temperatura a lo largo de un mismo día, siendo los días más cálidos, los mismos donde se presentan heladas y con ello las temperaturas más bajas, este fenómeno se explica porque los días que se presenta menor nubosidad, aumenta la radiación solar y con ello la temperatura, al mismo tiempo esto causa que el enfriamiento nocturno sea mayor.

Las temperaturas más altas rondan hacia el medio día entre las 11 y las 16 horas, dependiendo el estado del tiempo, con mayores cambios cuando hay mucha nubosidad o lluvia, lo más común es que la temperatura máxima llegue hacia el mediodía, en la noche la temperatura baja y llega a su mínimo la última hora en la que no hay sol; debido a las grandes fluctuaciones de temperatura que pueden llegar a ocurrir en un mismo día, en un caso extremo las fluctuaciones pueden llegar hasta 23 y 25°C, (Guhl 1981), (para la sabana de Bogotá, que tiene temperaturas similares a las de Ipiales).



Gráfica 8 psicrométrico según confort adaptativo en el cual se tiene como única estrategia para mantener la temperatura el uso de las ventanas cuando sea conveniente Fuente: Climate consultant 6.0

En la Gráfica 8 analizada para confort adaptativo según el Ashrae 55-2010 se puede visualizar que solo durante el 3.5% de horas del año la temperatura se encuentra dentro de los rangos de confort térmico, las temperaturas que se encuentran fuera de este rango siempre están por debajo de la temperatura; para entender un poco mejor las fluctuaciones diarias de temperatura se realizó un análisis hora a hora a lo largo de todo el año encontrándose desde las 7pm hasta las 10 am 0% en el rango de confort, a las 11 am 3%, a las 12 del día 8%, a la 1pm 13%, 2y3 pm 18%, 4 pm 15%, 5pm 8% y 6pm 1%, (UCLA 2015) Climate consultant 6.0. Las estrategias para mejorar el comportamiento térmico interior de la vivienda, deben tener en cuenta estos cambios de temperatura para evitar el riesgo de sobrecalentamiento o una temperatura por encima de la de confort en la vivienda.

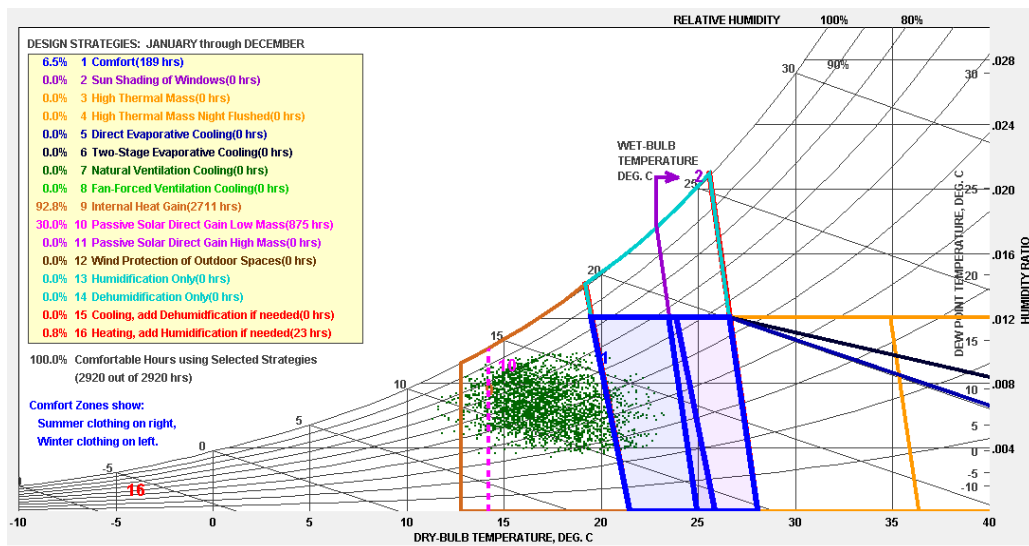
Tabla 5 Definición de distintos rangos de confort y su correspondiente promedio

| <b>Zonas de confort según revisión bibliográfica</b> |                |                |  |
|--|----------------|----------------|--|
| Caso de estudio                                      | Min °C         | Max °C         | Bibliografía                             |
| Alta montaña en China                                | 18,9 °C        | 23,3 °C        | L YANG, et al, 2013                      |
| Tropical cálido en India                             | 24 °C          | 30 °C          | A, KUMAR, M, RAMGOLPAL 2014              |
| Edificios en Tailandia                               | 23,3 °C        | 29,2 °C        | Q, J KWONG, N, M ADAM, B.B. SAHARI, 2012 |
| Confort térmico en Bogotá                            | 18,7 °C        | 25,7°C         | Natarajan, Rodriguez y Vellei 2015       |
| Promedio en climas similares                         | <b>21,2 °C</b> | <b>27 °C</b>   |  |
| Diagrama psicométrico                                | 21 °C          | 26 °C          | Manzano-Agugliaro et al. 2015            |
| Ashrae standar55                                     | 20,3 °C        | 24,3 °C        | Climate Consultand 6.0                   |
| Ashrae standar55 2004                                | 20 °C          | 23,3 °C        | Climate Consultand 6.0                   |
| Ashrae standar55 2010                                | 19,4 °C        | 24,9 °C        | Climate Consultand 6.0                   |
| Ashrae standar55 2013                                | 18,5 °C        | 25,5 °C        |  |
| Código de energía de california                      | 19,9 °C        | 24,9 °C        | Climate Consultand 6.0                   |
| Promedio de las normas                               | <b>19,9 °C</b> | <b>24,3 °C</b> |  |
| Promedio total                                       | <b>20,4 °C</b> | <b>25,7 °C</b> |  |

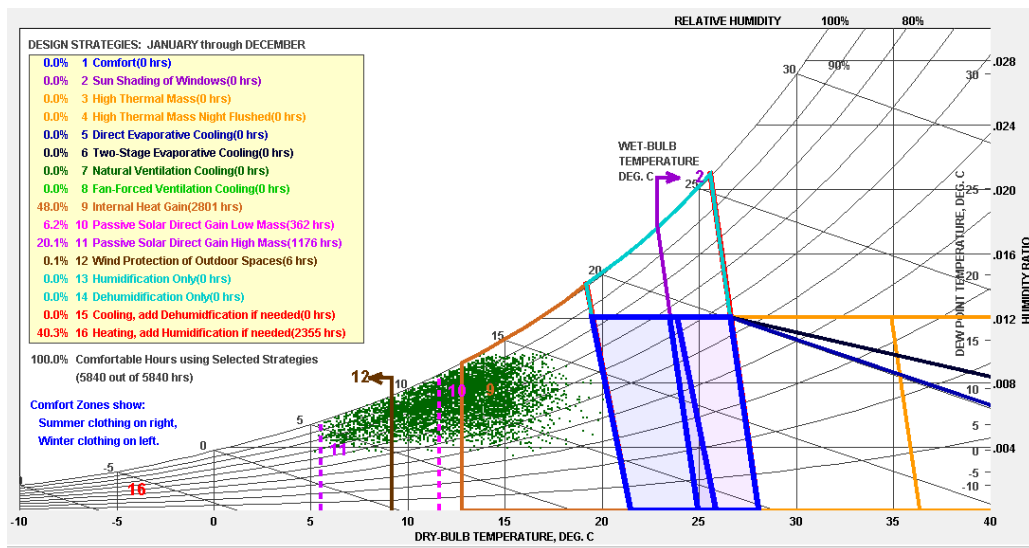
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5, se observan rangos de confort obtenidos en distintas investigaciones; como es mencionado anteriormente el confort térmico es adaptativo y depende de distintas condiciones asociadas tanto al clima, la población, el espacio en que se encuentre, entre otras, por esta razón y debido a la subjetividad de la temperatura de confort térmico interior, se deciden realizar algunos promedios con los cuales se pueda comparar lo observado en diferentes fuentes de bibliografía; en el promedio de climas similares se encontraron unos rangos de temperatura entre 21,2 y 27°C el cual se encuentra por encima de los otros promedios esto debido a que dos de los climas revisados son tropicales cálidos; por esta razón para el caso de esta investigación se trabaja con el promedio total de todos los rangos revisados que es de 20,4 a 25,7°C, el cual es muy similar al encontrado en

la investigación que revisa los rangos de confort según el diagrama psicrométrico realizada por (Manzano et al. 2015).



Gráfica 9 psicrométrico del Ashrae Estándar 55 usando PMV de 11 am a 6 pm Fuente: Climate consultant 6.0



Gráfica 10 psicrométrico del Ashrae Estándar 55 usando PMV de 7pm a 10 am Fuente: Climate consultant 6.0

Según la Gráfica 9 y la Gráfica 10 podríamos afirmar que la estrategia pasiva que mayor impacto tiene para mejorar los rangos de confort son las ganancias de calor interiores, siendo en un segundo plano las ganancias solares y definiendo a la masa térmica como una estrategia que no tiene un buen funcionamiento; en el horario de 11 am a 6 pm, se puede llegar a 99% de horas del año en rangos de confort térmico al interior con solo sistemas pasivos y en el horario de 7pm a 10 am se tiene que solo el 60% de las horas puede llegarse al confort térmico interior con sistemas pasivos.

## **5.1 Vivienda para clima frío**

La envolvente es de los factores de mayor relevancia para el comportamiento térmico de la vivienda; la inercia térmica disminuye el gasto energético de refrigeración, demostrando ser poco eficaz para reducir la calefacción; el parámetro principal en el consumo de energía es el valor de transmitancia térmica, encontrando para vivienda en climas nórdicos el consumo de energía disminuyó hasta llegar a un valor  $u$  de  $0,10 \text{ w/m}^2\text{k}$  y cuando fue menor a este, aumentó el consumo, aunque disminuye la calefacción influye en un aumento exponencial de la refrigeración, (Goia, Time y Gustavsen 2015). En un estudio desarrollado para Bariloche en Argentina se determinó que el uso de energía era 3 veces el usado en un clima similar, concluyendo que esto es debido a no tener adecuada aislación térmica en las paredes, pisos, techos, aberturas y una baja eficiencia de los equipos de calefacción (González, Crivelli y Gortari 2006).

En un artículo revisado, para vivienda de clima frío, se utilizaron bloques de concreto livianos utilizando piedra pómez para mejorar el comportamiento térmico de la envolvente, en este se concluye que es un material que se puede usar en zonas sísmo resistentes y así mismo propicia ahorro energético al mejorar sus propiedades térmicas (Dargahi-Zaboli y Alizadeh 2014). Para viviendas medianeras el patio siempre es una opción para iluminación, pudiendo generar un control en ellos sobre los vientos; una estrategia podría ser tener un patio cerrado para aumentar la temperatura (Vaisman y Horvat 2015).

## **5.2 Propiedades físicas de la vivienda**

### **5.2.1 Masa térmica**

De la masa térmica depende que un material pueda acumular temperatura, siendo importante para el óptimo funcionamiento tener en cuenta propiedades físicas como: alta densidad, baja reflectividad y una conductividad térmica apropiada; con materiales que posean masa térmica en la envolvente se pueden reducir las fluctuaciones de temperatura interiores en la vivienda, generando cierta estabilidad. (Instituto de Cemento Portland 2013).

Los materiales con alta masa térmica, son los capaces de almacenar calor o frío y por tanto generan inercia térmica al interior de un edificio, minimizando fluctuaciones de temperatura. (Navarro et al. 2016). Comúnmente en distintas situaciones y regiones, para hacer uso de la masa térmica, se construye con materiales como el concreto, mampostería pesada, madera maciza, tierra y piedra.

(Kosny et al. 2001). Siendo estos materiales de fácil acceso en la ciudad de Ipiales y con los que se lleva a cabo algunas de las construcciones actuales exceptuando la piedra y la tierra.

La inercia térmica juega un papel importante en el planteamiento de estrategias para el diseño de viviendas unifamiliares pasivas, por un lado tiene la posibilidad de ser el almacenaje de las ganancias solares, y por el otro, si se construye con baja inercia térmica se tiene la posibilidad de que las ganancias interiores de la vivienda jueguen un papel importante, al poder elevar la temperatura interior rápidamente cuando la vivienda se encuentra ocupada, por esta razón la solución más apropiada depende de cada caso específico.

Se desarrolla una revisión bibliográfica de distintas investigaciones que usan masa térmica para ver qué se podría esperar de su comportamiento; se encontró que en las viviendas con materiales pesados en invierno, la temperatura interior se demora más tiempo en caer, que las construidas con materiales livianos; en verano, la vivienda evaluada con alta masa térmica, llegó a temperaturas interiores máximas menores que las de baja masa térmica, influyendo de esta forma en la estabilidad de la temperatura interior, (Ponechal 2015). En otra investigación se concluye que se puede reducir la temperatura interior en verano, acercándose al confort térmico mediante el uso de masa térmica, a través de adiciones en concreto, en una vivienda de madera ubicada en Republica Checa (Němeček y Kalousek 2015).

Hay una conflictiva correlación entre el aislamiento térmico de la envolvente y la masa térmica interior; por esta razón, la mejor solución que se encuentre para invierno puede ser la peor para verano y viceversa. (Stazi et al. 2015). Con lo anterior, se encontró que la masa térmica es efectiva para mantener la temperatura interior estable, pero al mismo tiempo se tiene que tener cuidado en la interacción con las demás estrategias, ya que podría generar transformaciones desfavorables al utilizarse de manera errada. (Ej: la masa térmica expuesta a los mayores vientos, podría estar constantemente en una baja temperatura y repercutir en el confort térmico interior).

### **5.2.2 Aislamiento térmico de la envolvente**

Es la *“capacidad de oposición al paso de calor de un material o un conjunto de materiales y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior”* (Citec UBB y Decon UC 2014). La envolvente (muros exteriores, vanos, techumbre y pisos) de un edificio sirve como mecanismo para mejorar el confort a su interior, y a su vez es decisivo para la eficiencia energética. (Escorcía et al. 2012), (Celis et al. 2012). Siendo este el que

separa las condiciones del clima exterior con el interior, por esto la importancia de las características físicas de los materiales que componen la superficie exterior de la vivienda, entre ellas la transmitancia térmica. (*“También conocido como valor U, se refiere al flujo de calor que pasa por unidad de área de un elemento constructivo y por el grado de diferencia de temperatura entre dos ambientes que se encuentran separados por dicho elemento”*) (Citec UBB y Decon UC 2014).

Una de las estrategias de diseño pasivo más eficientes, para la mayoría de climas de Chile es la aislación térmica. (Citec UBB y Decon UC 2014). En un estudio realizado en 3 localidades en Chile se determinó que con solo aislamiento térmico en la envolvente, considerando entre este aislación en vanos, se logra un ahorro de hasta el 39% de energía, disminuyendo este al encontrarse adosada a 33%. (Celis et al. 2012). En otra investigación realizada para la ciudad de Córdoba en Argentina, para una vivienda de interés social, se encontró por fuera de los rangos de temperatura de confort establecidos, planteando que se deben realizar mejoras centradas en la optimización higrotérmica de la envolvente. (Bernardo., Filippín y D. Pipa 2011). Para lograr el estándar “Passivehaus” en Chile, fue necesaria la incorporación de alta aislación térmica en las 3 diferentes ciudades estudiadas (Hatt et al., 2012).

### **5.2.3 Hermeticidad de la vivienda: renovaciones de aire**

Existen dos tipos de pérdidas térmicas dentro de una edificación, están las pérdidas por trasmisión, que dependen del intercambio de temperatura por medio de la envolvente entre el interior y el exterior; las de ventilación incluyendo las infiltraciones; si no son tenidas en cuenta ambas no se puede disminuir el consumo energético. (Ossio, De Herde y Veas 2012).

La excesiva ventilación puede causar molestias al interior de los espacios y aumento del consumo de energía; así mismo, si se da esta por infiltraciones va a ser inferior a la ventilación necesaria para los espacios; es por esto que en lo posible se deben reducir las infiltraciones; la ventilación natural debe ser controlada y pensada para el uso específico de los espacios, (Energy Saving Trust 2006). Cuando se hace una reforma para mejorar una vivienda es adecuado tener en cuenta las situaciones de incomodidad que puede causar la velocidad del viento al interior, debido a las infiltraciones, convirtiéndose en un aspecto que no se puede dejar olvidado para el confort térmico interior, (Gillott et al. 2016).

Es mucho más fácil la implementación de mejoras de hermeticidad en la edificación desde la etapa de diseño para luego construirla, que mejorar la permeabilidad al aire en una ya existente (Citec

UBB y Decon UC 2014). A pesar de que en la región no se cuenta con mano de obra especializada, ni con construcciones previas de viviendas que mejoren sus condiciones de hermeticidad, es pertinente para esta investigación realizar algunas recomendaciones para vivienda nueva, que sean factibles de realizar.

Al no contar con un estudio propio en Colombia de la línea base de las infiltraciones en las edificaciones, se pretende usar un estudio, realizado en viviendas en Chile, previo a contar con una normativa, que exija una determinada hermeticidad, y está distribuido en promedios para las distintas materialidades. Las distintas materialidades de los muros poseen grandes diferencias en cuanto a hermeticidad, en comparación a otras variables que influyen menos, por esto es la materialidad la más apropiada para la creación de una línea base, (Citec UBB y Decon UC 2014).

En la Tabla 6, se puede observar que la hermeticidad del aire aceptable para los distintos países para la vivienda está en un rango menor que los promedios encontrados en Chile para las edificaciones habitacionales como se ve en la Tabla 7, esto da cuenta de la importancia de tener un control de la hermeticidad del aire en la vivienda, pudiendo generar disminución de las infiltraciones, con esto, ayudar a mejorar el confort térmico interior de la vivienda.

Tabla 6 Clases de hermeticidad del aire aceptables para distintos países

| País              | Tipología   | Valor límite máximo | Indicador | Unidad  | Presión (Pa) |        |
|-------------------|---|---------------------|-----------|---------|--------------|--------|
| Alemania          | Viviendas con ventilación natural   | 3,0                 | n50       | Vol/h   | 50           |        |
|                   | Viviendas con ventilación mecánica  | 1,5                 |           |         |              |        |
| Austria           | Viviendas con ventilación natural   | 3,0                 | n50       | Vol/h   | 50           |        |
|                   | Viviendas con ventilación mecánica  | 1,5                 |           |         |              |        |
| Bélgica           | Viviendas con ventilación mecánica balanceada   | 3,0                 | n50       | Vol/h   | 50           |        |
|                   | Viviendas con recuperación de calor   | 1,0                 |           |         |              |        |
| Bulgaria          | Edificios   | Alta estanqueidad   | q50       | m³/h m² | 50           |        |
|                   |   | Media estanqueidad  |           |         |              | 2 a 5  |
|                   |   | Baja estanqueidad   |           |         |              | 5,0    |
|                   | Viviendas unifamiliares   | Alta estanqueidad   |           |         |              | 4,0    |
|                   |   | Media estanqueidad  |           |         |              | 4 a 10 |
| Baja estanqueidad | 10  |                     |           |         |              |        |
| Eslovenia         | Viviendas con ventilación natural   | 3,0                 | n50       | Vol/h   | 50           |        |
|                   | Viviendas con ventilación mecánica  | 2,0                 |           |         |              |        |
| Estonia           | Inmuebles pequeños  | 6,0                 | q50       | m³/h m² | 50           |        |
|                   | Inmuebles de gran tamaño  | 3,0                 |           |         |              |        |
| Francia           | Viviendas unifamiliares   | 0,8                 | q4        | m³/h m² | 4            |        |
|                   | Otros tipos de viviendas  | 1,2                 |           |         |              |        |
| Letonia           | Todo tipo de edificios  | 3,0                 | q50       | m³/h m² | 50           |        |
| Lituania          | Viviendas con ventilación natural   | 3,0                 | n50       | Vol/h   | 50           |        |
|                   | Viviendas con ventilación mecánica: menor a 1,5   | 1,5                 |           |         |              |        |
| Noruega           | Viviendas   | 3,0                 | n50       | Vol/h   | 50           |        |
| Reino Unido       | Viviendas   | 10,0                | q50       | m³/h m² | 50           |        |
|                   | Viviendas con ventilación mecánica  | 5,0                 |           |         |              |        |
| EEUU y Canadá     | Cuentan con su propio indicador Ln y sobre este se definen clases de la A a J las que se aplican según los grados día de infiltración | 0,1 a 1,6           | Ln        | -       | -            |        |
| Suecia            | Viviendas   | 0,8                 |           | l/s m²  | 50           |        |
| Suiza             | Viviendas nuevas  | 0,75                | q50       | m³/h m² | 4            |        |
|                   | Viviendas reformadas o modificadas  | 1,5                 |           |         |              |        |
| Holanda           | Viviendas suministro y extracción natural   | 30 a 200            |           | l/s     | 10           |        |
|                   | Viviendas suministro natural y extracción mecánica  |                     |           |         |              |        |
|                   | Viviendas suministro mecánico y extracción natural  |                     |           |         |              |        |
|                   | Viviendas suministro y extracción mecánica  |                     |           |         |              |        |

Fuente: (Citec UBB y Decon UC 2014) pág. 40

Tabla 7 Infiltraciones de aire para la edificación habitacional en Chile.

| Material predominante de los muros | Línea base n50 (ach) | Valores esperados |                  |
|------------------------------------|----------------------|-------------------|------------------|
|                                    |                      | Máximo n50 (ach)  | Mínimo n50 (ach) |
| Concreto                           | 9.0                  | 7.8               | 11.2             |
| Ladrillos                          | 11.8                 | 10.9              | 13.4             |
| Ladrillos y estructura liviana     | 15.0                 | 11.7              | 13.8             |
| Madera                             | 24.6                 | 18.6              | 30.6             |
| Otros materiales                   | 10.2                 | 7.9               | 12.6             |

Fuente: (Figuerola et al. 2013) Traducción: elaboración propia



#### 5.2.4 Factor de forma

*“El índice de compacidad es la relación entre el volumen y la superficie exterior” “un edificio muy compacto tiene la superficie expuesta a pérdidas o ganancias de calor tan pequeño como es posible”* (Pacheco, Ordóñez y Martínez 2012), el factor de forma es la relación entre la superficie de la construcción con su profundidad, casi siempre se encuentra asociado con su orientación, siendo lo más óptimo en climas fríos el lado más grande orientado hacia donde llega más el sol y caso contrario en climas cálidos. En el análisis del comportamiento térmico de los edificios por lo general sólo es tenido en cuenta la compacidad, dos edificios de distintas formas podrían tener el mismo coeficiente, por lo tanto un comportamiento del confort interior diferente, siendo estrictamente necesarios para su funcionamiento tener en consideración aspectos como, orientación, elementos naturales y la exposición a los agentes atmosféricos, (Albatici y Passerini 2010).

Las implicaciones que tienen la forma de los edificios cambia de acuerdo con la ubicación, tamaño de la edificación y clima; entendiéndose así que se deben hacer variaciones en cada caso puntual. (Hemsath y Alagheband Bandhosseini 2015). La geometría en algunos casos dependiendo de la ubicación puede tener mayor relevancia en el comportamiento térmico, que la materialidad (Hemsath y Alagheband Bandhosseini 2015), (Álvarado y González 2014). Siendo este un factor de gran importancia para esta investigación por los grandes cambios que podría tener en el comportamiento térmico.

Se determinó que en una vivienda de superficie pequeña se tenían cambios menores en cuanto a sus ganancias solares con respecto a su orientación; mientras que, con superficies grandes sucede lo contrario, (Morrissey, Moore y Horne 2011). Con esto, se demuestra la importancia de la vivienda compacta para el rendimiento térmico, aun cuando está mal orientada. (Pacheco, Ordóñez y Martínez 2012). En otra investigación, para la vivienda y la ubicación que se usan, se encontró una relación entre el aumento de m<sup>2</sup> de muro exterior con la demanda energética, (Álvarado y González 2014). Una vivienda que genere soluciones para el factor de forma disminuye el consumo energético en mayor medida que otras acciones en la construcción, que pueden implicar mayor gasto económico (incrementar aislación, cambiar ventanas, instalación de equipos). (Álvarado y González 2014).

Se debe mantener un equilibrio entre estética, funcionalidad y factor de forma; el coeficiente de forma tiene que tener en cuenta la captación solar que podría generarse mediante una fachada

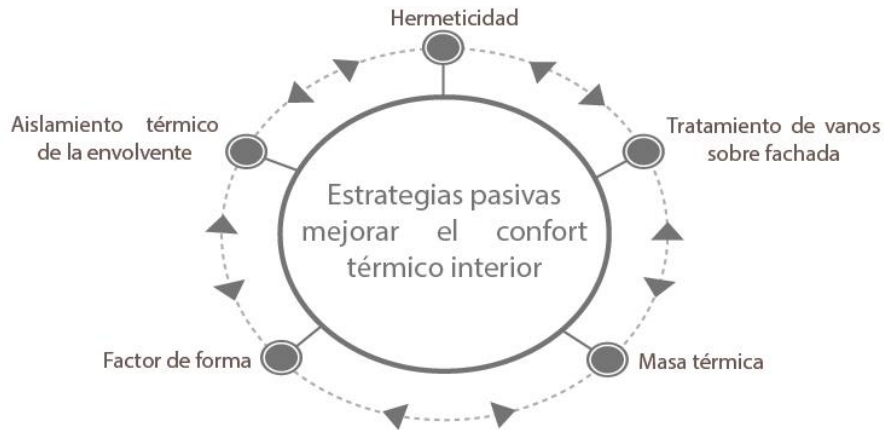
alargada, pudiendo tener mayores ahorros este cambio de compacidad si las ganancias solares son las adecuadas, (Jin, Chen y Shao 2014). Se determinó en un estudio para 3 diferentes ciudades de Europa que el factor de forma tiene mayor influencia en el consumo energético, en climas fríos y con pocas ganancias solares, siendo menos relevante en zonas donde la temperatura del ambiente es mayor, (Premrov, Žegarac Leskovic y Mihalič 2015).

### **5.2.5 Tratamiento en vanos sobre la fachada**

El diseño de vanos en el trópico se realiza según lo considere el arquitecto con respecto a sus experiencias y sentido común; aun así, tienen un gran impacto en el consumo energético y confort al interior de las edificaciones, con regulaciones precisas podría mejorarse esta situación, (Betancourt 2012). En distintas normativas térmicas el porcentaje de superficie vidriada sobre la fachada y la transmitancia térmica de los vanos, son tenidos en cuenta como factores importantes que podrían modificar el comportamiento interior de la vivienda.

En distintos países se han desarrollado etiquetas de eficiencia energética para puertas y ventanas, las cuales tienen en cuenta factores como, infiltraciones de aire, paso de luz visible, transmitancia térmica, entre algunos otros factores; estas certificaciones tienen distintos valores con respecto a la localización y el clima, (Monteoliva y Pattini 2013). Para el caso de este estudio son relevantes en los vanos sobre la fachada solo factores que puedan modificar el comportamiento térmico al interior de la vivienda, siendo los más importantes los tres nombrados anteriormente.

*“Las ventanas impactan en los costos de calefacción y enfriamiento del hábitat debido a sus propiedades de intercambio óptico-radiativo exterior-interior”,* (Monteoliva y Pattini 2013). En esta investigación se pueden desarrollar mejoramientos de vanos en la fachada, estos deben ir encaminados a aumentar en la medida de lo posible, las ganancias solares y disminuir las pérdidas de energía por medio de la fachada. Se genera correlación entre las distintas estrategias planteadas en donde el comportamiento de una puede afectar el de la otra, de distintas formas ver Gráfica 11.



Gráfica 11 Mapa mental de la correlación entre las estrategias planteadas Fuente: elaboración propia

### 5.3 Agrupaciones de la vivienda

Al parecer se le da poca importancia a la orientación de la vivienda en los diferentes conjuntos de casas ubicados en la ciudad de Ipiales, por la latitud se recibe iluminación natural ubicando la fachada principal en las diferentes orientaciones; al agrupar la vivienda se pueden tener en cuenta factores como la velocidad y orientación del viento, zonas de mayor ganancia térmica, o cómo disminuir la superficie de fachada expuesta a la intemperie para evitar pérdidas, desde que se realiza su etapa de diseño.

El urbanismo puede ser pensado para reducir el consumo de energía en los edificios desde que se piensa el trazado de las calles (Manzano et al. 2015). En un estudio al comparar diferentes agrupaciones de viviendas en la zona centro-sur de Chile se encuentra que las viviendas aisladas mostraron un consumo energético promedio de un 38% más alto que la media de las continuas y en adosamiento se encuentran en un consumo intermedio (Álvarado y González 2014).

Tabla 8 Demanda energética según agrupación

|                 | ECOTEC | CASANOVA | % Mejora |
|-----------------|--------|----------|----------|
| CASA + SEGÚN RT | 160    | 140      |          |
| CASA + AISLADA  | 47     | 43       | 70-75%   |
| CASA+ PAREADA   | 38     | 36       | 75-80%   |
| CASA+ ADOSADA   | 35     | 29       | 80-85%   |

Fuente: (Alvarado et al. 2013) pag 632

En otro estudio realizado para vivienda en el centro-sur de Chile, se obtiene la demanda energética según agrupación ver, Tabla 8

*Tabla 8;* dando como resultado que las viviendas adosadas consumen menos energía. En otro estudio para la región central de Chile, se encuentra que entre las distintas agrupaciones (aislada, pareada, adosada), las de mejor desempeño energético son las viviendas adosadas para este clima, porque a pesar de que las viviendas aisladas o pareadas podrían tener ganancias solares en invierno, estas son menores a las pérdidas asociadas que se puedan tener por estas fachadas, además de esto tienen mayor espacio de fachada expuesto al sobrecalentamiento en verano, (Celis et al. 2012). En los tres estudios revisados, aunque son para la misma zona se evalúan distintas viviendas y concluyen lo mismo sobre la agrupación, se tiene menor demanda energética, en las viviendas que se encuentran adosadas.

Para este estudio no se sabe cuál tipo de agrupación, podría ser la más óptima y si se pudieran modificar algunos factores para lograr un mejor rendimiento en cuanto a condiciones de confort interior de la vivienda, por eso se vuelve un aspecto importante a evaluar dentro de esta investigación.

Aunque no es objeto de este estudio, cabe mencionar que entre las estrategias no se tiene en cuenta un tratamiento de los puentes térmicos, pero es un factor importante para el comportamiento del confort térmico interior de la vivienda, es por esta razón que entre las soluciones constructivas es necesario tener el debido cuidado de la existencia de los mismos. “Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos, exigir en lugar de sugerir, la continuidad del comportamiento térmico en techumbres, muros, puertas y ventanas”. (Escorcia et al. 2012).

En las horas en que aumenta mayormente la temperatura existe cierto riesgo de sobrecalentamiento al interior de la vivienda, por mejorar la hermeticidad y la aislación térmica, puede aumentar este riesgo, debido a esto es preciso revisar cómo se podría adaptar la ventilación y protecciones solares, durante estos horarios (cerca al medio día) para lograr mantener la temperatura de confort interior, aun cuando ocurran fenómenos climáticos como el fenómeno del niño que podría inferir en cambios bruscos de la temperatura ambiental.

## 6. DIAGNÓSTICO DEL ESTADO ACTUAL DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR REPETITIVA DE LA CIUDAD DE IPIALES, COLOMBIA

### 6.1 Selección de muestra representativa de la vivienda

Se selecciona una muestra representativa de la vivienda unifamiliar repetitiva en la ciudad de Ipiales, en la cual se pueda establecer las condiciones constructivas en la actualidad y a partir de esta, determinar un caso base para la posterior realización de mejoras que influyan en las condiciones de confort térmico interior, que tenga aplicabilidad en el desarrollo de viviendas nuevas.

Pese a la dificultad de determinar el universo exacto de la vivienda unifamiliar repetitiva en la ciudad de Ipiales, para el alcance de esta investigación y la falta de estudios que hablen de esto, se decide determinar una muestra representativa que corresponda a no menos del 10% del total de las viviendas existentes en la ciudad, según el último censo realizado. Teniendo varias características para la selección, se logra una muestra aleatoria, en que ninguna vivienda es anterior a 25 años de la presente investigación; las viviendas están ubicadas en las diferentes zonas de la ciudad, ver Imagen 5, se seleccionan viviendas de los distintos grupos socioeconómicos y todas las viviendas se encuentran dentro del casco urbano o área de expansión.

En total se analizaron 9 tipologías distintas, de las cuales 5 están construidas, una tiene dos conjuntos habitacionales construidos y otro en construcción, dos están en fase de construcción y la última está en etapa de diseño, sin iniciar aun su proceso de ventas; las 9 tipologías representan 1783 viviendas, teniendo en cuenta que en el último censo habían 16.003 unidades de vivienda en la ciudad incluidas unifamiliares y multifamiliares, se puede considerar que esta muestra corresponde al 11,1%.



Imagen 5 Ubicación de las viviendas unifamiliares repetitivas seleccionadas en el perímetro urbano de Ipiales Fuente: elaboración propia

## 6.2 Características de la muestra representativa



Foto

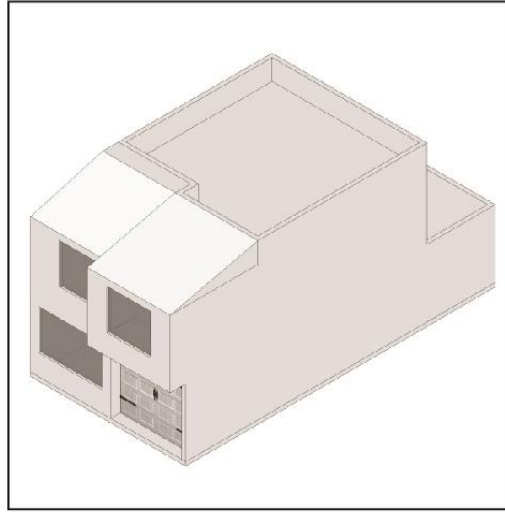
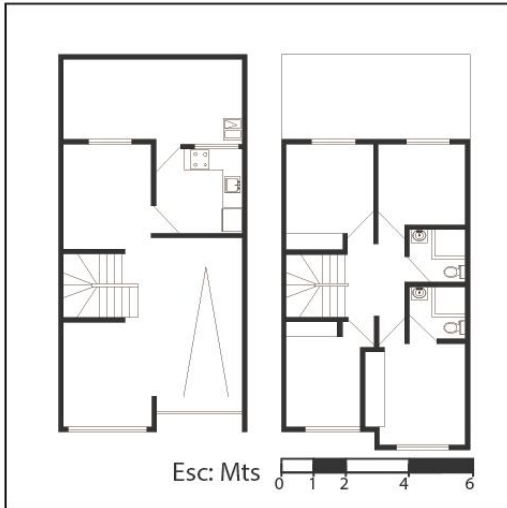


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

### Datos urbanización :

Nombre: Altamira

Año de construcción: 2014

Número de viviendas: etapa 1 162,  
etapa 2 125

Densidad: etapa 1 81viv/hec, etapa 2  
84

Orientación fachada principal: Norte,  
sur, oriente y occidente

### Datos vivienda:

Área construida: 120 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 72 m<sup>2</sup> (6\*12)

Área de ventanas al exterior: 14,7 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 8,9 m<sup>2</sup>

Forma: compacta

Materialidad cubierta: placa concreto

Materialidad muros: ladrillo con  
estuco y pintura

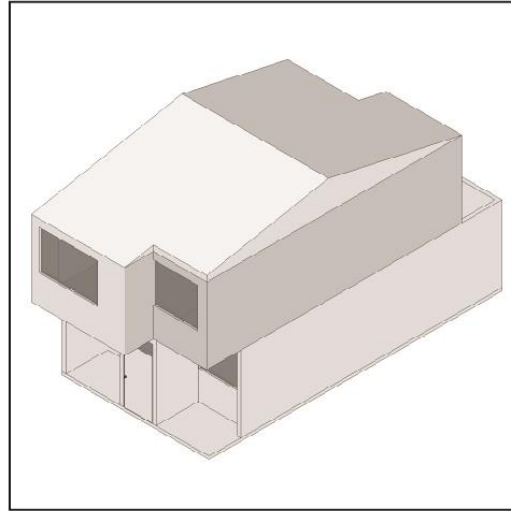
Materialidad placa: concreto y ceramica

Fuente: elaboración propia

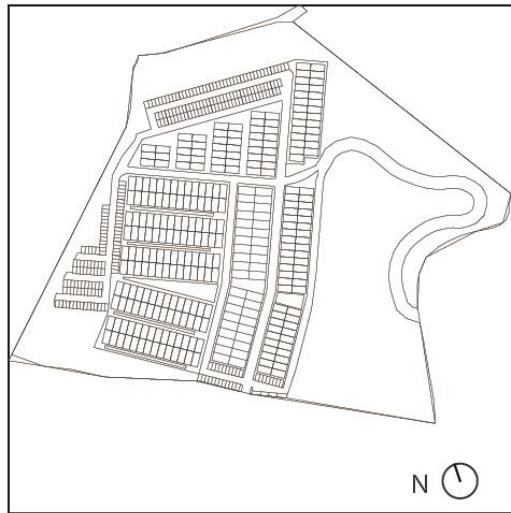
## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=1319717&page=9> 16/02/2016



Esc: 1:200



N

### Datos urbanización :

Nombre: Bosque madero

Año de construcción: en construcción  
en el momento de la realización de la  
investigación

Número de viviendas: 274

Densidad: 45 viv/hec

Orientación fachada principal: Norte,  
sur, oriente y occidente

### Datos vivienda:

Área construida: 76 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 50 m<sup>2</sup> (5\*10)

Área de ventanas al exterior: 14 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 3,96 m<sup>2</sup>

Forma: dispersa

Materialidad cubierta: teja de  
asbestocemento

Materialidad muros: ladrillo con  
estuco y pintura

Materialidad placa: concreto y marmol

Fuente: elaboración propia

## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



Foto

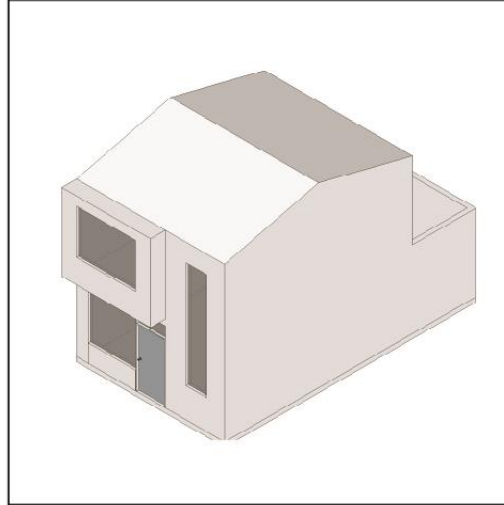


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

### Datos urbanización :

Nombre: Caminos de aragón

Año de construcción: etapa 1 2014, etapa 2 2015, etapa 3 en construcción

Número de viviendas: etapa 1 142, etapa 2 175

Densidad: etapa 1 124viv/hect, etapa 2 134

Orientación fachada principal: predomina norte y sur en las dos etapas construidas

### Datos vivienda:

Área construida: 71 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 42,5 m<sup>2</sup> (5\*8,5)

Área de ventanas al exterior: 14,18 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 5,36 m<sup>2</sup>

Forma: compacta

Materialidad cubierta: placa concreto

Materialidad muros: ladrillo a la vista

Materialidad placa: concreto y ceramica

Fuente: elaboración propia



## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



Foto

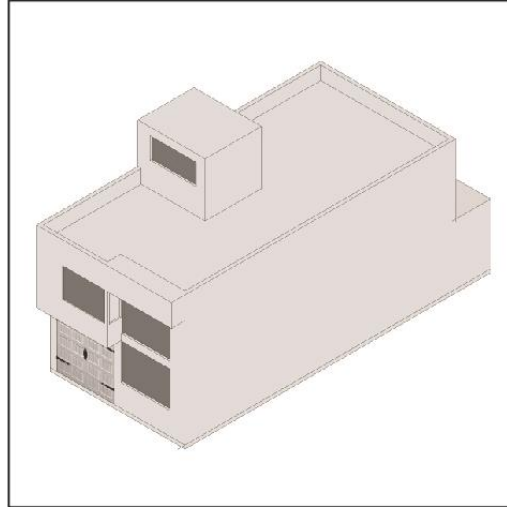
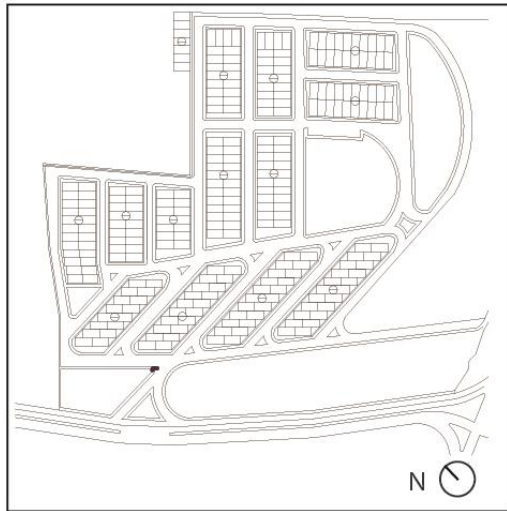


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

|   |
|---|
| Datos urbanización :  |
| Nombre: Colina verde  |
| Año de construcción: 2014                                   |
| Número de viviendas: 271                                    |
| Densidad: 49 viv/hec  |
| Orientación fachada principal:<br>Nor-orienté y Sur-orienté |

|   |
|---|
| Datos vivienda:   |
| Área construida: 141 m <sup>2</sup>                         |
| Dimensiones del lote: 81,6 m <sup>2</sup> (6*13,6)          |
| Área de ventanas al exterior: 18,42 m <sup>2</sup>          |
| Área de puertas al exterior: 8,15 m <sup>2</sup>            |
| Forma: compacta   |
| Materialidad cubierta: placa concreto                       |
| Materialidad muros: bloque en concreto con estuco y pintura |
| Materialidad placa: concreto y ceramica                     |

Fuente: elaboración propia

## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



Foto

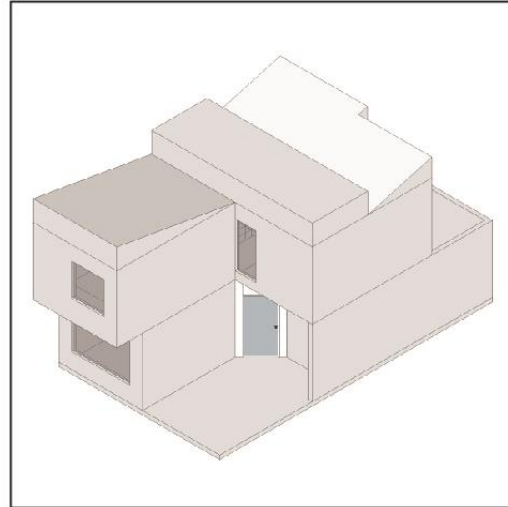
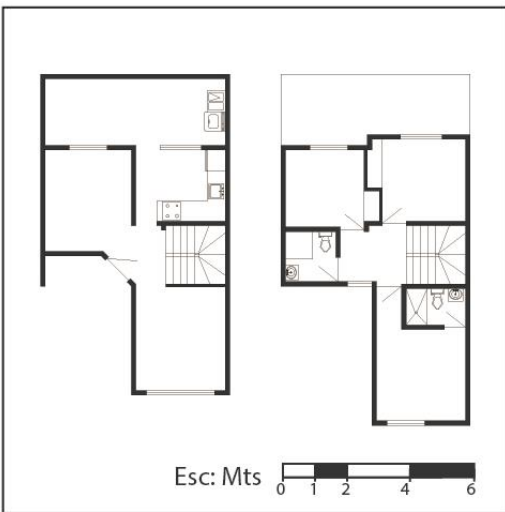
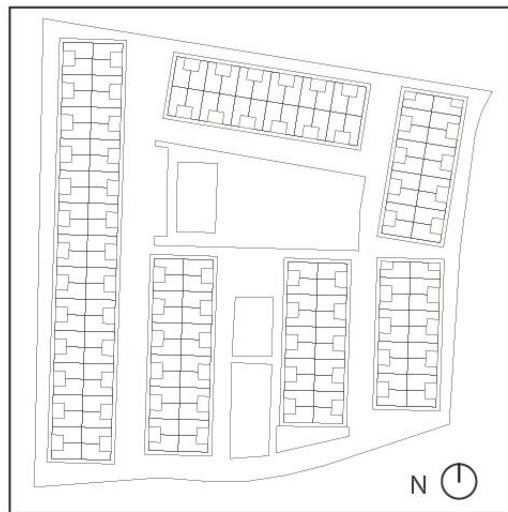


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

### Datos urbanización :

Nombre: Colinas del norte

Año de construcción: 2013

Número de viviendas: 144

Densidad: 55 viv/hec

Orientación fachada principal:  
predominante oriente y occidente, en  
menor cantidad al norte y al sur

### Datos vivienda:

Área construida: 83 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 66 m<sup>2</sup> (6,25\*10,6)

Área de ventanas al exterior: 13,9 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 4 m<sup>2</sup>

Forma: dispersa

Materialidad cubierta: fibrocemento

Materialidad muros: ladrillo con  
estuco y pintura

Materialidad placa: concreto y ceramica

Fuente: elaboración propia

## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



Foto

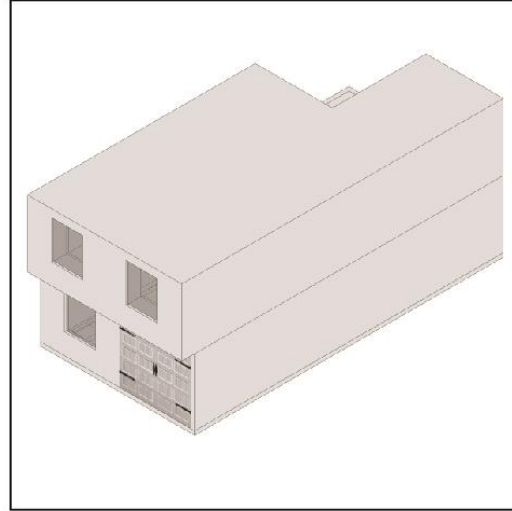
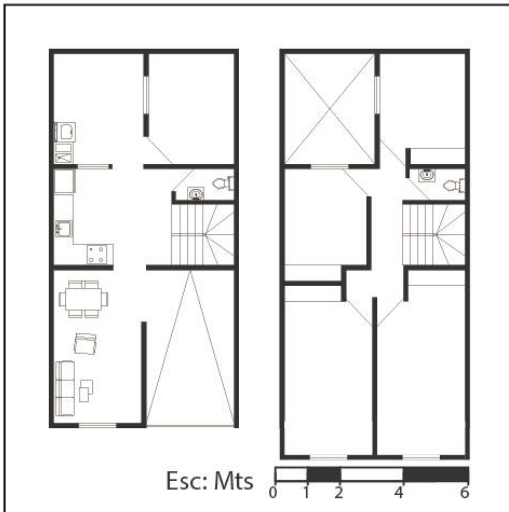
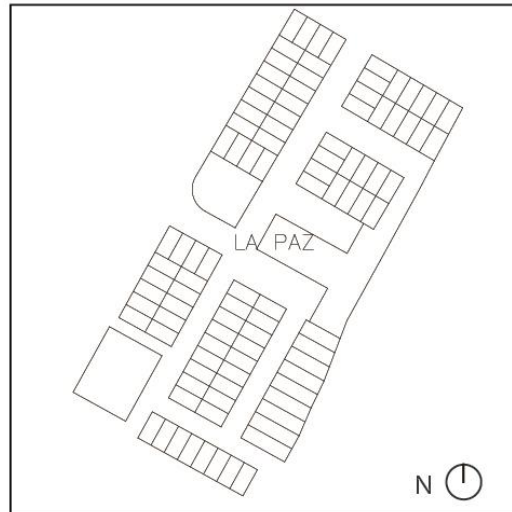


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

### Datos urbanización :

Nombre: La paz

Año de construcción: 1995

Número de viviendas: 96

Densidad: 53 viv/hec

Orientación fachada principal: Norte, sur, oriente y occidente

### Datos vivienda:

Área construida: 125 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 72 m<sup>2</sup> (6\*12)

Área de ventanas al exterior: 11,8 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 11,9 m<sup>2</sup>

Forma: dispersa

Materialidad cubierta: placa en concreto

Materialidad muros: ladrillo echo en maquina con estuco y pintura

Materialidad placa: concreto y cerámica

Fuente: elaboración propia

## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



Foto

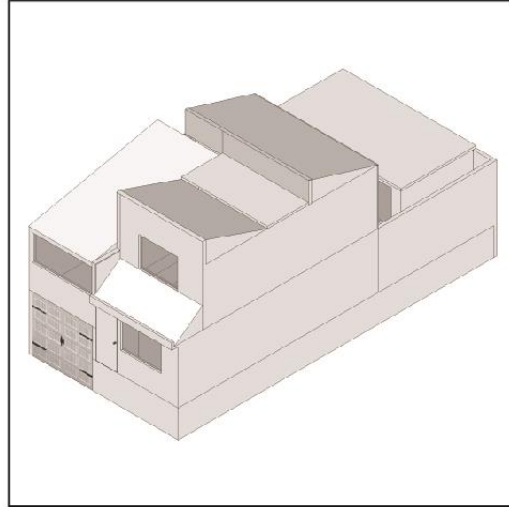
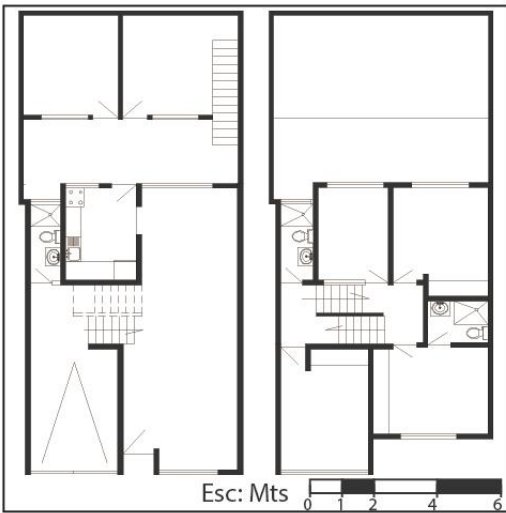
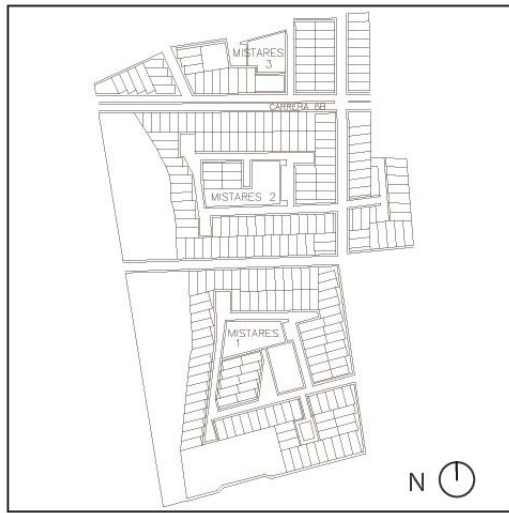


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

### Datos urbanización :

Nombre: Mistares

Año de construcción: 1992

Número de viviendas: 257

Densidad: 47 viv/hec

Orientación fachada principal: Norte, sur, oriente y occidente

### Datos vivienda:

Área construida: 147 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 105 m<sup>2</sup> (7\*15)

Área de ventanas al exterior: 26,16 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 15,4 m<sup>2</sup>

Forma: dispersa

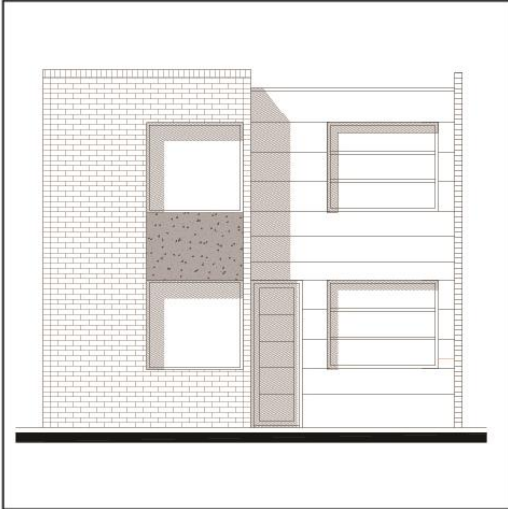
Materialidad cubierta: placa concreto

Materialidad muros: bloque en concreto con estuco y pintura

Materialidad placa: concreto y ceramica

Fuente: elaboración propia

## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



Foto

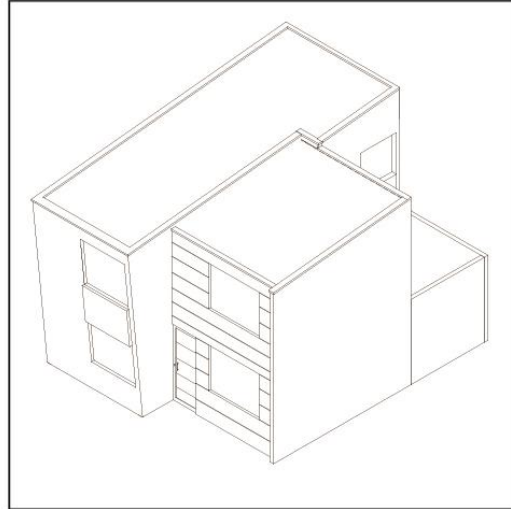
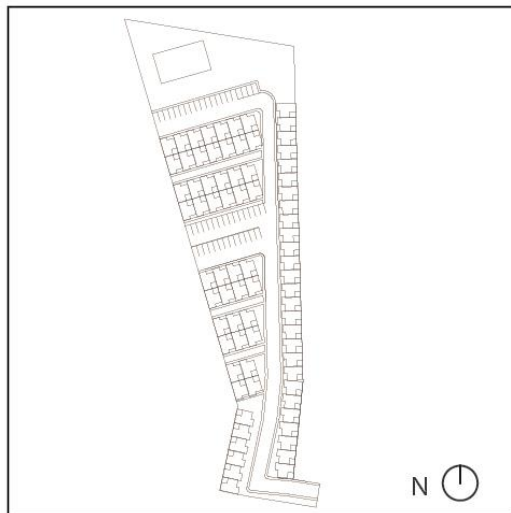


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

### Datos urbanización :

Nombre: Vivienda panamericana

Año de construcción: en planos a la fecha que se realizó esta investigación

Número de viviendas: 74

Densidad: 74 viv/hec

Orientación fachada principal: Norte, sur y oriente

### Datos vivienda:

Área construida: 85 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 52 m<sup>2</sup> (6,5\*8)

Área de ventanas al exterior: 15,3 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 3,96 m<sup>2</sup>

Forma: dispersa

Materialidad cubierta: foil y lámina de acero

Materialidad muros: ladrillo a la vista

Materialidad placa: concreto y cerámica

Fuente: elaboración propia

## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar



Foto

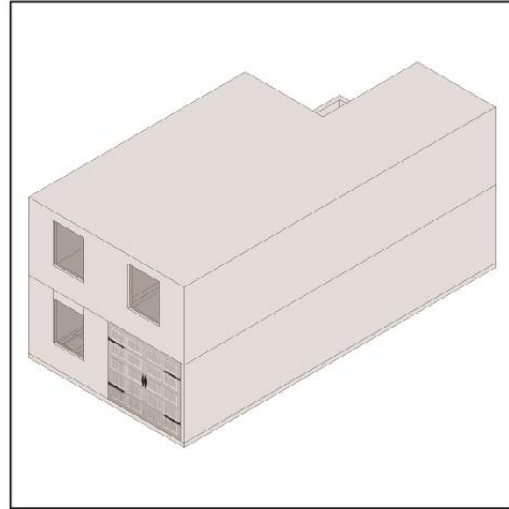
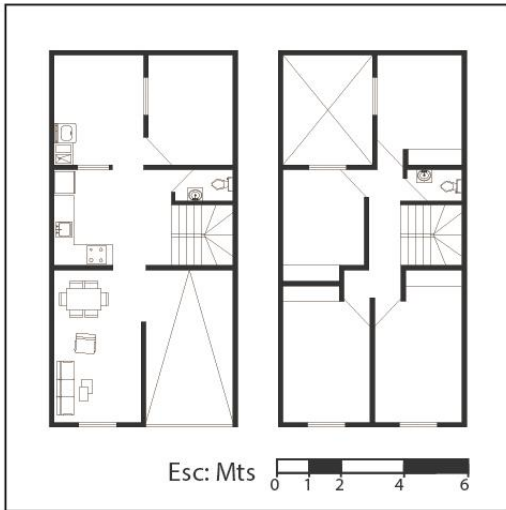


Imagen 3d



Plantas



Planta urbanización

### Datos urbanización :

Nombre: Villa Esperanza

Año de construcción: 1993

Número de viviendas: 63

Densidad: 63 viv/hec

Orientación fachada principal: Norte, sur, oriente y occidente

### Datos vivienda:

Área construida: 122 m<sup>2</sup>

Dimensiones del lote: 72 m<sup>2</sup> (6\*12)

Área de ventanas al exterior: 11,8 m<sup>2</sup>

Área de puertas al exterior: 11,9 m<sup>2</sup>

Forma: dispersa

Materialidad cubierta: placa en concreto

Materialidad muros: ladrillo con estuco

Materialidad placa: concreto y cerámica

Fuente: elaboración propia

## Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar

Se elaboran los distintos detalles constructivos de cerramientos, que tienen mayor representatividad en las viviendas a las cuales se les realizó el diagnóstico, su respectiva transmitancia térmica, para saber cuál es el estado actual de los mismos, en comparación con las normativas internacionales y con esto evaluar que tanto se pueden mejorar.

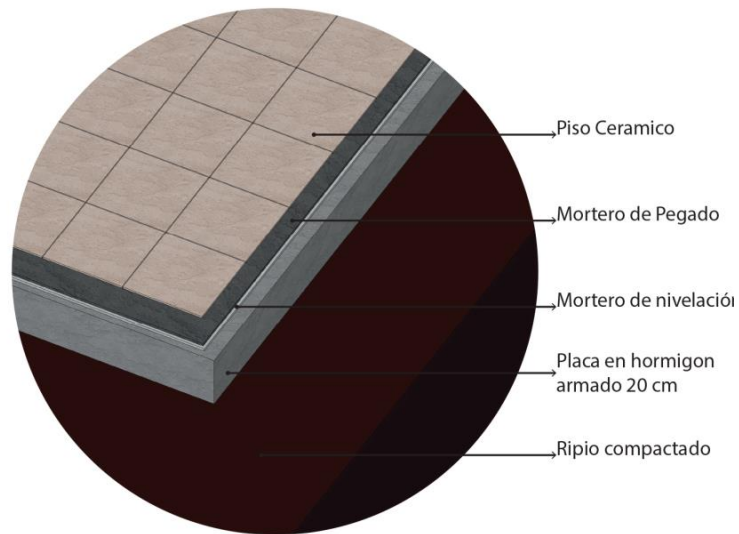


Imagen 6 Detalle constructivo típico de placa de contra piso Fuente: elaboración propia

Tabla 9 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica

| Resistencia Térmica contra piso: |                                   |     | ESPESOR<br>e<br>[mts.] | CONDUCTIVIDAD<br>TÉRMICA<br>$\lambda$<br>[W/mK] | RESISTENCIA TÉRMICA<br>R<br>e/ $\lambda$ [ m <sup>2</sup> KW ] |
|----------------------------------|-----------------------------------|-----|------------------------|---|--|
| 1                                | Capa superficial de aire interior | Rsi |                        |   | 0,12   |
| 2                                | Piso cerámico                     | Ri2 | 0,01                   | 1,75  | 0,006  |
| 3                                | Mortero de pega                   | Ri3 | 0,02                   | 0,87  | 0,023  |
| 4                                | Mortero de nivelación             | Ri4 | 0,02                   | 1,4   | 0,014  |
| 5                                | Loza maciza en hormigón armado    | Ri5 | 0,2                    | 1,63  | 0,123  |
| 6                                | Ripio compactado                  | Ri6 | 0,8                    | 0,8   | 0,800  |
| 7                                | Capa superficial de aire exterior | Rse |                        |   | 0,17   |
|                                  |                                   |     |                        | <b>RT1</b>                                      | <b>1,256</b>   |
|                                  |                                   |     |                        | <b>Valor u</b>                                  | <b>0,796</b>   |

Fuente: elaboración propia

Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar

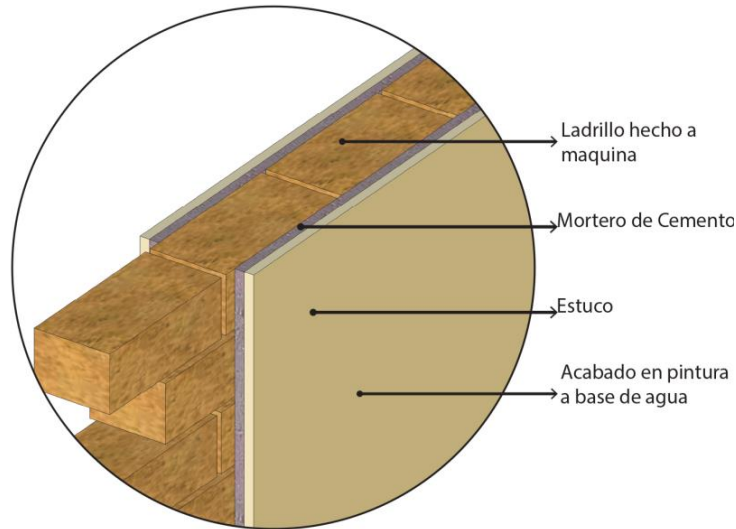


Imagen 7 Detalle constructivo típico de un muro de en mampostería de ladrillo Fuente: elaboración propia

Tabla 10 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica

| Resistencia Térmica Muro en albañilería con acabado en ambas caras |                                   |     | ESPESOR<br>e<br>[mts.] | CONDUCTIVIDAD<br>TÉRMICA<br>$\lambda$<br>[W/mK] | RESISTENCIA TÉRMICA<br>R<br>$e/\lambda [m^2/KW]$ |
|--|-----------------------------------|-----|------------------------|---|--|
| 1  | Capa superficial de aire interior | Rsi |                        |   | 0,12   |
| 5  | Pintura                           | Ri2 | 0,003                  | 0,2   | 0,015  |
| 4  | Estuco                            | Ri3 | 0,01                   | 0,87  | 0,011  |
| 3  | Mortero de cemento                | Ri4 | 0,01                   | 1,4   | 0,007  |
| 2  | Ladrillo hecho a máquina          | Ri5 | 0,11                   | 0,6   | 0,183  |
| 3  | Mortero de cemento                | Ri6 | 0,01                   | 1,4   | 0,007  |
| 4  | Estuco                            | Ri7 | 0,01                   | 0,87  | 0,011  |
| 5  | Pintura                           | Ri8 | 0,003                  | 0,2   | 0,015  |
| 7  | Capa superficial de aire exterior | Rse |                        |   | 0,05   |
| <b>RT1</b>   |                                   |     |                        |   | <b>0,421</b>                                     |
| <b>Valor u</b>   |                                   |     |                        |   | <b>2,378</b>                                     |

Fuente: elaboración propia



Diagnóstico del estado actual de la vivienda unifamiliar

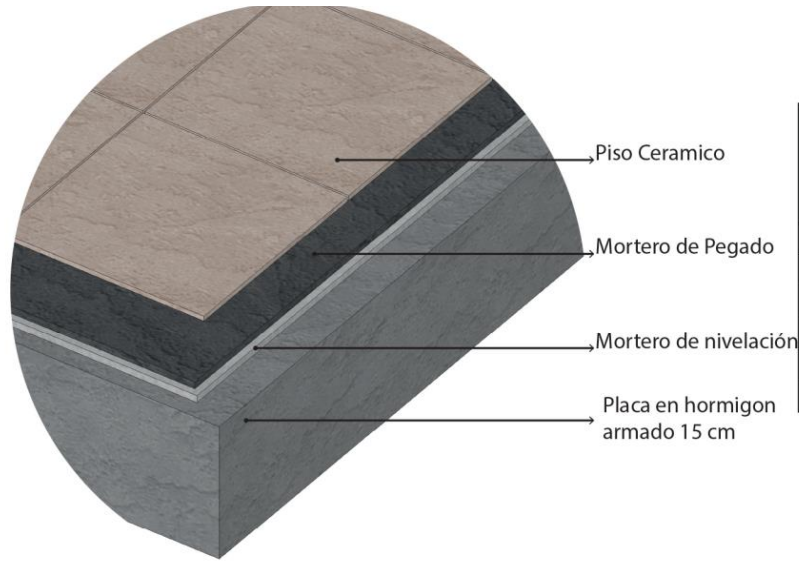


Imagen 8 Detalle constructivo típico de una placa de entepiso típica maciza en concreto Fuente: elaboración propia

Tabla 11 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica

| Resistencia Térmica Entepiso: |                                   |     | ESPESOR<br>e<br>[mts.] | CONDUCTIVIDAD<br>TÉRMICA<br>$\lambda$<br>[W/mK] | RESISTENCIA TÉRMICA<br>R<br>$e/\lambda$ [ m <sup>2</sup> KW ] |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----|------------------------|---|---|
| 1                             | Capa superficial de aire interior | Rsi |                        |   | 0,17  |
| 2                             | Piso cerámico                     | Ri2 | 0,01                   | 1,75  | 0,006   |
| 3                             | Mortero de pega                   | Ri3 | 0,02                   | 0,87  | 0,023   |
| 4                             | Mortero de nivelación             | Ri4 | 0,02                   | 1,4   | 0,014   |
| 5                             | Loza maciza en hormigón armado    | Ri5 | 0,2                    | 1,63  | 0,123   |
| 6                             | Capa superficial de aire exterior | Rse |                        |   | 0,05  |
|                               |                                   |     |                        | <b>RT1</b>                                      | <b>0,386</b>  |
|                               |                                   |     |                        | <b>Valor u</b>                                  | <b>2,593</b>  |

Fuente: elaboración propia

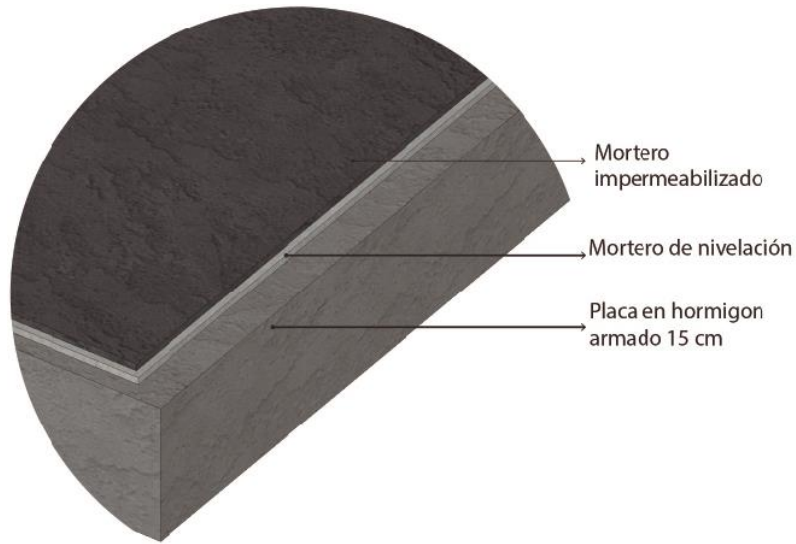


Imagen 9 Detalle constructivo típico de una placa de cubierta maciza en concreto Fuente: elaboración propia

Tabla 12 Cálculo manual de resistencia y transmitancia térmica

| Resistencia Térmica placa de cubierta |                                   |                 | ESPESOR<br>e<br>[mts.] | CONDUCTIVIDAD<br>TÉRMICA<br>$\lambda$<br>[W/mK] | RESISTENCIA TÉRMICA<br>R<br>e/ $\lambda$ [m <sup>2</sup> K/W] |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-----------------|------------------------|---|---|
| 1                                     | Capa superficial de aire interior | R <sub>si</sub> |                        |   | 0,12  |
| 2                                     | Loza maciza en hormigón armado    | R <sub>i5</sub> | 0,2                    | 1,63  | 0,123   |
| 3                                     | Mortero de nivelación             | R <sub>i4</sub> | 0,02                   | 1,4   | 0,014   |
| 4                                     | Mortero impermeabilizado          | R <sub>i3</sub> | 0,02                   | 0,87  | 0,023   |
| 5                                     | Capa superficial de aire exterior | R <sub>se</sub> |                        |   | 0,05  |
|                                       |                                   |                 |                        | <b>RT1</b>                                      | <b>0,330</b>  |
|                                       |                                   |                 |                        | <b>Valor u</b>                                  | <b>3,031</b>  |

Fuente: elaboración propia

Las propiedades físicas de los materiales son tomados del Listado de materiales del MINVU, los cuales hacen parte de la norma Chilena NCH 853 DE 2007.

Tabla 13 Norma térmica chilena OGCUC 4.1.10.

| Zona | Techumbre |       | Muros |       | Pisos ventilado |       | % Maximo de superficie vidriada respecto a paramentos verticales de |                 |         |
|------|-----------|-------|-------|-------|-----------------|-------|---|-----------------|---------|
|      | U         | Rt    | U     | Rt    | U               | Rt    | Vidrio monolítico   | Doble vidriado  |         |
|      | W/m2K     | W/m2K | W/m2K | W/m2K | W/m2K           | W/m2K |   | 3.6 W/m2K ≥ U > | U ≤ 2.4 |
| 1    | 0,8       | 1,2   | 4,0   | 0,3   | 3,6             | 0,3   | 50%   | 60%             | 80%     |
| 2    | 0,6       | 1,7   | 3,0   | 0,3   | 0,9             | 1,2   | 40%   | 60%             | 80%     |
| 3    | 0,5       | 2,1   | 1,9   | 0,5   | 0,7             | 1,4   | 25%   | 60%             | 80%     |
| 4    | 0,4       | 2,6   | 1,7   | 0,6   | 0,6             | 1,7   | 21%   | 60%             | 75%     |
| 5    | 0,3       | 3,0   | 1,6   | 0,6   | 0,5             | 2,0   | 18%   | 51%             | 70%     |
| 6    | 0,3       | 3,6   | 1,1   | 0,9   | 0,4             | 2,6   | 14%   | 37%             | 55%     |
| 7    | 0,3       | 4,0   | 0,6   | 1,7   | 0,3             | 3,1   | 12%   | 28%             | 37%     |

Fuente: (Damico et al. 2012) pag 4

Tabla 14 Según el código técnico de la construcción la transmitancia térmica máxima y permeabilidad al aire de los elementos de la envolvente térmica en edificios de uso residencial privado

| Parámetro  | Zona climática de invierno |      |      |      |      |      |
|--|----------------------------|------|------|------|------|------|
|  | α                          | A    | B    | C    | D    | E    |
| Transmitancia térmica de muros y elementos en contacto con el terreno <sup>(1)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K] | 1,35                       | 1,25 | 1,00 | 0,75 | 0,60 | 0,55 |
| Transmitancia térmica de cubiertas y suelos en contacto con el aire [W/m <sup>2</sup> ·K]                  | 1,20                       | 0,80 | 0,65 | 0,50 | 0,40 | 0,35 |
| Transmitancia térmica de huecos <sup>(2)</sup> [W/m <sup>2</sup> ·K]                                       | 5,70                       | 5,70 | 4,20 | 3,10 | 2,70 | 2,50 |
| Permeabilidad al aire de huecos <sup>(3)</sup> [m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup> ]                         | ≤ 50                       | ≤ 50 | ≤ 50 | ≤ 27 | ≤ 27 | ≤ 27 |

<sup>(1)</sup> Para elementos en contacto con el terreno, el valor indicado se exige únicamente al primer metro de muro enterrado, o el primer metro del perímetro de suelo apoyado sobre el terreno hasta una profundidad de 0,50m.

<sup>(2)</sup> Se considera el comportamiento conjunto de vidrio y marco. Incluye lucernarios y claraboyas.

<sup>(3)</sup> La permeabilidad de las carpinterías indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa.

Fuente: (Gobierno de España 2013) pag 15

Tabla 15 Valores u de las soluciones constructivas representativas de las viviendas del diagnóstico

| Transmitancia térmica en soluciones constructivas tipo |         |
|--|---------|
| Parámetro  | Valor u |
| Techumbre  | 3,031   |
| Entrepiso (piso ventilado)                             | 2,593   |
| Contra piso (en contacto con el terreno)               | 0,796   |
| Muro   | 2,378   |

Fuente: elaboración propia

Se puede observar en los resultados que las soluciones constructivas no son las adecuadas, los valores U son superiores a los encontrados en el código técnico de la construcción Tabla 14 y la norma térmica chilena OGUC Tabla 13, el factor de forma no favorece térmicamente a aumentar la temperatura interior de la vivienda, al ser mayormente dispersa, posee gran cantidad de pisos ventilados sin aislamiento térmico, tiene soluciones constructivas con un alto valor de masa térmica.

En la Tabla 15 se ve la transmitancia térmica de las soluciones constructivas típicas encontradas en el diagnóstico de la vivienda unifamiliar; en el complejo de techumbre se encontró con un valor u de 3,031 el cual es muy superior a lo que dice el código técnico de la construcción para edificaciones de uso residencial privado, en las diferentes zonas climáticas, encontrando como valor superior un u de 1,20 y también superior de lo que se encuentra en el OGUC, siendo el valor superior para techumbre de u 0,80; en el entre piso y pisos ventilados posee un valor u 2,59, el cual es solo inferior a los de la zona 1 del OGUC que es u 3,6 y esto debido a que es un clima caluroso; la situación para la placa de contra piso en contacto con el terreno es de un valor u 0,79, la cual está en medio las distintas zonas del código técnico de la construcción, esta solución tiene mejor comportamiento térmico en comparación a las demás.

### **6.3 Selección de un caso de estudio representativo**

Se revisó una investigación en donde se definen las tipologías representativas de vivienda por: *“la masividad de su empleo, por las características de sus partidos arquitectónicos, condiciones de implantación y vínculo con las viviendas contiguas, así como también por sus organizaciones formales y espaciales y particularidades tecnológicas”*, (Alías et al. 2010). Siendo la masividad, las partidas arquitectónicas, distribuciones espaciales características importantes, el vínculo con las viviendas contiguas, las organizaciones y la materialidad se le resta importancia al tener condiciones similares en la mayoría de las tipologías analizadas.

Según las viviendas estudiadas la forma de agrupación en todos los casos es adosada, el promedio de m<sup>2</sup> en la vivienda es 107,7 m<sup>2</sup>, el de superficie vidriada al exterior es 15,58 m<sup>2</sup>, la superficie de puertas que dan hacia el exterior es 8,17 m<sup>2</sup>, el factor de forma que tienen, es en su mayoría disperso, la materialidad predominante en la cubierta es placa en concreto, en muros es ladrillo de arcilla macizo y en los entre pisos es placa en concreto macizo con revestimiento en baldosa cerámica, ver Tabla 16.

Tabla 16 Datos generales de las viviendas analizadas y sus promedios

| Nombre proyecto           | Año de construcción | Numero de viviendas | M2 de construcción | M2 de ventanas | M2 de Puertas | Habitaciones | Baños |
|---------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|----------------|---------------|--------------|-------|
| Altamira                  | 2014                | 287                 | 120                | 14,7           | 8,9           | 4            | 2     |
| Bosque madero             | En construcción     | 274                 | 76                 | 14             | 3,96          | 3            | 2     |
| Caminos de aragon         | 2014,2015, 2016     | 317                 | 71                 | 14,18          | 5,36          | 3            | 1     |
| Colina verde              | 2014                | 271                 | 141                | 18,42          | 8,15          | 3            | 4     |
| Colinas del norte         | 2013                | 144                 | 83                 | 13,9           | 4             | 3            | 1     |
| La paz                    | 1995                | 96                  | 125                | 11,8           | 11,9          | 5            | 2     |
| Mistares                  | 1992                | 257                 | 147                | 26,16          | 15,4          | 6            | 3     |
| Panamericana              | En planos           | 74                  | 85                 | 15,3           | 3,96          | 4            | 2     |
| Villa Esperanza           | 1993                | 63                  | 122                | 11,8           | 11,9          | 5            | 2     |
| Promedio                  |                     |                     | 107,7              | 15,5           | 8,17          | 4,1          | 2,1   |
| Promedio 2013 en adelante |                     |                     | 96                 | 15             | 6,6           | 3,3          | 2     |

Fuente: elaboración propia

Al tener la certeza de que se sigue desarrollando vivienda unifamiliar repetitiva en la ciudad de Ipiales, se opta por proponer mejoramiento térmico para vivienda nueva, siendo así una forma para comenzar a cambiar las condiciones de las viviendas; al igual que la implementación de distintas normativas se pretende iniciar la aplicabilidad en nuevas construcciones. Los parámetros sobre los cuales se realizan las estrategias para mejorar el confort térmico interior, son sobre características comunes entre las viviendas analizadas, logrando así, a futuro que su aplicación pueda ser usada en las diferentes tipologías que se construyen en la ciudad; un modelo similar a este, se usó en otra investigación, en donde se analizaron viviendas de Francia e Inglaterra que a pesar de tener características diferentes, usaron estrategias compatibles, (Sdei et al. 2015).

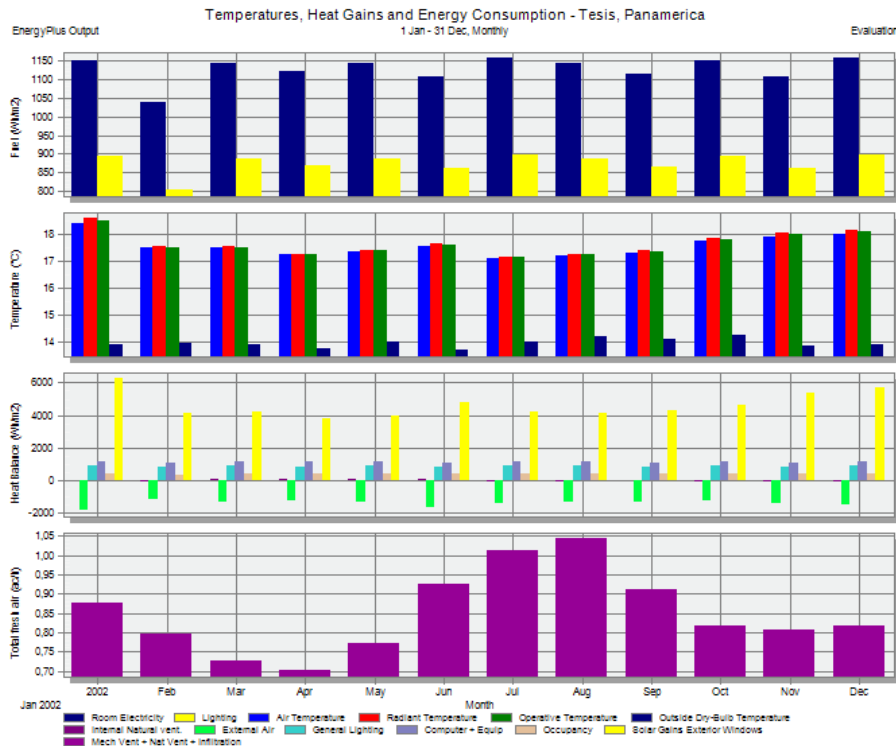
En la gráfica anterior, podemos encontrar que la vivienda que más se acerca al promedio en las distintas características es la tipología de vivienda Altamira; pero si se analiza el promedio de las viviendas después de 2013, es la vivienda Panamericana, que por estar en condición de proyecto en etapa de diseño, se pueden realizar las mejoras, antes que se construya, por ello, parece pertinente hacer el análisis de simulación térmica con esta tipología.

## 7. EXPERIMENTACIÓN (simulación paramétrica)

Según la revisión de las temperaturas en el archivo del clima epw, se encontró que el día más caluroso es el 11 de octubre, el más frío el 29 de noviembre y el que posee mayor fluctuación de temperatura es el 2 de agosto; esto se hizo, para la realización de un análisis detallado en las simulaciones, donde se revisó la temperatura durante todos los días del año, debido a que no hay periodos claros, donde se observen cambios climáticos.

Para la realización de las simulaciones se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones: en el software Design Builder, se usó como motor de cálculo Energy Plus; para ello, se analizaron las soluciones constructivas típicas de la ciudad, con unas infiltraciones de 5 renovaciones por hora, siendo el máximo que permite el software; dejando como base un confort adaptativo para las ventanas, permitiendo que las ventanas se abran y se cierren según la temperatura de confort, sistemas de calefacción o refrigeración desactivados, extracción mecánica de aire apagada, para simular con estrategias pasivas.

### 7.1 Evaluación del caso base mediante simulación paramétrica



Gráfica 12 Datos del comportamiento interior de la vivienda representativa obtenidos mediante Design Builder con el motor de cálculo Energy Plus Fuente: Design Builder

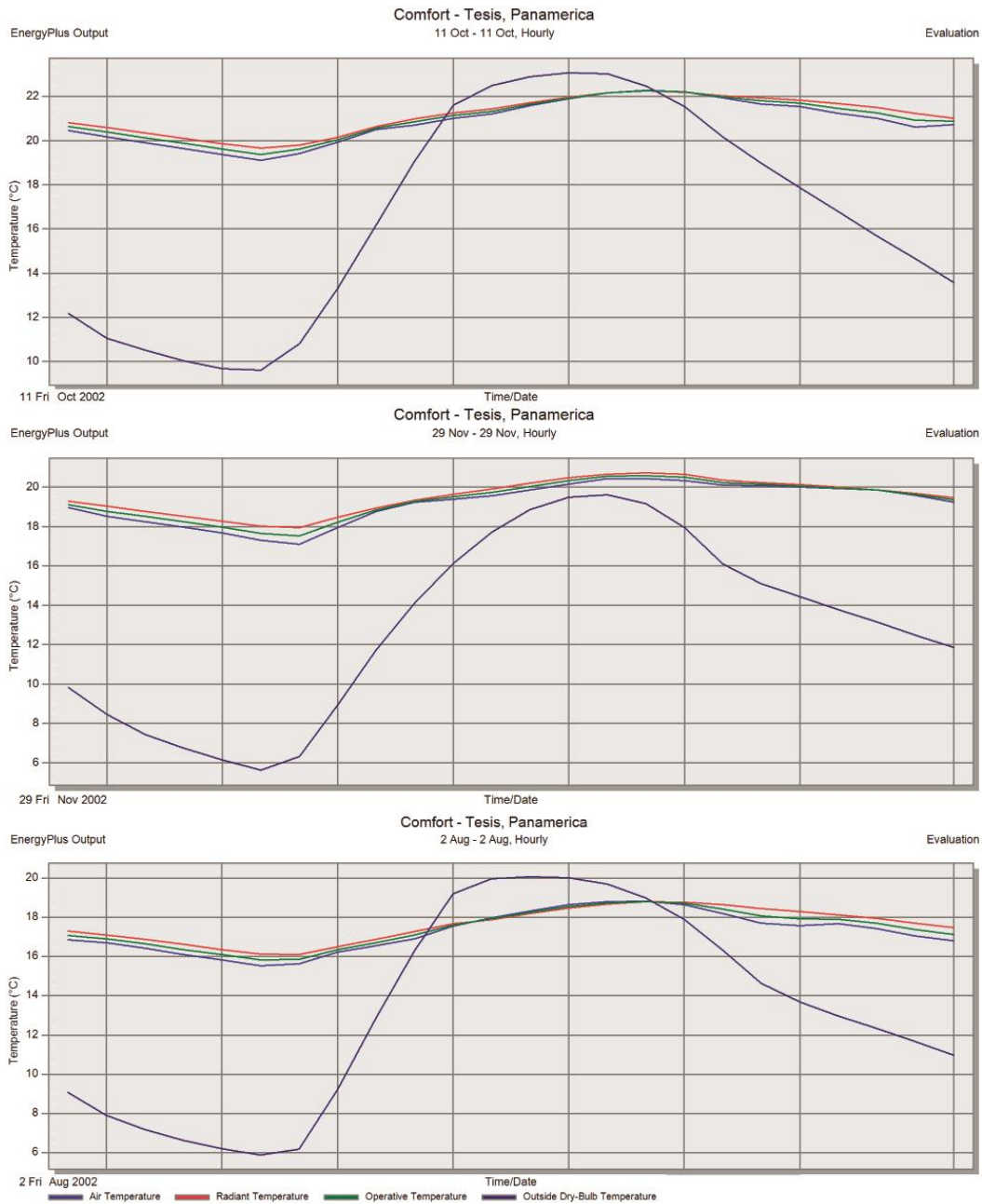
En la Gráfica 12, se puede observar que la mayor cantidad de ganancias interiores son solares, siendo menores las de los electrodomésticos, de iluminación y de la ocupación; el aire exterior genera una disminución significativa de temperatura; las renovaciones por hora, se calcularon con el software automáticamente, teniendo en cuenta que las ventanas son de batiente de operación manual y las infiltraciones son de 5 ach , el rango en los meses con mayores vientos no supero las 1,04 ach, por esto se puede entrever que el mejoramiento de la hermeticidad va a tener una baja incidencia en el comportamiento térmico de la vivienda.

Tabla 17 Datos del comportamiento interior de la vivienda representativa en los diferentes meses del año obtenidos mediante Design Builder con el motor de cálculo Energy Plus

| EnergyPlus Output                           | Temperatures, Heat Gains and Energy Consumption - Tesis, Panamerica |                         |          |          |          |          |          |          |          |          |          | Evaluation |
|---|---|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|------------|
|   | Month   | 1 Jan - 31 Dec, Monthly |          |          |          |          |          |          |          |          |          |            |
| Room Electricity (Wh/m2)                    | 1149,42   | 1037,36                 | 1142,96  | 1120,69  | 1142,96  | 1107,76  | 1155,89  | 1142,96  | 1114,22  | 1149,42  | 1107,76  | 1155,89    |
| Lighting (Wh/m2)                            | 892,88  | 805,88                  | 888,27   | 870,04   | 888,27   | 860,80   | 897,50   | 888,27   | 865,42   | 892,88   | 860,80   | 897,50     |
| Air Temperature (°C)                        | 18,40   | 17,48                   | 17,47    | 17,22    | 17,36    | 17,55    | 17,09    | 17,18    | 17,31    | 17,73    | 17,90    | 18,01      |
| Radiant Temperature (°C)                    | 18,57   | 17,55                   | 17,54    | 17,25    | 17,39    | 17,66    | 17,16    | 17,25    | 17,41    | 17,82    | 18,02    | 18,14      |
| Operative Temperature (°C)                  | 18,48   | 17,51                   | 17,50    | 17,24    | 17,37    | 17,61    | 17,13    | 17,22    | 17,36    | 17,78    | 17,96    | 18,07      |
| Outside Dry-Bulb Temperature (°C)           | 13,88   | 13,96                   | 13,92    | 13,73    | 13,99    | 13,72    | 14,00    | 14,22    | 14,11    | 14,25    | 13,83    | 13,92      |
| Internal Natural vent. (Wh/m2)              | -7,55   | -37,09                  | 53,77    | 62,36    | 78,74    | 106,51   | -60,00   | -62,36   | -13,56   | -87,54   | -60,28   | -118,58    |
| External Air (Wh/m2)                        | -1781,94  | -1147,49                | -1311,99 | -1210,97 | -1281,34 | -1650,16 | -1385,18 | -1353,72 | -1334,50 | -1226,29 | -1430,64 | -1482,42   |
| General Lighting (Wh/m2)                    | 892,88  | 805,88                  | 888,27   | 870,04   | 888,27   | 860,80   | 897,50   | 888,27   | 865,42   | 892,88   | 860,80   | 897,50     |
| Computer + Equip (Wh/m2)                    | 1149,42   | 1037,36                 | 1142,96  | 1120,69  | 1142,96  | 1107,76  | 1155,89  | 1142,96  | 1114,22  | 1149,42  | 1107,76  | 1155,89    |
| Occupancy (Wh/m2)                           | 387,95  | 356,20                  | 391,91   | 387,11   | 393,06   | 379,99   | 400,48   | 394,49   | 383,96   | 393,03   | 377,05   | 393,12     |
| Solar Gains Exterior Windows (Wh/m2)        | 6251,51   | 4147,72                 | 4197,68  | 3774,35  | 3952,84  | 4803,06  | 4208,27  | 4136,72  | 4281,55  | 4604,94  | 5365,92  | 5734,69    |
| (Mech Vent + Nat Vent + Infiltration (ach)) | 0,88  | 0,80                    | 0,73     | 0,70     | 0,77     | 0,93     | 1,01     | 1,04     | 0,91     | 0,82     | 0,81     | 0,82       |

Fuente: Design Builder

La temperatura media exterior en las simulaciones para los distintos meses promedió 4 °C más abajo que la interior, mostrando que la vivienda sirve para protegerse en cierta medida de la intemperie, pero aún por debajo de los rangos de confort térmico, ver Tabla 17. Se simula el caso base hora a hora durante todo el año, en donde se puede ver que solo el 0,8% de las horas, la temperatura operativa se encuentra en rangos de confort, mientras que la temperatura del clima exterior es del 2% de horas de confort; esto se explica porque la temperatura interior es menor que la exterior en la mayoría de casos cuando pasa los 20 °C.



Gráfica 13 Temperatura interior de la vivienda en los días: más caluroso, más frío y con mayor fluctuación de temperatura en el exterior respectivamente Fuente: Design Builder

Se puede observar en la Gráfica 13, que la temperatura al interior de la vivienda es significativamente más estable que la temperatura exterior, teniendo en casi todos los casos la temperatura radiante por encima de la temperatura operativa y la temperatura del aire; solo igualándose o pudiendo superar esta, cuando la temperatura interior es mayor; en estos tres días a pesar de que se encuentra en el mayor tiempo fuera de la temperatura de confort, no es muy alejada la temperatura y al subir no supera los 23 °C.



Se desarrolló una descripción recinto por recinto para poder comparar el comportamiento entre cada uno de ellos y al mismo tiempo con los resultados de las estrategias que mejoren en mayor medida el comportamiento térmico interior; por lo que es necesario mostrar la distribución espacial utilizada y así saber a qué parte de la casa corresponde cada recinto, ver Imagen 10.

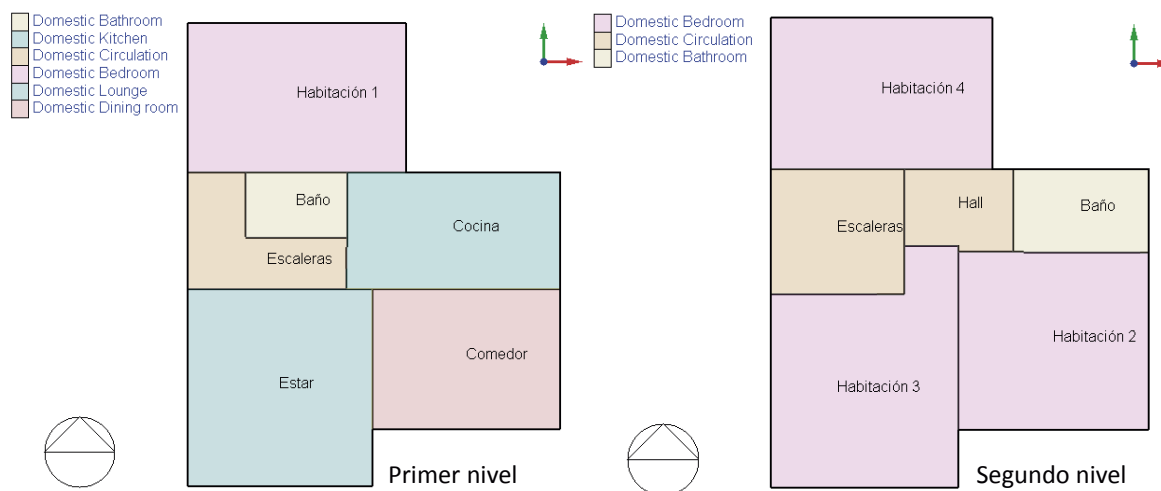


Imagen 10 Plantas del primer y segundo nivel con la distribución utilizada en el software Design Builder  
Fuente: elaboración propia mediante Design Builder

Tabla 18 Comportamiento interior recinto a recinto de la vivienda representativa temperatura operativa y humedad relativa

|          | PRIMER NIVEL          |                  | SEGUNDO NIVEL         |                  |
|----------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
|          | Temperatura operativa | Humedad relativa | Temperatura operativa | Humedad relativa |
|          | °C                    | %                | °C                    | %                |
| Max      | 19,43                 | 58,85            | 17,53                 | 64,99            |
| Min      | 18                    | 47,25            | 16,25                 | 51,66            |
| Promedio | 18,47                 | 53,57            | 16,72                 | 58,96            |
|          | <b>Estar</b>          |                  | <b>Habitación 3</b>   |                  |
| Max      | 20,26                 | 57,74            | 18,12                 | 64,83            |
| Min      | 17,85                 | 47,3             | 15,98                 | 52,1             |
| Promedio | 18,81                 | 52,3             | 16,83                 | 58,39            |
|          | <b>Baño</b>           |                  | <b>Baño 1</b>         |                  |
| Max      | 19,03                 | 58,45            | 16,85                 | 66,18            |
| Min      | 18,07                 | 46,47            | 16,16                 | 51,98            |
| Promedio | 18,33                 | 53,62            | 16,41                 | 60,35            |
|          | <b>Comedor</b>        |                  | <b>Habitación 2</b>   |                  |
| Max      | 20,23                 | 57,78            | 18,03                 | 64,72            |
| Min      | 18,02                 | 47,25            | 16,04                 | 52,02            |

|          |                     |       |                     |       |
|----------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| Promedio | 18,88               | 52,42 | 16,81               | 58,45 |
|          | <b>Cocina</b>       |       | <b>Hall</b>         |       |
| Max      | 19,94               | 57,63 | 17,31               | 65,25 |
| Min      | 18,24               | 46,75 | 16,34               | 51,59 |
| Promedio | 18,86               | 52,33 | 16,67               | 59,35 |
|          | <b>Habitación 1</b> |       | <b>Habitación 4</b> |       |
| Max      | 18,1                | 62,41 | 17,23               | 64,87 |
| Min      | 16,94               | 48,01 | 16,36               | 50,76 |
| Promedio | 17,41               | 57,31 | 16,66               | 59,4  |
|          | <b>Escaleras</b>    |       | <b>Escaleras 1</b>  |       |
| Max      | 19,76               | 57,54 | 17,33               | 65,19 |
| Min      | 18,16               | 46,5  | 16,3                | 51,57 |
| Promedio | 18,72               | 52,3  | 16,66               | 59,32 |

Fuente: elaboración propia en base a los resultados de la simulación paramétrica mediante Design Builder

En la Tabla 18, se puede ver que la humedad relativa esta entre 40 y 66%, lo cual está dentro de rangos aceptables para el confort interior de la vivienda; caso contrario pasa con las temperaturas que en ninguno de los recintos se encontró entre los rangos de confort; se puede observar que el primer piso tiene mayor temperatura que el segundo, la zona de la vivienda en la que se tiene menor temperatura es en la habitación 1 (primer nivel) y habitación 4 (segundo nivel), por ser los espacios que mayor superficie tienen expuesta al exterior y sus ventanas dan hacia el patio.

## 7.2 Realización de un estudio multifactorial a partir de las distintas estrategias propuestas

En la aplicación de las estrategias, se realizaron cambios en la forma de la vivienda, generando un aumento en los m<sup>2</sup> construidos y disminución en los m<sup>2</sup> expuestos a la intemperie, siendo la única modificación que genera transformación en la espacialidad interior, ya que los otros son de diferentes características físico-constructivas, ver Imagen 11.

Parámetros utilizados para simular las diferentes estrategias propuestas:

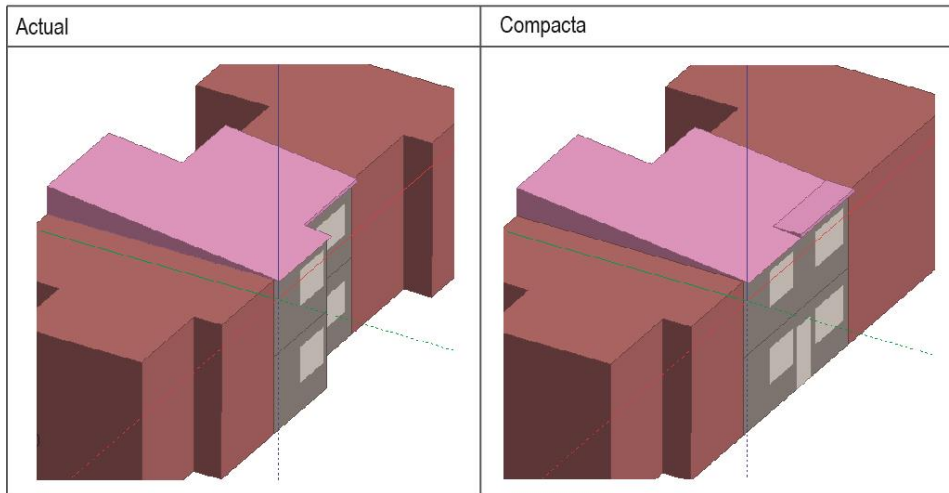


Imagen 11 Factor de forma Fuente: Design Builder

|                  | Actual   | Mejora 1   | Mejora 2  |
|------------------|--|--|---|
| Techumbre        | <p>Inner surface</p> <p>200.00mm Placa de hormigón</p> <p>20.00mm Materialo de nivelación</p> <p>20.00mm Materialo de pegajo</p> <p>Outer surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 2,32</p>  | <p>Inner surface</p> <p>200.00mm Placa de hormigón</p> <p>20.00mm Materialo de nivelación</p> <p>20.00mm Poliestireno de baja densidad</p> <p>20.00mm Materialo impermeabilizado</p> <p>Outer surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 1,11</p>  | <p>Inner surface</p> <p>200.00mm Placa de hormigón</p> <p>20.00mm Materialo de nivelación</p> <p>50.00mm Poliestireno de baja densidad</p> <p>20.00mm Materialo de pegajo</p> <p>Outer surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 0,62</p>  |
| Muro exterior    | <p>Outer surface</p> <p>10.00mm Estuco</p> <p>10.00mm Materialo de nivelación</p> <p>110.00mm ladrillo hecho a maquina</p> <p>10.00mm Materialo de nivelación</p> <p>10.00mm Estuco</p> <p>Inner surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 2,56</p>   | <p>Outer surface</p> <p>20.00mm Materialo impermeabilizado</p> <p>20.00mm Poliestireno de baja densidad</p> <p>110.00mm ladrillo hecho a maquina</p> <p>10.00mm Materialo de nivelación(not to scale)</p> <p>10.00mm Estuco(not to scale)</p> <p>Inner surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 1,16</p> | <p>Outer surface</p> <p>20.00mm Materialo de pegajo</p> <p>50.00mm Poliestireno de baja densidad</p> <p>110.00mm ladrillo hecho a maquina</p> <p>10.00mm Materialo de nivelación(not to scale)</p> <p>10.00mm Estuco(not to scale)</p> <p>Inner surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 0,64</p> |
| Placa contrapiso | <p>Inner surface</p> <p>800.00mm Ripio compactado</p> <p>200.00mm Placa de hormigón</p> <p>20.00mm Materialo de nivelación(not to scale)</p> <p>20.00mm Materialo de pegajo(not to scale)</p> <p>10.00mm Cerámico(not to scale)</p> <p>Outer surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 0,69</p> | <p>Inner surface</p> <p>800.00mm Ripio compactado</p> <p>200.00mm Placa de hormigón</p> <p>20.00mm Materialo de nivelación(not to scale)</p> <p>20.00mm Materialo de pegajo(not to scale)</p> <p>10.00mm Cerámico(not to scale)</p> <p>Outer surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 0,69</p>           | <p>Inner surface</p> <p>800.00mm Ripio compactado</p> <p>200.00mm Placa de hormigón</p> <p>20.00mm Materialo de nivelación(not to scale)</p> <p>20.00mm Materialo de pegajo(not to scale)</p> <p>10.00mm Cerámico(not to scale)</p> <p>Outer surface</p> <p>Valor u (W7m2-K)= 0,69</p>    |

Imagen 12 Transmitancia térmica Fuente: Design Builder

Al encontrar una transmitancia térmica más baja en la placa de contra piso que en las otras soluciones constructivas se dejó igual para las distintas mejoras, modificando solo las soluciones de muro exterior y techumbre, en el caso de la solución 1, agregando 20mm de poliestireno expandido y en la solución 2, agregando 50mm, ver Imagen 12.

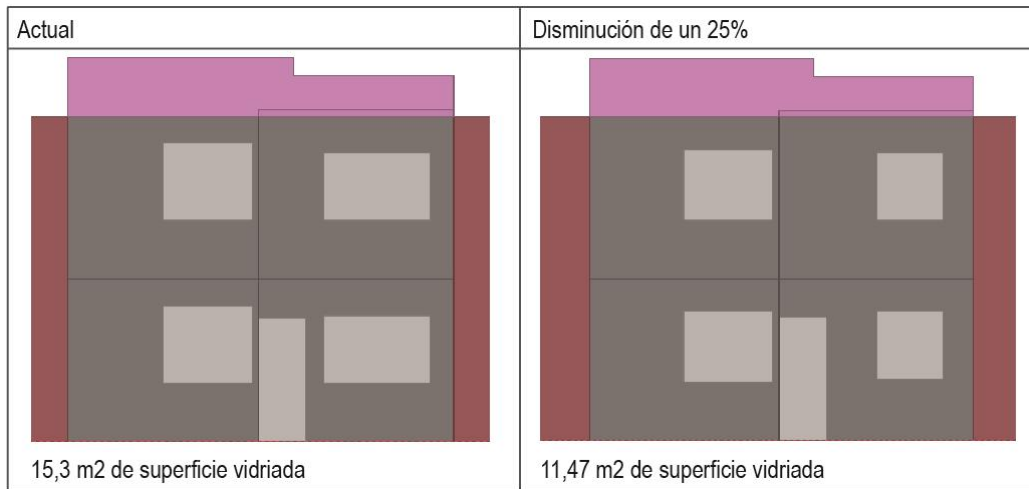


Imagen 13 m2 de superficie vidriada Fuente: Design Builder

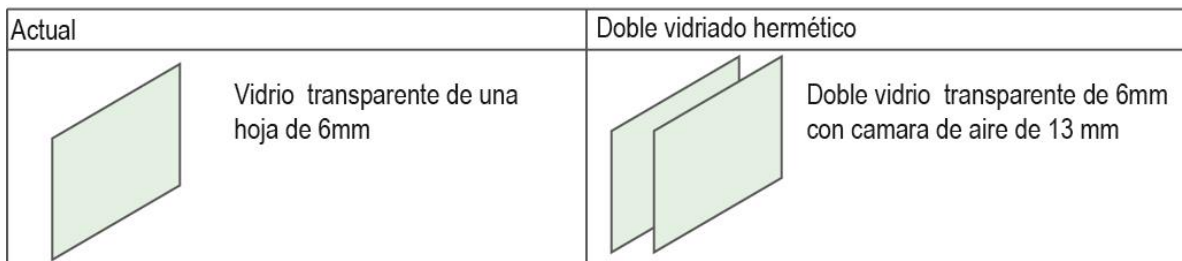


Imagen 14 Tipo de vidrio Fuente: elaboración propia

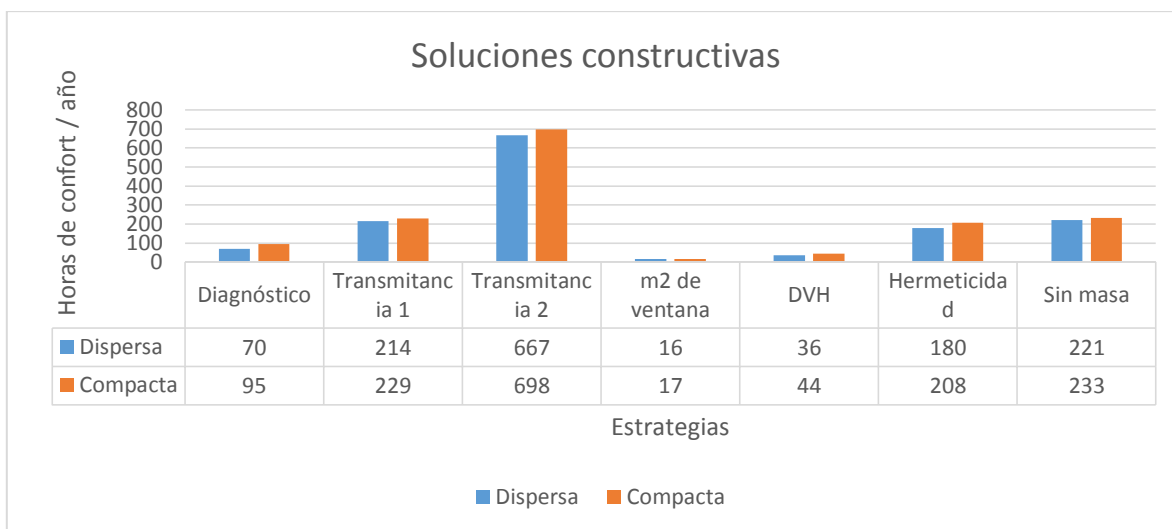
| Actual  | Mejora de hermeticidad  |
|---|---|
| Sistemas HVAC desactivados<br>Ventilación mecánica desactivada<br>Ventilación natural activada<br>Infiltraciones 5 ac/h<br>Cálculo de renovaciones de aire automático | Sistemas HVAC desactivados<br>Ventilación mecánica desactivada<br>Ventilación natural activada<br>Infiltraciones 1 ac/h<br>Cálculo de renovaciones de aire automático |

Imagen 15 Renovaciones de aire Fuente: elaboración propia

|   |  |
|---|--|
| Actual  | Reducción de masa térmica  |
| La solución constructiva actual por ser en ladrillos de arcilla macizos posee alta inercia térmica. | Reducción de masa térmica al interior de la vivienda usando materiales livianos. |

Imagen 16 Masa térmica Fuente: elaboración propia

Teniendo claras las diferentes modificaciones que se desarrollaron, se procedió a realizar las 96 simulaciones, que como se nombra en la metodología, es un estudio multifactorial en donde se relacionan todos los factores para tener conocimiento de las posibles correlaciones que se dan entre las estrategias, y así, poder saber qué solución combinada genera mayor confort en el interior de la vivienda; se simula hora a hora en el periodo de un año y con este se obtiene el número de horas que se encuentra al interior en temperatura de confort, el porcentaje al que corresponde estas y la temperatura operativa promedio interior. (De lo anterior se genera una tabla completa en los anexos).

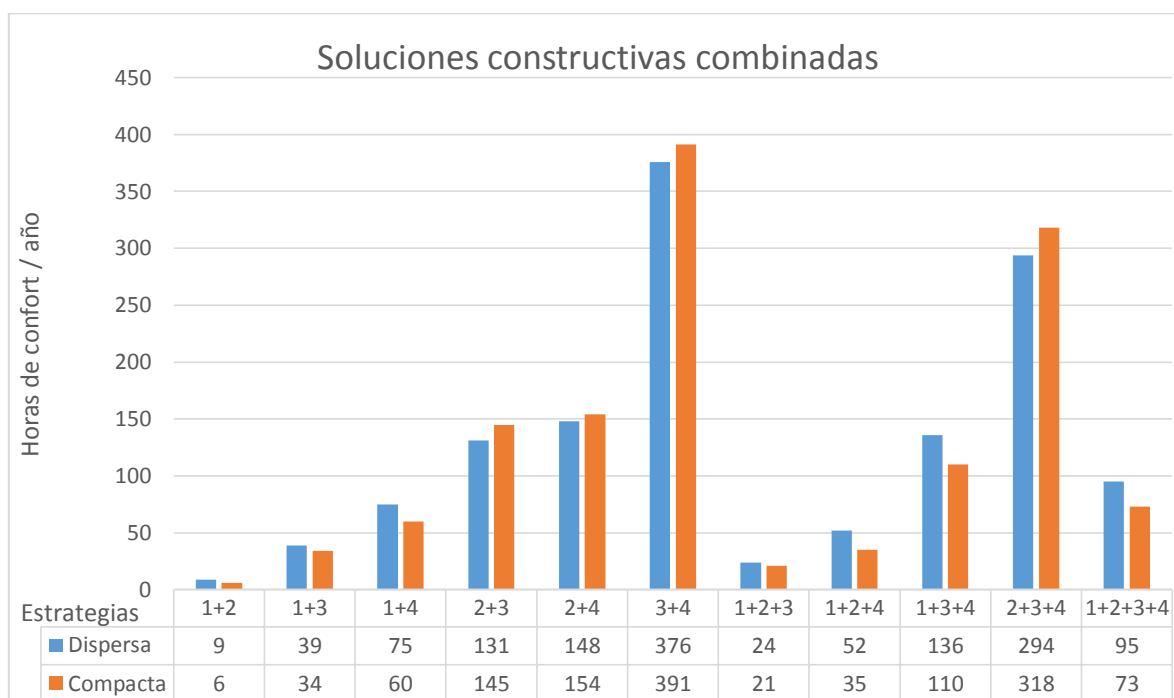


Gráfica 14, Influencia en las horas de confort interior durante el año a las diferentes estrategias individualmente aplicadas a la vivienda como está diseñada actualmente y compacta. Fuente: elaboración propia a partir de simulaciones paramétricas en Design Builder.

Según la Gráfica 14, la estrategia de transmitancia térmica 2 es la que tiene mejor funcionamiento, siendo mejor que la estrategia sin masa térmica, por más del doble de horas de confort interior, teniendo el 7,6% y el 7,9 % de confort para la vivienda dispersa y compacta respectivamente; ambas con una temperatura promedio de 19,2 °C; la segunda estrategia es la disminución de masa térmica, superando por un poco a la transmitancia térmica 1; las soluciones de DVH y de disminución de m2

de ventana mostraron que empeoraron el funcionamiento de la vivienda; la vivienda compacta mostró un funcionamiento levemente mejor que la dispersa en todos los casos.

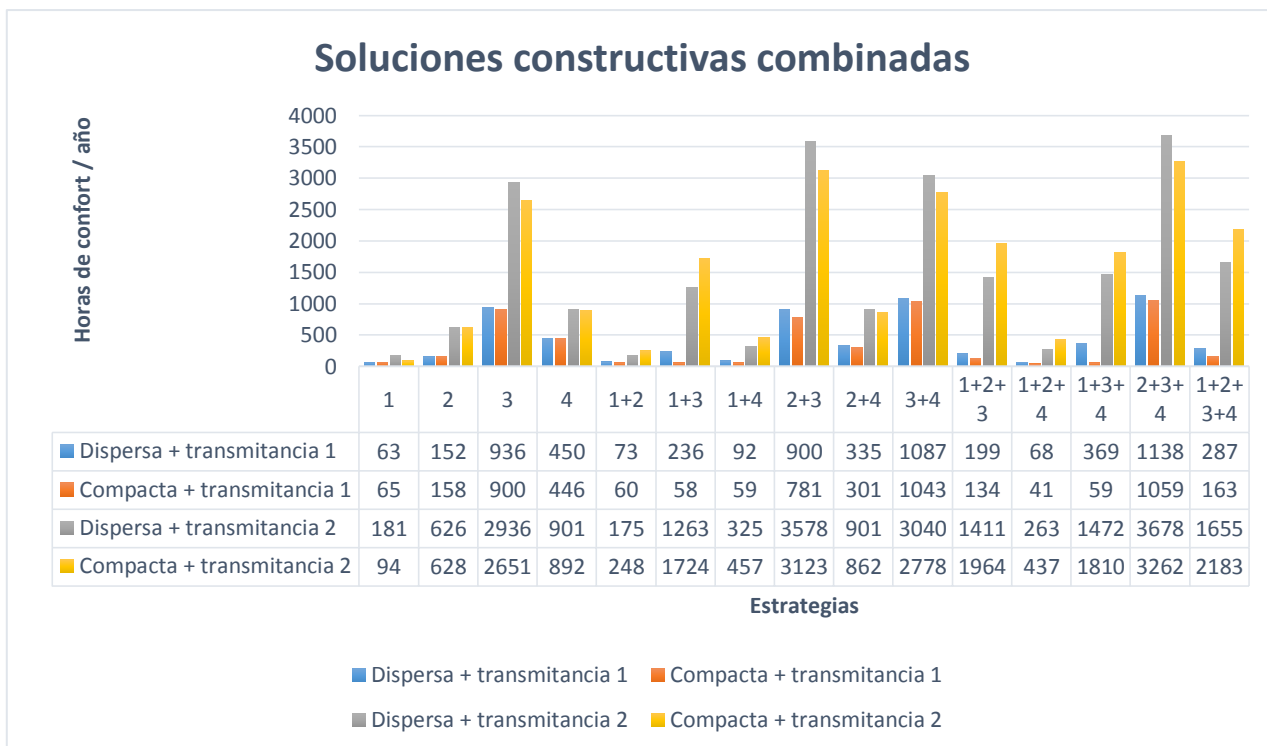
Para efectos de entender los datos con mayor facilidad, se procedió a separar las simulaciones que poseen mejoras de transmitancia térmica con las que no; a continuación se muestra la gráfica de las simulaciones que no utilizan transmitancia térmica entre sus estrategias.



Estrategias: (1) disminución m2 de ventana, (2) DVH, (3) hermeticidad, (4) disminución de masa térmica

Gráfica 15 Soluciones constructivas combinadas Fuente: elaboración propia a partir de simulaciones paramétricas en Design Builder.

En la Gráfica 15, se puede observar que en todas las soluciones constructivas combinadas que tuvieron disminución de m2 de ventana, su funcionamiento empeoró; en las que se usó esta estrategia, la vivienda dispersa se comportó mejor que la compacta; a diferencia del resto en las que sucede lo contrario; en las que se utilizó DVH se observa que el rendimiento es menor que sin el uso del mismo, pero no es tan significativo como en el caso de los m2 de ventana; la mejor solución combinada fue hermeticidad + disminución de masa térmica con un 4,2% y 4,4%, dispersa y compacta respectivamente ambas con 18 °C de temperatura promedio.



Estrategias: (1) disminución m2 de ventana, (2) DVH, (3) hermeticidad, (4) disminución de masa térmica

Gráfica 16 soluciones constructivas combinadas que utilizan las estrategias de transmitancia térmica Fuente: elaboración propia a partir de simulaciones paramétricas en Design Builder.

Se puede ver en la Gráfica 16, que la transmitancia térmica es la estrategia que mayor influencia tiene en el comportamiento térmico interior; al mismo tiempo, se ve cómo ésta, es potenciada al funcionar en conjunto con la hermeticidad; en las soluciones constructivas con más horas de confort térmico se empieza a visualizar que se comporta mejor la vivienda dispersa que la compacta; la disminución de m2 de ventana sigue disminuyendo las horas de confort en todas las soluciones, mientras que el uso de DVH demuestra ser efectivo en combinación con algunos de los otros factores.

## 8. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

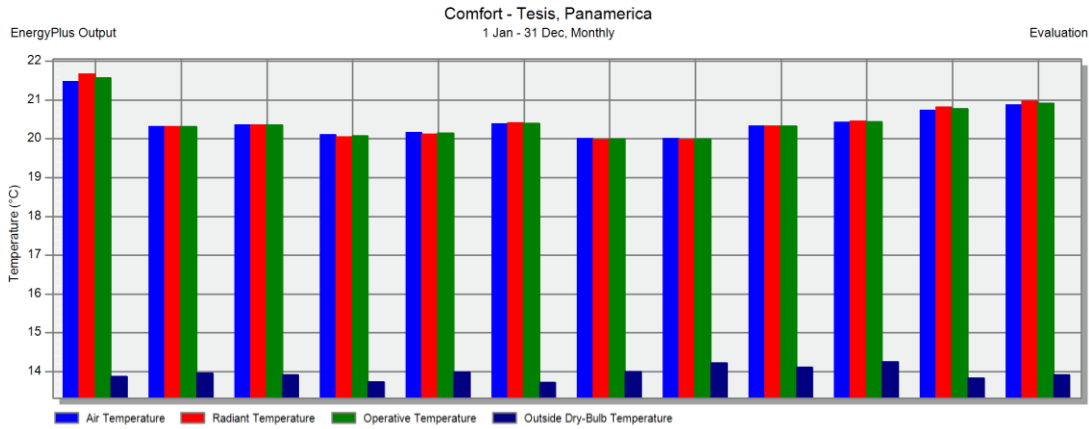
### 8.1 Delimitación de resultados y análisis detallado

La disminución de  $m^2$  de vanos sobre la fachada demostró ser una estrategia que no es efectiva, al relacionarse con las diferentes soluciones en lugar de aumentar las horas de confort, éstas disminuyeron, debido a que las mayores ganancias interiores son de radiación solar; se ve que esta estrategia en todos los casos funcionó mejor en la vivienda compacta que en la dispersa. El doble vidriado hermético en las primeras variaciones con otras estrategias mostró un comportamiento negativo en cuanto a horas de confort; al combinarse con el mejoramiento 2 de la transmitancia térmica mostró mejoras en su comportamiento. La estrategia en la que se mejora la hermeticidad de la vivienda demostró mejoría desde que se utiliza, siendo compatible solo con las mejoras del valor  $u$  y la disminución de masa térmica.

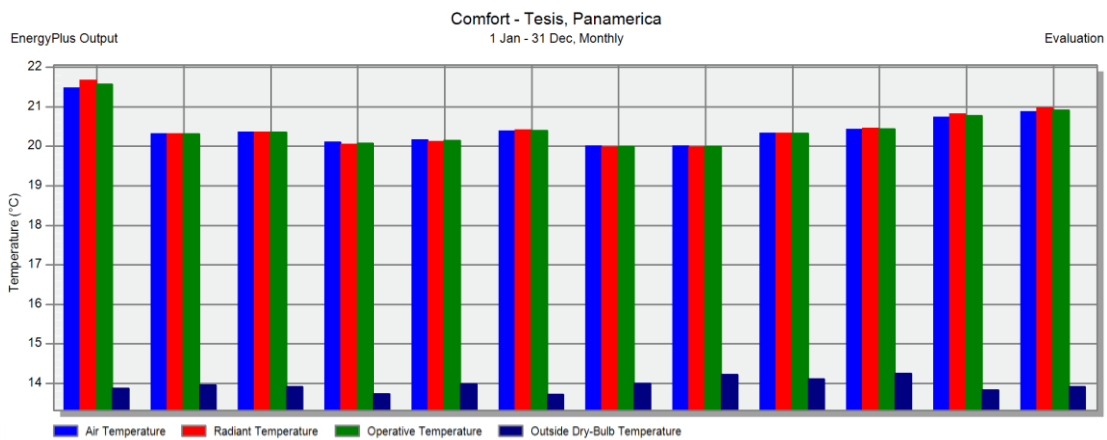
La disminución de masa térmica en elementos constructivos de la vivienda generó aumento de las horas de confort/año, a su vez aumentó la fluctuación de temperatura al interior, generando que esta sea más dependiente de la temperatura exterior, por esta razón se recomienda que si se utiliza como estrategia, sea acompañada por otras para no producir problemas en horas de menor temperatura exterior. La vivienda compacta se comporta mejor que la dispersa, sin embargo, al poseer la mejora de la hermeticidad y la aislación térmica 2, se observa como empieza a funcionar mejor de forma dispersa, para esto hay que tener en cuenta que el aumento de  $m^2$  de fachada expuesta es de 5,5m y dan hacia el costado oriental; La disminución de valores  $u$ , en elementos exteriores, mostró aumento en las horas de confort térmico; se analizaron dos aumentos de la aislación térmica cada vez funcionando mejor, lo cual hace pensar que si se sigue aumentando, se podría seguir mejorando el confort, como se ha demostrado en otro estudio para un clima diferente, (Goia, Tíme y Gustavsen 2015).

Para poder analizar los datos obtenidos mediante las simulaciones, detalladamente se hace una separación de los mismos, en donde se explican las dos mejores soluciones constructivas con respecto a la temperatura; con esto, se determina, cuáles son los aspectos que más acercan la vivienda al confort térmico, comparar con los resultados previamente obtenidos para la vivienda del caso base y con los resultados conseguidos mediante Climate consultant 6.0.



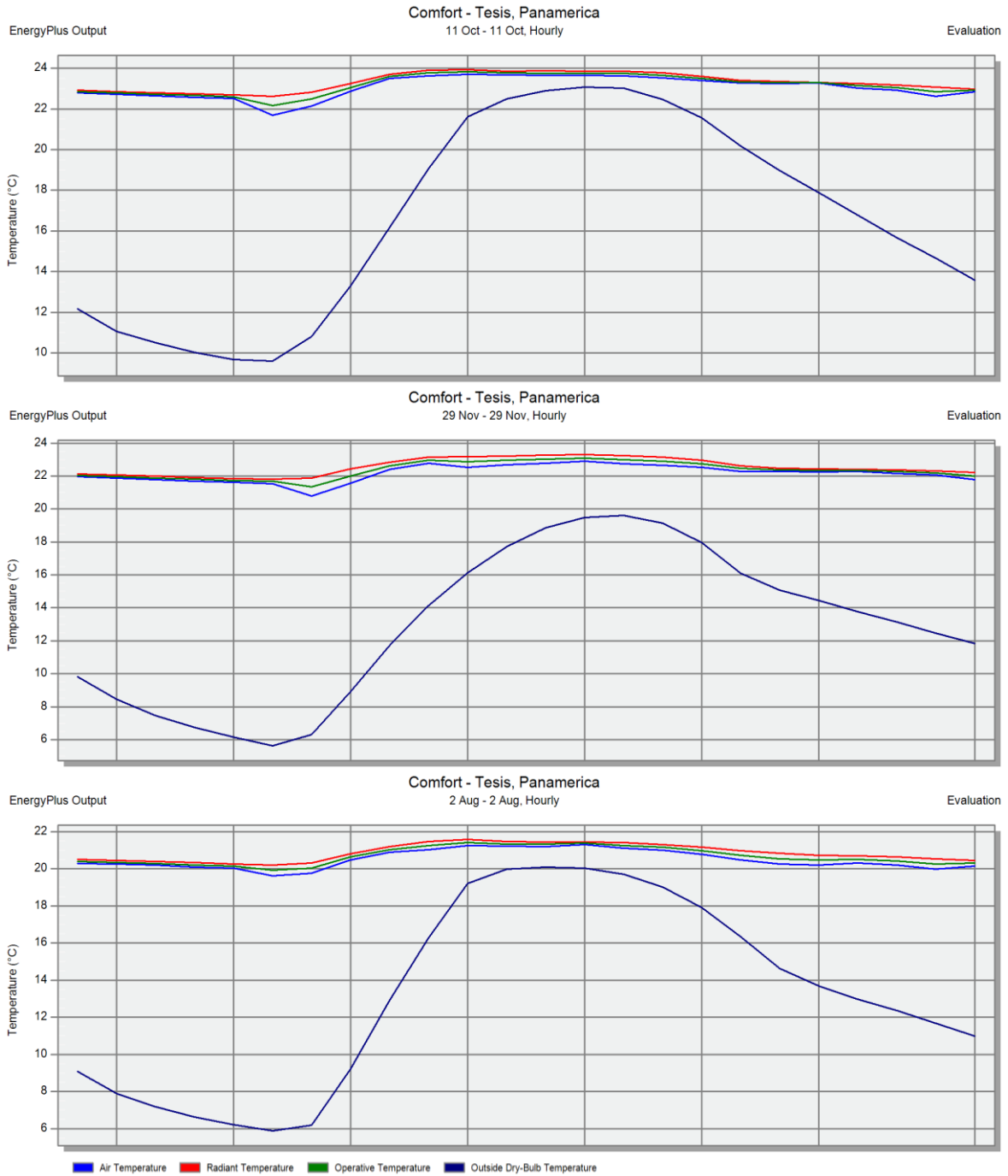


Gráfica 17 Comportamiento térmico mes a mes de la segunda mejor solución Fuente: Design Builder

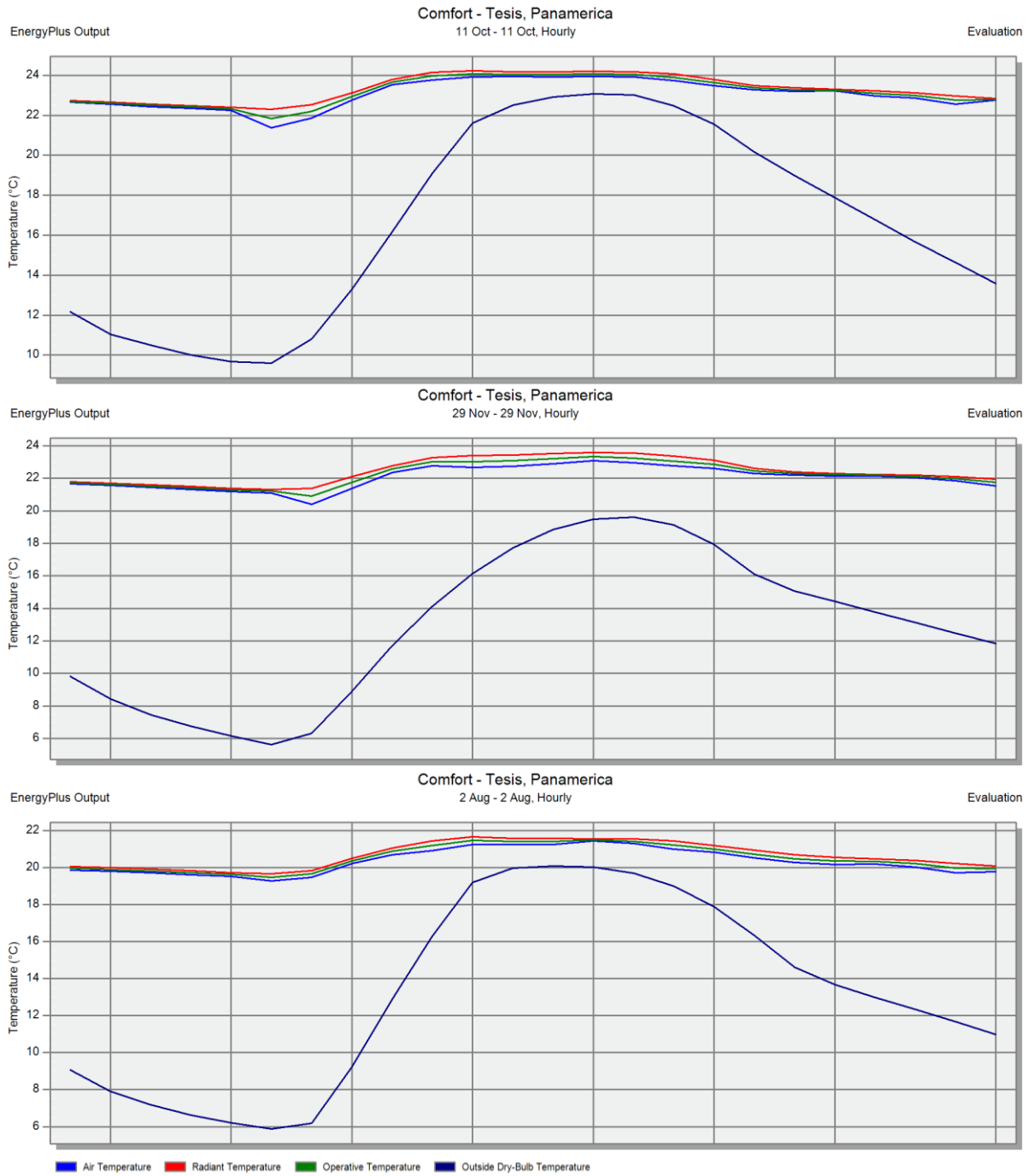


Gráfica 18 Comportamiento térmico mes a mes de la mejor solución Fuente: Design Builder

El resultado que posee el segundo mejor comportamiento térmico, es la vivienda dispersa + transmitancia térmica 2 + DVH + hermeticidad, se encuentra con 3578 horas de confort térmico al interior durante el año, que corresponde a 40,8% y con una temperatura promedio de 20,4 °C, ver Gráfica 17; en el resultado de mejor funcionamiento, vivienda dispersa + transmitancia térmica 2 + DVH + hermeticidad + disminución de masa térmica, se encuentra con 3678 horas de confort térmico en el año, que corresponde a 42% y una temperatura promedio de 20,4 °C ver Gráfica 18; encontrándose el promedio de temperatura muy cerca del rango inferior de la temperatura de confort, en ninguna de las soluciones se encuentra sobrecalentamiento, no se superaron los 24 °C para ninguna de las horas del año.



Gráfica 19 Temperatura interior en el día más cálido, más frío y de mayor fluctuación en el año para la segunda mejor solución Fuente: Design Builder



Gráfica 20 Temperatura interior en el día más cálido, más frío y de mayor fluctuación en el año para la mejor solución Fuente: Design Builder

En la Gráfica 19 y Gráfica 20, se encuentra que la temperatura interior nunca fue inferior a la exterior, la variación de la temperatura entre la primera mejor solución y la segunda, es poca, manteniéndose en todos los casos por debajo de los 2°C día, pese a ser muy similares los dos resultados la segunda mejor solución tiene menor fluctuación y la temperatura es un poco menor.

## 8.2 Comparación de resultados

En la comparación realizada según los resultados obtenidos para los distintos recintos de la vivienda, se encontró que en la vivienda actual, los promedios de temperatura para todos los recintos se encuentra por debajo de la temperatura de confort, la mayor fluctuación de temperatura al interior de uno de los recintos es de 2 °C; el segundo nivel es más frío que el primero promediando 1,75 °C menos que el primer nivel, el baño 1 (el del segundo nivel) tiene la menor temperatura con 16,4 °C de promedio, ver Tabla 18.

El funcionamiento de la solución con el segundo mejor y con el mejor comportamiento, comparando recinto a recinto, tienen un comportamiento muy similar; los promedios de temperatura varían poco, en el recinto en el que se ve la mayor diferencia tiene 0,1 °C, en ambos casos; el promedio del primer nivel se encuentra sobre la temperatura de confort (20,93 °C y 20,94 °C), en donde el único recinto que está por fuera de confort es la habitación 1; en el segundo nivel se promedia una temperatura por debajo de la de confort (19,92 °C y 19,95), teniendo todos los recintos por fuera de la temperatura de confort, siendo el más frío la habitación 4; se encuentran coincidencias de ser este, el sector más frío de la vivienda en los dos niveles, ver Tabla 19 y Tabla 20.

Tabla 19 Comportamiento interior recinto a recinto segunda mejor solución

|          | PRIMER NIVEL          |                  | SEGUNDO NIVEL         |                  |
|----------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
|          | Temperatura operativa | Humedad relativa | Temperatura operativa | Humedad relativa |
|          | °C                    | %                | °C                    | %                |
| Max      | 21,92                 | 51,02            | 21,23                 | 54,87            |
| Min      | 20,50                 | 40,62            | 19,45                 | 43,31            |
| Promedio | 20,94                 | 46,18            | 19,95                 | 49,03            |
|          | Estar                 |                  | Habitación 3          |                  |
| Max      | 22,96                 | 49,34            | 22,05                 | 54,04            |
| Min      | 20,70                 | 40,02            | 19,34                 | 43,14            |
| Promedio | 21,54                 | 44,39            | 20,22                 | 48,04            |

|          | <b>Baño</b>         |       | <b>Baño 1</b>       |       |
|----------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| Max      | 21,71               | 50,81 | 20,35               | 56,90 |
| Min      | 20,59               | 40,21 | 19,09               | 44,70 |
| Promedio | 20,83               | 46,13 | 19,38               | 51,00 |
|          | <b>Comedor</b>      |       | <b>Habitación 2</b> |       |
| Max      | 22,84               | 49,50 | 21,93               | 53,81 |
| Min      | 20,73               | 40,20 | 19,46               | 42,87 |
| Promedio | 21,52               | 44,62 | 20,25               | 47,99 |
|          | <b>Cocina</b>       |       | <b>Hall</b>         |       |
| Max      | 22,72               | 49,27 | 21,10               | 55,09 |
| Min      | 20,90               | 39,82 | 19,60               | 43,40 |
| Promedio | 21,56               | 44,45 | 19,97               | 49,26 |
|          | <b>Habitación 1</b> |       | <b>Habitación 4</b> |       |
| Max      | 19,73               | 56,13 | 19,93               | 56,10 |
| Min      | 18,59               | 42,63 | 19,10               | 43,44 |
| Promedio | 19,15               | 51,37 | 19,49               | 50,42 |
|          | <b>Escaleras</b>    |       | <b>Escaleras 1</b>  |       |
| Max      | 22,58               | 49,30 | 21,14               | 55,01 |
| Min      | 20,84               | 39,72 | 19,62               | 43,35 |
| Promedio | 21,44               | 44,48 | 20,00               | 49,19 |

Fuente: resultados Design Builder

Tabla 20 Comportamiento interior recinto a recinto mejor solución

|          | <b>PRIMER NIVEL</b>   |                  | <b>SEGUNDO NIVEL</b>  |                  |
|----------|-----------------------|------------------|-----------------------|------------------|
|          | Temperatura operativa | Humedad relativa | Temperatura operativa | Humedad relativa |
|          | °C                    | %                | °C                    | %                |
| Max      | 21,79                 | 51,22            | 21,07                 | 54,94            |
| Min      | 20,51                 | 40,47            | 19,38                 | 43,22            |
| Promedio | 20,93                 | 46,21            | 19,92                 | 49,01            |
|          | <b>Estar</b>          |                  | <b>Habitación 3</b>   |                  |
| Max      | 22,85                 | 49,46            | 21,95                 | 54,12            |
| Min      | 20,68                 | 39,83            | 19,25                 | 43,11            |
| Promedio | 21,55                 | 44,36            | 20,22                 | 47,96            |
|          | <b>Baño</b>           |                  | <b>Baño 1</b>         |                  |
| Max      | 21,53                 | 51,01            | 20,02                 | 57,05            |
| Min      | 20,56                 | 40,05            | 18,96                 | 44,65            |
| Promedio | 20,82                 | 46,18            | 19,27                 | 51,17            |
|          | <b>Comedor</b>        |                  | <b>Habitación 2</b>   |                  |
| Max      | 22,73                 | 49,61            | 21,82                 | 53,87            |

|          |                     |       |                     |       |
|----------|---------------------|-------|---------------------|-------|
| Min      | 20,72               | 39,99 | 19,40               | 42,73 |
| Promedio | 21,53               | 44,58 | 20,26               | 47,89 |
|          | <b>Cocina</b>       |       | <b>Hall</b>         |       |
| Max      | 22,61               | 49,38 | 20,90               | 55,04 |
| Min      | 20,92               | 39,62 | 19,57               | 43,22 |
| Promedio | 21,58               | 44,40 | 19,95               | 49,19 |
|          | <b>Habitación 1</b> |       | <b>Habitación 4</b> |       |
| Max      | 19,66               | 56,59 | 19,95               | 56,23 |
| Min      | 18,50               | 42,67 | 19,00               | 43,40 |
| Promedio | 19,06               | 51,64 | 19,42               | 50,54 |
|          | <b>Escaleras</b>    |       | <b>Escaleras 1</b>  |       |
| Max      | 22,46               | 49,39 | 20,92               | 54,94 |
| Min      | 20,88               | 39,49 | 19,59               | 43,16 |
| Promedio | 21,48               | 44,41 | 19,98               | 49,10 |

Fuente: Resultados Design Builder

Según lo observado en la Tabla 22, a pesar de que mejoran bastante los % de confort térmico en la segunda solución y la primera solución con respecto al diagnóstico actual, el potencial de mejora es mucho mayor según los datos obtenidos por Climate Consultant; a pesar de que la solución óptima tiene 1,1% más de confort en el año, la segunda tiene un % mayor en las horas en que la temperatura exterior es menor, como lo muestra la Tabla 21.

Tabla 21 Temperaturas máximas y mínimas para los distintos casos

| Temperatura | Tempera exterior | Diagnóstico actual | Segunda mejor | Primera mejor |
|-------------|------------------|--------------------|---------------|---------------|
| Máxima      | 23,075 °C        | 21,32 °C           | 23,28 °C      | 23,60 °C      |
| Mínima      | 5,425 °C         | 14,02 °C           | 18,67 °C      | 18,00 °C      |

Fuente: archivo epw.

Tabla 22 Porcentajes de horas de confort durante el año según los diferentes horarios y casos

| Horas año  | Climate Consultant | Tempera exterior | Diagnóstico actual | Segunda mejor | primera mejor |
|------------|--------------------|------------------|--------------------|---------------|---------------|
| 11 am-6 pm | 99 %               | 6,20 %           | 1,74 %             | 55,04 %       | 61,91 %       |
| 7 pm-10 am | 60 %               | 0,00 %           | 0,32 %             | 33,78 %       | 32,02 %       |
| Total año  | 73 %               | 1,99 %           | 0,79 %             | 40,8 %        | 41,9 %        |

Fuente: Climate Consultant 6.0 y Design Builder

En la Tabla 23, se observa que los rangos de temperatura al interior de la vivienda son menores el día de mayor fluctuación de temperatura al exterior, que el día en que la temperatura es más fría; al mismo tiempo, da muestra de que la fluctuación de temperatura en la segunda solución, es menor

que la primera, esto es debido a que la primera posee baja masa térmica lo cual hace que la temperatura pueda modificarse con mayor facilidad, lo que también se puede ver en la Tabla 21.

Tabla 23 Comparación de los distintos casos en cuanto a temperaturas en el día más caluroso del año (11 de octubre), día más frío (29 de noviembre) y el de mayor fluctuación (2 de agosto)

| Días del año      | Exterior    | Diagnóstico actual | segunda mejor | primera mejor |
|-------------------|-------------|--------------------|---------------|---------------|
| Más caluroso      | 9-23 °C     | 19-21 °C           | 22-23,2 °C    | 22-23,4 °C    |
| Más frío          | 5,4-19 °C   | 17-21 °C           | 21-22 °C      | 21-23 °C      |
| mayor fluctuación | 5,8-20,2 °C | 15,5-19 °C         | 20-21 °C      | 19,5-21,5 °C  |

Fuente: Design Builder

## 9. EXPERIMENTACIÓN EN AGRUPACIONES

La vivienda se simula en forma adosada por los costados oriente y occidente, siendo la situación más común encontrada, ver Imagen 17; para comprobar cuál es la forma óptima se desarrollan algunos cambios en la agrupación: aislada, pareada (adosada solo por un costado) y adosada por tres costados, ver Imagen 1718, Imagen 19 e Imagen 1920; para terminar, se hacen variaciones en la orientación con la agrupación que funcionó mejor.

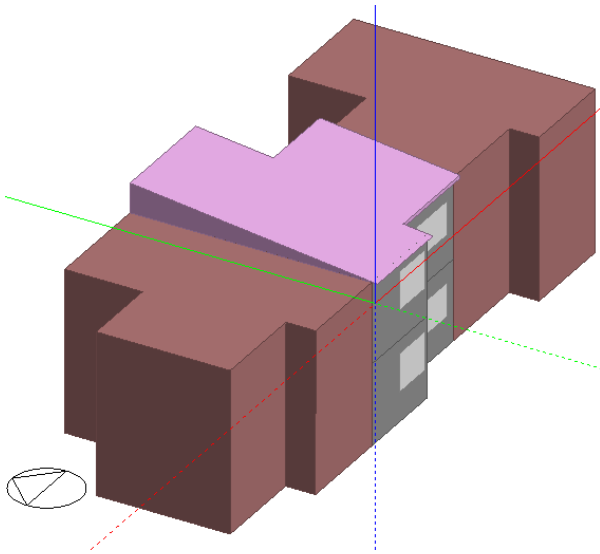


Imagen 17 Vivienda adosada por oriente y occidente

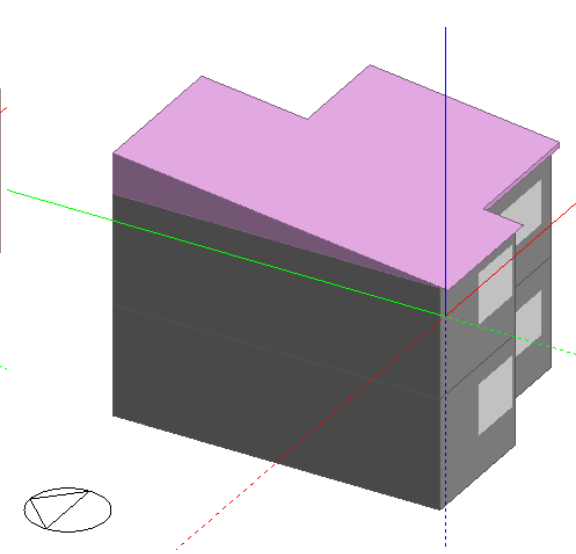


Imagen 18 Vivienda aislada

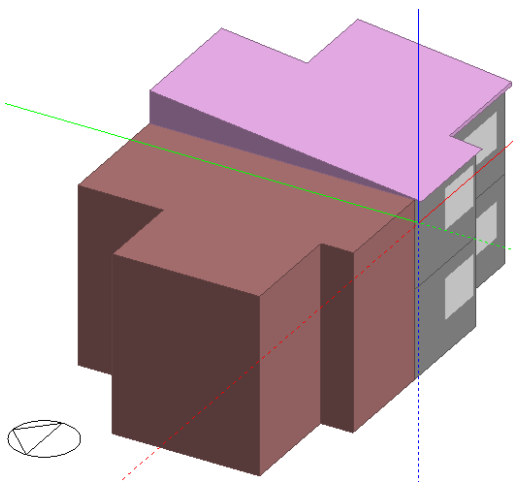


Imagen 19 Vivienda pareada

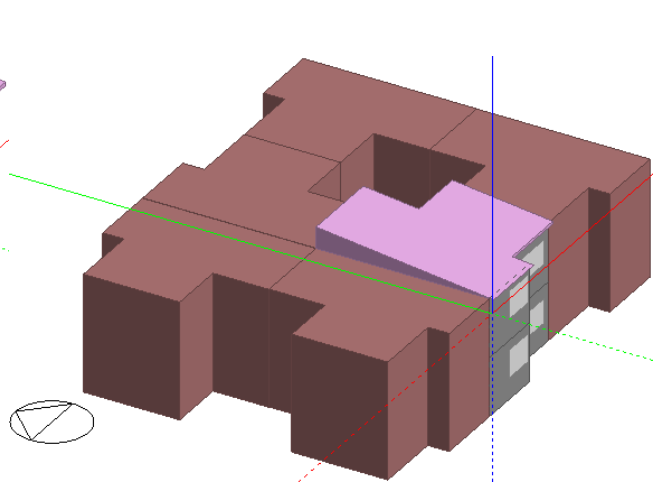
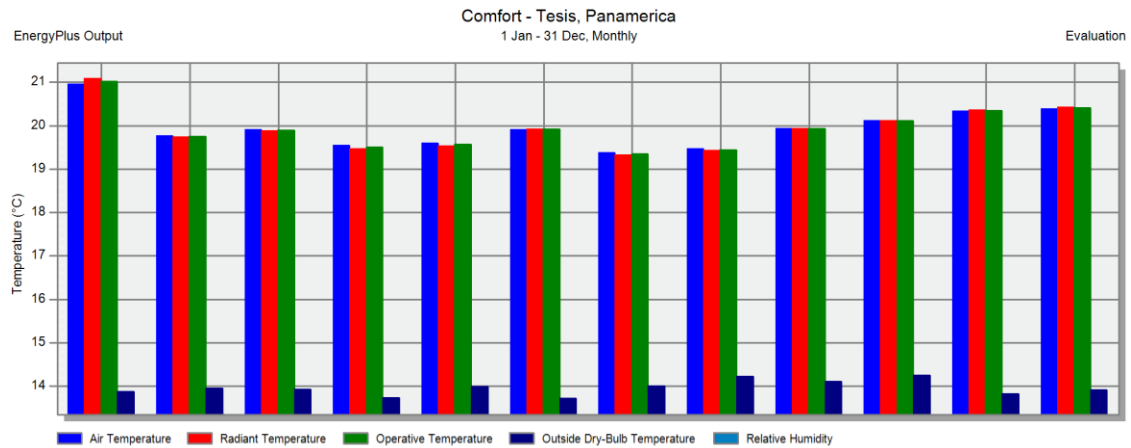


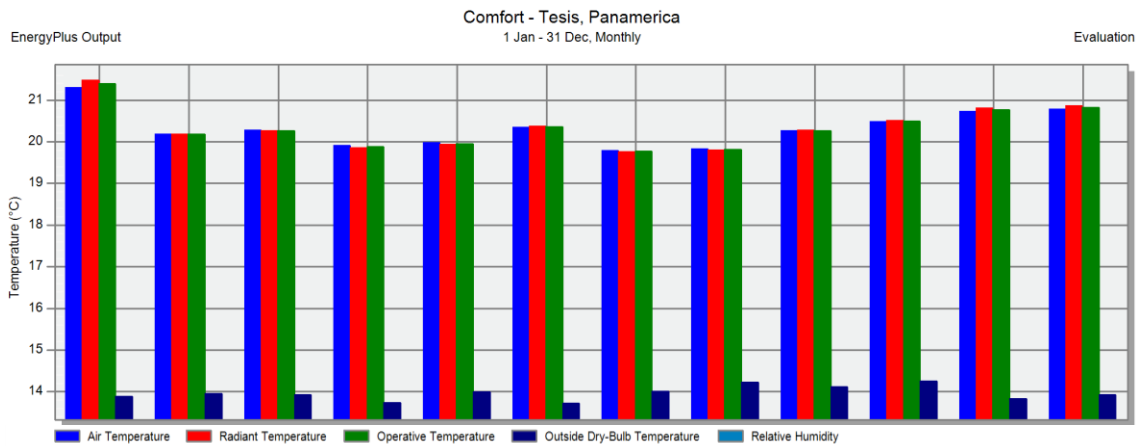
Imagen 20 Vivienda adosada por 3 costados

Fuente: Design Builder

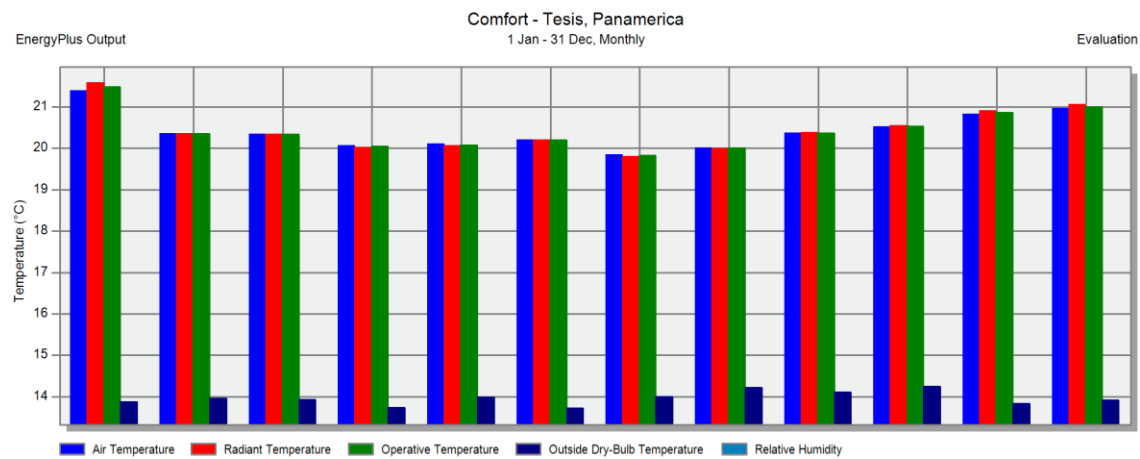




Gráfica 21 Resultados mes a mes vivienda aislada Fuente: Design Builder

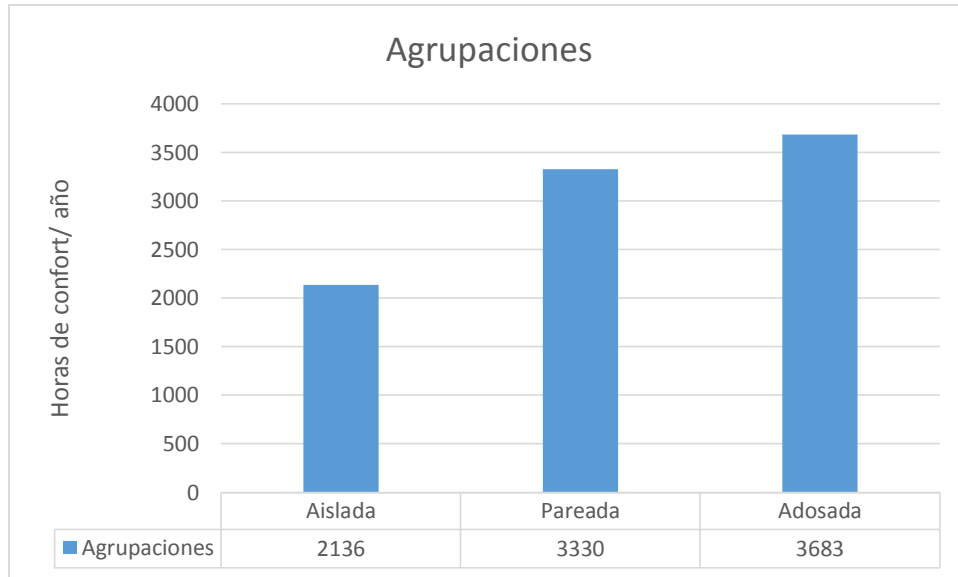


Gráfica 22 Resultados mes a mes vivienda pareada Fuente: Design Builder



Gráfica 23 Resultados mes a mes vivienda adosada Fuente: Design Builder

En los promedios de temperatura mes a mes, la vivienda aislada, tiene la temperatura inferior, con relación a las distintas formas de agrupación, ver Gráfica 21; en la vivienda pareada la temperatura es menor que la de la agrupación adosada por dos costados y tres costados; sin embargo, estas 3 formas de agrupación, se encuentran entre los rangos de confort térmico en 4 meses, enero, octubre, noviembre y diciembre, ver Gráfica 22 y Gráfica 23.

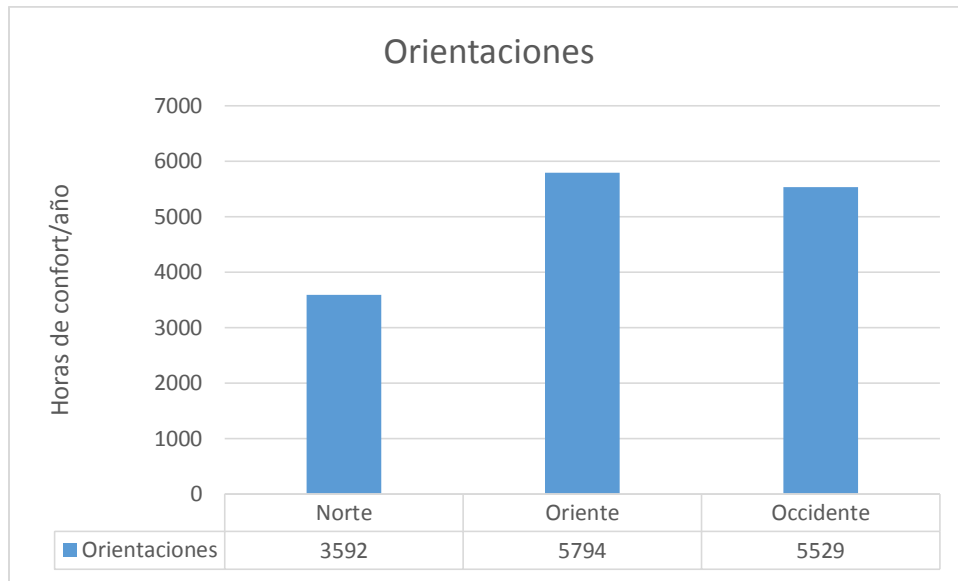


Gráfica 24 Resultados de las diferentes formas de agrupación Fuente: Design Builder

Entre las diferentes formas de agrupación, se deduce que, entre menor superficie expuesta a la intemperie aumentan las horas de confort/año y con ello los °C que se promedian al interior de la vivienda. Con los resultados obtenidos en las distintas agrupaciones orientando la fachada principal hacia el sur, la agrupación que posee un comportamiento óptimo es la adosada por tres costados, ver Gráfica 24; con esta, se procede a simularla en diferentes orientaciones, norte, oriente y occidente.

En la Gráfica 25, se muestran los resultados que se obtuvieron de las diferentes orientaciones, en donde la fachada principal hacia el norte se comporta levemente peor que hacia el sur; en cambio, orientada hacia el oriente y occidente mejora considerablemente, esto debido a tener mayor radiación directa sobre la fachada, ya que el sol sale por el oriente y se oculta por el occidente, con una muy pequeña inclinación hacia el norte o el sur dependiendo de la época del año y con esto se logran mayores ganancias solares, ver Imagen 4, carta solar de Ipiales. Como queda evidenciado en la Tabla 24, mejorando la agrupación y orientación de las viviendas, se puede llegar hasta un 66,14%

de horas de confort térmico en el año, con las estrategias propuestas anteriormente; llegando hasta un 7% menos que lo obtenido mediante el software Climate Consultant.



Gráfica 25 Resultados de las diferentes orientaciones en la agrupación adosada Fuente: Design Builder

Tabla 24 Porcentaje de horas de confort/año en las distintas orientaciones de la solución óptima pareada por 3 costados

| Porcentaje de horas de confort/año |       |   |
|------------------------------------|-------|---|
| Sur                                | 42,04 | % |
| Norte                              | 41,00 | % |
| Oriente                            | 66,14 | % |
| Occidente                          | 63,12 | % |

Fuente: elaboración propia

## 10. CONCLUSIONES

Algunas de las correlaciones entre diferentes estrategias, generan una mejora exponencial en el comportamiento térmico al interior de la vivienda; esto se da por ser un clima sin estaciones, dando la posibilidad de generar estrategias solo para aumentar la temperatura, a diferencia de un clima estacionario donde las estrategias se equilibran, las más óptimas para invierno no son tan eficientes para verano y viceversa; teniendo menor impacto en el mejoramiento de la temperatura interior. Es así como se puede ver que se pasa de unos porcentajes muy bajos de confort térmico interior al año a unos bastante altos, con unos cambios que no representan una gran complejidad constructiva; siendo así la pertinencia de evaluar estos mismos en otro tipo de edificación, en climas similares y asociado a cómo podría generar un cambio en la ciudad si se llevara no solo a vivienda nueva sino también a mejoramiento de la ya existentes.

Una estrategia de mejoramiento térmico que tiene un efecto negativo funcionando sola, puede generar mejoras al correlacionarse con otras diferentes, es por esto que su implementación no se debería dar de forma aislada, si no, como una solución en conjunto. Como es el caso de la solución de la ventana termo panel, en la cual funcionando sola disminuía las horas de confort térmico de la vivienda, desde que se juntó con otros factores como mejora en la hermeticidad y aumento de la aislación térmica; se visualiza que genera un aporte en el aumento de la temperatura interior.

Se encontró que las horas/año de confort interior se pueden aumentar si se aplican algunos cambios, al mejorar las condiciones constructivas de la vivienda, también se puede aumentar la superficie vidriada para aumentar las ganancias solares, teniendo en cuenta que esto también puede aumentar las pérdidas, las cuales se pueden controlar mediante mejoras en la hermeticidad y DVH; con esto se podrían realizar nuevas simulaciones en donde se encuentre un balance entre el aumento de la superficie vidriada y mejora térmica para verificar cual es la superficie óptima. Se podrían disminuir más los valores  $u$  y con ello aumentar la temperatura interior, con niveles superiores de aislación térmica en la cubierta, como se utilizan tanto en la norma térmica Chilena como en el código de la construcción, en el segundo nivel también se puede aumentar la aislación ya que se comporta peor que el primero.

Se pudo comprobar al desarrollar el diagnóstico de la vivienda, el planteamiento de estrategias pasivas y una forma de agrupar que optimice el funcionamiento, que los sistemas pasivos utilizados en la vivienda unifamiliar repetitiva, pueden tener gran mejoría en el comportamiento térmico

interior, siendo de interés, al no necesitar de un alto gasto energético para mantener un espacio dentro de los rangos de confort térmico. Demostrando así que se cumple la hipótesis planteada.

En el uso de Design Builder, como herramienta de simulación térmica dinámica se pudo encontrar que al realizar un análisis de todas las horas con todas las temperaturas y tener un registro de las temperaturas de los espacios contiguos, se generan datos bastante confiables; así mismo para asegurar que los datos del archivo climático son acertados se comparan estos con los del IDEAM, dando que las temperaturas tienen una diferencia de solo 0,5°C en promedio, siendo superior la temperatura del archivo epw usado en las simulaciones y en Climate Consultant.

La solución constructiva para la vivienda que posee la segunda mayor cantidad de horas de confort térmico al interior, tiene alta masa térmica, al poseer muros de mampostería macizos; es por esto que logra mayores horas de confort térmico interior en las horas en que la temperatura exterior es más baja (entre 7pm y 10 am), en este periodo de tiempo los habitantes pasan más horas al interior de la vivienda y es en donde se necesita mayor protección de la intemperie; por estos factores podría ser más adecuada, que la solución que se enmarca como óptima en esta investigación.

A pesar de que se encuentra en los resultados que la mejor solución de agrupación es la adosada por 3 costados, ésta solo aumenta 3 horas el confort térmico interior al año, con respecto a la adosada por 2 costados, aunque disminuya gran superficie expuesta al exterior; esto sumado, a que al unirse los distintos factores, funciona mejor la vivienda dispersa que compacta, teniendo algunas diferencias con la bibliografía revisada para condiciones climáticas diferentes. Demostrando así que el comportamiento de ninguna estrategia se puede dar como evidente sin su respectiva comprobación y análisis.

Con la disminución de m<sup>2</sup> de superficie vidriada se esperaba un resultado contrario al encontrado, suponiendo que al tener menor superficie expuesta al exterior se podrían aumentar las horas de confort térmico; se encontró que por las condiciones climáticas en esta zona es más efectivo aumentar las ganancias solares, que la disminución de superficie vidriada. Por lo que la mejor forma para llegar a mayores horas de confort térmico interior es disminuyendo pérdidas exteriores y al mismo tiempo aumentando las ganancias.

Se plantea que se pueden mejorar las condiciones de confort térmico al interior de la vivienda y se logra hasta cierto punto, sin embargo al ver los resultados de esta investigación, se piensa que sería pertinente evaluar estrategias activas de bajo consumo energético, pudiendo evaluar su factibilidad

con respecto a las pasivas y analizando la pertinencia de la incorporación de estas en la construcción de vivienda.

Para países como Colombia que hasta ahora está en la implementación de la primera etapa de su normativa de ahorro energético para edificaciones, este tipo de investigaciones tienen una gran relevancia, teniendo en cuenta que la norma solo establece 4 climas básicos, que no consideran la realidad de la diversidad climática del país y aunque el proceso esté en su fase inicial, debe ser exigente, para poder avanzar de manera rápida y conseguir logros que generen notables mejoras ambientales; pudiendo ver grandes deficiencias en el planteamiento de la actual norma de ahorro de agua y energía que a pesar de ser obligatoria en edificaciones nuevas diferentes a vivienda vis y vip, sus exigencias son laxas y no poseen una forma de comprobar el funcionamiento de las mismas; en este caso se puede ver como el sistema de porcentajes aplicado por estrategias individuales es poco funcional, al no entender la importancia de las correlaciones y el funcionamiento en conjunto de las construcciones.

#### **FUTUROS TRABAJOS**

En la actual norma de ahorro de agua y energía Colombiana se habla de soluciones que podrían incidir en un porcentaje de ahorro energético, al ser desarrollados en climas ecuatoriales que no poseen estaciones, se podría estudiar qué correlaciones tienen las soluciones propuestas en la misma norma.

Realización de análisis de rangos de confort mediante encuestas en sitios para tener un acercamiento al confort térmico adaptativo en clima ecuatoriales.

Mejoramiento térmico de viviendas unifamiliares ya construidas a partir de estrategias pasivas para clima ecuatorial de alta montaña.

Comparación de distintas tipologías de vivienda, con soluciones óptimas de mejoramiento térmico para verificar la aplicabilidad de estas soluciones.

Mejoramiento térmico a partir de estrategias pasivas en diferentes tipologías de edificios (vivienda multifamiliar, edificios de la salud, edificios educacionales, edificios de oficinas) para un clima ecuatorial frío de alta montaña.

Estudio del factor de forma en la vivienda en un clima ecuatorial de alta montaña, aplicando mejoras en la transmitancia térmica y hermeticidad, con comprobación de resultados para las diferentes orientaciones.

Incorporación de sistemas activos, que puedan aumentar las renovaciones de aire al interior de la vivienda y el tiempo en que se encuentra la vivienda dentro de los rangos de confort térmico.

Un estudio de costo de retorno de las diferentes estrategias pasivas, incluyendo algunos sistemas activos de bajo consumo energético, como intercambiadores de calor o bomba de calor.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

- ALBATICI, R. y PASSERINI, F., 2010. Building Shape and Heating Requeriments : a Parametric Approach in Italian Climatic. *CESB10 Prague*, no. 2007.
- ALÍAS, H.M., JACOBO, G.J., GALLIPOLITI, V.A., MARTINA, P.E., CORACE, J.J., AEBERHARD, M.R. y BERNARDO, A. Di, 2010. Relevamiento del parque habitacional social de resistencia y corrientes y su desempeño termico: monitoreo y simulaciones. *Renovables, Energías*, vol. 14.
- ALVARADO, R.G., D'AMICO, F.C., VALIENTE, E.E., KELLY, M.T., DIAZ, M. y WANDERSLEBEN, G., 2013. Diseño Integrado para Viviendas de Alto Desempeño (Casa+). *Proceedings of the XVII Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics - SIGraDi: Knowledge-based Design* [en línea], vol. 1, pp. 629-633. DOI 10.5151/despro-sigradi2013-0124. Disponible en: <http://www.proceedings.blucher.com.br/article-details/14210>.
- ÁLVARADO, R.G. y GONZÁLEZ, A., 2014. Condiciones de forma y desempeño energético de viviendas unifamiliares Form conditions and energy performance of single-family housing in Resumen. *Revista INVI*, vol. 28, no. 80, pp. 111-141.
- Anexo No.1 Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones. *Decreto 1077 MINISTERIO DE VIVIENDA Y DESARROLLO*, 2015. no. 1.
- BASTO, J.F., 2002. *Latitudes 7 Geografía de América*. Bogotá: s.n.
- BEDOYA, C.M., 2012. Viviendas de Interés Social y Prioritario Sostenibles en Colombia VISS y VIPS. *Medellín*, pp. 27-36. ISSN 1988-0928.
- BERNARDO., A. Di, FILIPPÍN, C. y D. PIPA, 2011. DESEMPEÑO TÉRMICO-ENERGÉTICO DE UN PROTOTIPO DEMOSTRATIVO DE VIVIENDA DE INTERÉS SOCIAL EN CÓRDOBA, ARGENTINA. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. Vol. 15.
- BETANCOURT, C., 2012. Optimización geométrica de vanos residenciales para el trópico con aplicación de algoritmos genéticos y diseño paramétrico. , vol. 10, no. 22, pp. 231-238.
- BRAVO, G. y GONZÁLEZ, E., 2001. Confort termico en el tropico. Hacia un estandar en viviendas naturalmente ventiladas. *Informacion Tecnologica*, vol. 12, no. 5, pp. 169-174. ISSN 07180764.
- CAMARA DE COMERCIO DE IPIALES, 2011. ESTUDIO SOCIOECONÓMICO DE IPIALES. . S.I.:
- CELIS, F., ESCORCIA, O., DÍAZ, M. y GARCÍA, R., 2012. Incidencia de la Forma y Envoltente en el Desempeño Térmico de las Viviendas del Centro-Sur de Chile. *Habitat sustentable*, vol. 2, no. 2, pp. 19-33.
- CITEC UBB y DECON UC, 2014. *Manual de Hermeticidad al aire de Edificaciones*. S.I.: s.n. ISBN 9789569275272.
- DAMICO, F.C., ALVARADO, R.G., KELLY, M.T., OYOLA, O.E., OYOLA, O.E. y DIAZ, M., 2012. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. *Arquiteturarevista*, vol. 8, no. 1, pp. 62-75. ISSN 18085741. DOI 10.4013/arq.2012.81.07.
- DANE, 2005. Cnso general, Perfil general Ipiales Nariño. ,



- DARGAHI-ZABOLI, M. y ALIZADEH, R., 2014. Using dynamic model for determination of heat losses in cold weather from a typical house in Tabriz constructed by lightweight concrete blocks. *Energy Efficiency*, vol. 7, no. 4, pp. 609-626. ISSN 15706478. DOI 10.1007/s12053-013-9243-5.
- DESIGNBUILDER SOFTWARE LTD, 2016. *Design Builder v.4.7.0.027*. 2016. S.l.: s.n.
- DJONGYANG, N., TCHINDA, R. y NJOMO, D., 2010. Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no. 9, pp. 2626-2640. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2010.07.040.
- ENERGY SAVING TRUST, 2006. Energy efficient ventilation in dwellings – a guide for specifiers Contents. , pp. 20.
- ESCORCIA, O., GARCÍA, R., TREBILCOCK, M., CELIS, F. y BRUSCATO, U., 2012. Mejoramientos de envolvente para la eficiencia energética de viviendas en el centro-sur de Chile. *Informes de la Construcción*, vol. 64, no. 000, pp. 563-574. ISSN 0020-0883. DOI 10.3989/ic.11.143.
- ESLAVA, J., 1993. *Climatología y diversidad climática de Colombia*. 1993. S.l.: s.n.
- ESLAVA, J., 1994. Climatología del Pacífico colombiano. *Academia colombiana de ciencias geofísicas, Colección Eratóstenes.*, pp. 79.
- FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS, 2010. NARIÑO.CAFEDECOLOMBIA.COM. *Ubicación de Nariño Colombia*.
- FIGUEROA, R., BOBADILLA, A., BESSER, D., DIAZ, M., ARRIAGADA, R. y ESPINOZA, R., 2013. Air infiltration in Chilean housing : A baseline determination. *PLEA 2013 Munich: Sustainable Architecture for a Renewable Future*, no. September.
- FRONTCZAK, M. y WARGOCKI, P., 2011. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment* [en línea], vol. 46, no. 4, pp. 922-937. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2010.10.021. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.021>.
- FUNDACIÓN DE LA ENERGÍA DE LA COMUNIDAD DE MADRID, 2011. Guía del Estándar Passivhaus. ,
- GILLOTT, M.C., LOVEDAY, D.L., WHITE, J., WOOD, C.J., CHMUTINA, K. y VADODARIA, K., 2016. Improving the airtightness in an existing UK dwelling: The challenges, the measures and their effectiveness. *Building and Environment* [en línea], vol. 95, pp. 227-239. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2015.08.017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.08.017>.
- GOBIERNO DE ESPAÑA, 2013. Documento básico HE ahorro de energía. *Código técnico de la Edificación, Documento básico HE ahorro de energía* [en línea], vol. 2013, pp. 1-70. Disponible en: <http://www.codigotecnico.org/web/recursos/documentos/>.
- GOIA, F., TIME, B. y GUSTAVSEN, A., 2015. Impact of Opaque Building Envelope Configuration on the Heating and Cooling Energy Need of a Single Family House in Cold Climates. *Energy Procedia* [en línea], vol. 78, no. 1876, pp. 2626-2631. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2015.11.328. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215020603>.

- GONZÁLEZ, A.D., CRIVELLI, E. y GORTARI, S., 2006. Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de la ciudad de Bariloche. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, vol. 10, pp. 1-7.
- GUHL, E., 1981. *LA SABANA DE BOGOTÁ, SUS ALREDEDORES Y SU VEGETACIÓN*. Bogotá: s.n.
- HATT, T., SAELZER, G., HEMPEL, R. y GERBER, A., 2012. Alto confort interior con mínimo consumo energético a partir de la implementación del estándar « Passivhaus » en. *Revista de la Construcción*, vol. 12 N22, pp. 123-134.
- HEMSATH, T.L. y ALAGHEBAND BANDHOSSEINI, K., 2015. Sensitivity analysis evaluating basic building geometry's effect on energy use. *Renewable Energy* [en línea], vol. 76, pp. 526-538. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2014.11.044. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.044>.
- IDEAM, 1999. Aeropuertos IDEAM. *CARTAS CLIMATOLÓGICAS - MEDIAS MENSUALES, AEROPUERTO SAN LUIS* [en línea]. [Consulta: 16 enero 2016]. Disponible en: <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/ipiales/tabla.htm>.
- INSTITUTO DE CEMENTO PORLAND, 2013. Aprovechamiento de la masa térmica del hormigón para construcción de Viviendas Sostenibles. ,
- JIN, H., CHEN, K. y SHAO, T., 2014. Research on the limit value of shape coefficient of rural residences in severe cold regions. *Journal of Harbin Institute of Technology* [en línea], vol. 21.
- KOSNY, J., PETRIE, T., GAWIN, D., CHILDS, P., DESJARLAIS, a y CHRISTIAN, J., 2001. Thermal Mass - Energy Savings Potential in Residential Buildings. [en línea], Disponible en: [http://www.isomax-terrasol.eu/uploads/media/ORNL\\_White\\_Paper-Thermal-Mass\\_-\\_Energy-Savings-Potential\\_01.pdf](http://www.isomax-terrasol.eu/uploads/media/ORNL_White_Paper-Thermal-Mass_-_Energy-Savings-Potential_01.pdf).
- KWONG, Q.J., ADAM, N.M. y SAHARI, B.B., 2014. Thermal comfort assessment and potential for energy efficiency enhancement in modern tropical buildings: A review. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 68, no. PARTA, pp. 547-557. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2013.09.034. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.09.034>.
- MANZANO, F., MONTOYA, F.G., SABIO, A. y GARCÍA, A., 2015. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [en línea], vol. 49, pp. 736-755. ISSN 18790690. DOI 10.1016/j.rser.2015.04.095. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.
- MINISTERIO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO, 2015. *Resolución 0549* [en línea]. 2015. S.l.: s.n. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549 - 2015.pdf>.
- MISHRA, A.K. y RAMGOPAL, M., 2015. An adaptive thermal comfort model for the tropical climatic regions of India (Koppen climate type A). *Building and Environment* [en línea], vol. 85, pp. 134-143. ISSN 03601323. DOI 10.1016/j.buildenv.2014.12.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.12.006>.
- MONTEOLIVA, J.M. y PATTINI, A.E., 2013. Encuentro Latinoamericano de Uso Racional y Eficiente de la Energía - ELUREE2013 Buenos Aires , Argentina – 25 , 26 y 27 de Septiembre de 2013 GT 2 – Eficiencia en energética en el Hábitat APLICACIÓN DE NUEVAS METODOLOGÍAS DE

ANÁLISIS DINÁMICO DEL FACTOR. , pp. 65-72.

- MORRISSEY, J., MOORE, T. y HORNE, R.E., 2011. Affordable passive solar design in a temperate climate: An experiment in residential building orientation. *Renewable Energy* [en línea], vol. 36, no. 2, pp. 568-577. ISSN 09601481. DOI 10.1016/j.renene.2010.08.013. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.08.013>.
- NATARAJAN, S., RODRIGUEZ, J. y VELLEI, M., 2015. A field study of indoor thermal comfort in the subtropical highland climate of Bogota, Colombia. *Journal of Building Engineering* [en línea], vol. 4, pp. 237-246. ISSN 23527102. DOI 10.1016/j.jobbe.2015.10.003. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jobbe.2015.10.003>.
- NAVARRO, L., DE GRACIA, A., NIAL, D., CASTELL, A., BROWNE, M., MCCORMACK, S.J., GRIFFITHS, P. y CABEZA, L.F., 2016. Thermal energy storage in building integrated thermal systems: A review. Part 2. Integration as passive system. *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 1334-1356. ISSN 18790682. DOI 10.1016/j.renene.2015.06.064.
- NĚMEČEK, M. y KALOUSEK, M., 2015. Influence of thermal storage mass on summer thermal stability in a passive wooden house in the Czech Republic. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 107, pp. 68-75. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2015.07.068. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778815301845> \n <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0378778815301845>.
- ORTEGA, X. y VILLMARÍN, F., 2010. TRANSICIÓN DEMOGRÁFICA: UNA DIMENSIÓN EMPIRICA DE LA MODERNIZACIÓN EN LA ZONA ANDINA DE NARIÑO. *Semestre Económico*, vol. 13, pp. 117-136.
- OSSIO, F., DE HERDE, A. y VEAS, L., 2012. Exigencias europeas para infiltraciones de aire: Lecciones para Chile. *Revista de la Construcción*, vol. 11, no. 1, pp. 54-63. ISSN 07177925. DOI 10.4067/S0718-915X2012000100006.
- PABÓN, J.D., ESLAVA, J.A. y GÓMEZ, R.E., 2001. Generalidades de la distribución espacial y temporal de la temperatura del aire y de la precipitación en Colombia. *Meteorología Colombiana* [en línea], vol. 4, pp. 47-59. Disponible en: <http://www.geociencias.unal.edu.co/met/met4art5.html>.
- PACHECO, R., ORDÓÑEZ, J. y MARTÍNEZ, G., 2012. Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 6, pp. 3559-3573. ISSN 13640321. DOI 10.1016/j.rser.2012.03.045.
- PONECHAL, R., 2015. Increasing thermal mass in low carbon dwelling. *Procedia Engineering* [en línea], vol. 111, no. TFOCE, pp. 645-651. ISSN 1877-7058. DOI 10.1016/j.proeng.2015.07.062. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2015.07.062>.
- PREMROV, M., ŽEGARAC LESKOVAR, V. y MIHALIČ, K., 2015. Influence of the building shape on the energy performance of timber-glass buildings in different climatic conditions. *Energy* [en línea], pp. 1-11. ISSN 03605442. DOI 10.1016/j.energy.2015.05.027. Disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544215006088>.
- RUPP, R.F., VÁSQUEZ, N.G. y LAMBERTS, R., 2015. A review of human thermal comfort in the built environment. *Energy and Buildings* [en línea], vol. 105, pp. 178-205. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2015.07.047. Disponible en:

<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.07.047>.

SÁNCHEZ, D., SÁNCHEZ, C. y RUBIO, C., 2015. Sevilla The adaptive approach to thermal comfort in Seville. , vol. X, pp. 1-10.

SDEI, A., GLORIAN, F., TITTELEIN, P., LASSUE, S., HANNA, P., BESLAY, C., GOURNET, R. y MCEVOY, M., 2015. Social housing retrofit strategies in England and France: A parametric and behavioural analysis. *Energy Research & Social Science* [en línea], vol. 10, pp. 62-71. ISSN 22146296. DOI 10.1016/j.erss.2015.07.001. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214629615300074>.

STAZI, F., BONFIGLI, C., TOMASSONI, E., DI, C. y MUNAFÒ, P., 2015. The effect of high thermal insulation on high thermal mass : Is the dynamic behaviour of traditional envelopes in Mediterranean climates still possible ? *Energy & Buildings* [en línea], vol. 88, pp. 367-383. ISSN 0378-7788. DOI 10.1016/j.enbuild.2014.11.056. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2014.11.056>.

TAYLOR, P., FULLER, R.J. y LUTHER, M.B., 2008. Energy use and thermal comfort in a rammed earth office building. *Energy and Buildings*, vol. 40, no. 5, pp. 793-800. ISSN 03787788. DOI 10.1016/j.enbuild.2007.05.013.

UCLA, 2015. *CLIMATE CONSULTANT 6.0*. 2015. S.l.: s.n.

VAISMAN, G. y HORVAT, M., 2015. Influence of Internal Courtyards on the Energy Load and Hours of Illuminance in Row Houses in Toronto. *Energy Procedia* [en línea], vol. 78, pp. 1799-1804. ISSN 18766102. DOI 10.1016/j.egypro.2015.11.312. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610215020445>.

VANESSA MENA, G., 2014. Metodología de evaluación de confort térmico exterior para diferentes pisos climáticos en Ecuador. *CONGRESO NACIONAL DE MEDIO AMBIENTE*,

YANG, L., YAN, H. y LAM, J.C., 2014. Thermal comfort and building energy consumption implications - A review. *Applied Energy* [en línea], vol. 115, pp. 164-173. ISSN 03062619. DOI 10.1016/j.apenergy.2013.10.062. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.062>.

## 12. ANEXOS

| Horas Confort | % Horas Confort |   | Solución constructiva                                  | Promedio °C |
|---------------|-----------------|---|--|-------------|
| 175           | 2,00            | % | Temperatura exterior                                   | 13,9 °C     |
| 70            | 0,80            | % | Caso base (Dispersa)                                   | 17,6 °C     |
| 95            | 1,08            | % | Compacta   | 17,6 °C     |
| 214           | 2,44            | % | Dispersa + transmitancia 1                             | 18,5 °C     |
| 229           | 2,61            | % | Compacta + transmitancia 1                             | 18,5 °C     |
| 667           | 7,61            | % | Dispersa + transmitancia 2                             | 19,2 °C     |
| 698           | 7,97            | % | Compacta + transmitancia 2                             | 19,2 °C     |
| 16            | 0,18            | % | Dispersa + m2 ventana                                  | 17,2 °C     |
| 17            | 0,19            | % | Compacta + m2 ventana                                  | 17,9 °C     |
| 63            | 0,72            | % | Dispersa + transmitancia 1 + m2 ventana                | 18,1 °C     |
| 65            | 0,74            | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 ventana                | 18,5 °C     |
| 181           | 2,07            | % | Dispersa + transmitancia 2 + m2 ventana                | 18,8 °C     |
| 94            | 1,07            | % | Compacta + transmitancia 2 + m2 ventana                | 18,8 °C     |
| 36            | 0,41            | % | Dispersa + DVH   | 17,5 °C     |
| 44            | 0,50            | % | Compacta + DVH   | 17,5 °C     |
| 152           | 1,74            | % | Dispersa + transmitancia 1 + DVH                       | 18,5 °C     |
| 158           | 1,80            | % | Compacta + transmitancia 1 + DVH                       | 18,4 °C     |
| 626           | 7,15            | % | Dispersa + transmitancia 2 + DVH                       | 19,2 °C     |
| 628           | 7,17            | % | Compacta + transmitancia 2 + DVH                       | 19,2 °C     |
| 9             | 0,10            | % | Dispersa + m2 ventana + DVH                            | 17,2 °C     |
| 6             | 0,07            | % | Compacta + M2 ventana + DVH                            | 17,1 °C     |
| 73            | 0,83            | % | Dispersa + transmitancia 1 + m2 ventana + DVH          | 18 °C       |
| 60            | 0,68            | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 ventana + DVH          | 18 °C       |
| 175           | 2,00            | % | Dispersa + transmitancia 2 + m2 ventana + DVH          | 18,8 °C     |
| 248           | 2,83            | % | Compacta + transmitancia 2 + m2 ventana + DVH          | 18,9 °C     |
| 180           | 2,05            | % | Dispersa + hermeticidad                                | 18 °C       |
| 208           | 2,37            | % | Compacta + hermeticidad                                | 18 °C       |
| 936           | 10,68           | % | Dispersa + transmitancia 1 + hermeticidad              | 19,2 °C     |
| 900           | 10,27           | % | Compacta + transmitancia 1 + hermeticidad              | 19,2 °C     |
| 2936          | 33,52           | % | Dispersa + transmitancia 2 + hermeticidad              | 20,2 °C     |
| 2651          | 30,26           | % | Compacta + Transmitancia 2 + hermeticidad              | 20,1 °C     |
| 39            | 0,45            | % | Dispersa + m2 ventana + hermeticidad                   | 17,6 °C     |
| 34            | 0,39            | % | Compacta + m2 ventana + hermeticidad                   | 17,5 °C     |
| 236           | 2,69            | % | Dispersa + transmitancia 1 + m2 ventana + hermeticidad | 18,8 °C     |
| 58            | 0,66            | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 ventana + hermeticidad | 18 °C       |
| 1263          | 14,42           | % | Dispersa + transmitancia 2 + m2 ventana + hermeticidad | 19,7 °C     |
| 1724          | 19,68           | % | Compacta + Transmitancia 2 + m2 ventana + hermeticidad | 19,9 °C     |
| 131           | 1,50            | % | Dispersa + DVH + hermeticidad                          | 17,9 °C     |

|      |       |   |   |         |
|------|-------|---|---|---------|
| 145  | 1,66  | % | Compacta + DVH + Hermeticidad                                   | 18 °C   |
| 900  | 10,27 | % | Dispersa + transmitancia 1 + DVH + hermeticidad                 | 19,3 °C |
| 781  | 8,92  | % | Compacta + transmitancia 1 + DVH + hermeticidad                 | 19,2 °C |
| 3578 | 40,84 | % | Dispersa + transmitancia 2 + DVH + hermeticidad                 | 20,4 °C |
| 3123 | 35,65 | % | Compacta + transmitancia 2+ DVH + hermeticidad                  | 20,3 °C |
| 24   | 0,27  | % | Dispersa + m2 de ventana + DVH + hermeticidad                   | 17,6 °C |
| 21   | 0,24  | % | Compacta + m2 de ventana + DVH + hermeticidad                   | 17,5 °C |
| 199  | 2,27  | % | Dispersa transmitancia 1 + m2 de ventana + DVH + hermeticidad   | 18,8 °C |
| 134  | 1,53  | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 de ventana + DVH + hermeticidad | 18,6 °C |
| 1411 | 16,11 | % | Dispersa transmitancia 2 + m2 de ventana + DVH + compacta       | 19,9 °C |
| 1964 | 22,42 | % | Compacta + transmitancia 2 + m2 de ventana + DVH + hermeticidad | 20 °C   |
| 221  | 2,52  | % | Dispersa - masa térmica   | 17,6 °C |
| 233  | 2,66  | % | Compacta - masa térmica   | 17,6 °C |
| 450  | 5,14  | % | Dispersa + transmitancia 1 - masa térmica                       | 18,5 °C |
| 446  | 5,09  | % | Compacta + transmitancia 1 - masa térmica                       | 18,5 °C |
| 901  | 10,29 | % | Dispersa + transmitancia 2 - masa térmica                       | 19,2 °C |
| 892  | 10,18 | % | Compacta + transmitancia 2 - masa térmica                       | 19,2 °C |
| 75   | 0,86  | % | Dispersa + m2 de ventana - masa térmica                         | 17,3 °C |
| 60   | 0,68  | % | Compacta + m2 de ventana - masa térmica                         | 17,2 °C |
| 92   | 1,05  | % | Dispersa + transmitancia 1 + m2 de ventana - masa térmica       | 18,1 °C |
| 59   | 0,67  | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 de ventana - masa térmica       | 18 °C   |
| 325  | 3,71  | % | Dispersa + transmitancia 2 + m2 de ventana - masa térmica       | 18,8 °C |
| 457  | 5,22  | % | Compacta + transmitancia 2 + m2 de ventana - masa térmica       | 18,9 °C |
| 148  | 1,69  | % | Dispersa + DVH - masa térmica                                   | 17,5 °C |
| 154  | 1,76  | % | Compacta + DVH - masa térmica                                   | 17,5 °C |
| 335  | 3,82  | % | Dispersa + transmitancia 1 + DVH - masa térmica                 | 18,5 °C |
| 301  | 3,44  | % | Compacta + transmitancia 1 + DVH - masa térmica                 | 18,4 °C |
| 901  | 10,29 | % | Dispersa + transmitancia 2 + DVH - masa térmica                 | 19,2 °C |
| 862  | 9,84  | % | Compacta + transmitancia 2 + DVH - masa térmica                 | 19,2 °C |
| 52   | 0,59  | % | Dispersa + m2 de ventana + DVH - masa térmica                   | 17,2 °C |
| 35   | 0,40  | % | Compacta + m2 de ventana + DVH - masa térmica                   | 17,1 °C |
| 68   | 0,78  | % | Dispersa + transmitancia 1 + m2 de ventana + DVH - masa térmica | 18,1 °C |
| 41   | 0,47  | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 de ventana + DVH - masa térmica | 17,9 °C |
| 263  | 3,00  | % | Dispersa + transmitancia 2 + m2 de ventana + DVH - masa térmica | 18,8 °C |
| 437  | 4,99  | % | Compacta + transmitancia 2 + m2 de ventana + DVH - masa térmica | 18,9 °C |
| 376  | 4,29  | % | Dispersa + hermeticidad - masa térmica                          | 18 °C   |
| 391  | 4,46  | % | Compacta + hermeticidad - masa térmica                          | 18 °C   |
| 1087 | 12,41 | % | Dispersa + transmitancia 1 + hermeticidad - masa térmica        | 19,3 °C |
| 1043 | 11,91 | % | Compacta + transmitancia 1 + hermeticidad - masa térmica        | 19,2 °C |
| 3040 | 34,70 | % | Dispersa + transmitancia 2 + hermeticidad - masa térmica        | 20,2 °C |
| 2778 | 31,71 | % | Compacta + transmitancia 2 + hermeticidad - masa térmica        | 20,1 °C |

|      |       |   |  |         |
|------|-------|---|--|---------|
| 136  | 1,55  | % | Dispersa + m2 de ventana + hermeticidad - masa térmica                         | 17,6 °C |
| 110  | 1,26  | % | Compacta + m2 de ventana + hermeticidad + masa térmica                         | 17,5 °C |
| 369  | 4,21  | % | Dispersa + transmitancia 1 + m2 de ventana + hermeticidad - masa térmica       | 18,8 °C |
| 59   | 0,67  | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 de ventana + hermeticidad - masa térmica       | 18 °C   |
| 1472 | 16,80 | % | Dispersa + transmitancia 2 + m2 de ventana + hermeticidad - masa térmica       | 19,8 °C |
| 1810 | 20,66 | % | Compacta + transmitancia 2 + m2 de ventana + hermeticidad - masa térmica       | 19,9 °C |
| 294  | 3,36  | % | Dispersa + DVH + hermeticidad - masa térmica                                   | 18 °C   |
| 318  | 3,63  | % | Compacta + DVH + hermeticidad - masa térmica                                   | 18 °C   |
| 1138 | 12,99 | % | Dispersa + transmitancia 1 + DVH + hermeticidad - masa térmica                 | 19,3 °C |
| 1059 | 12,09 | % | Compacta + transmitancia 1 + DVH + hermeticidad - masa térmica                 | 19,2 °C |
| 3678 | 41,99 | % | Dispersa + transmitancia 2 + DVH + hermeticidad - masa térmica                 | 20,4 °C |
| 3262 | 37,24 | % | Compacta + transmitancia 2 + DVH + hermeticidad - masa térmica                 | 20,3 °C |
| 95   | 1,08  | % | Dispersa + m2 de ventana + DVH + hermeticidad - masa térmica                   | 17,6 °C |
| 73   | 0,83  | % | Compacta + m2 de ventana + DVH + hermeticidad - masa térmica                   | 17,5 °C |
| 287  | 3,28  | % | Dispersa + transmitancia 1 + m2 de ventana + DVH + hermeticidad - masa térmica | 18,8 °C |
| 163  | 1,86  | % | Compacta + transmitancia 1 + m2 de ventana + DVH + hermeticidad - masa térmica | 18,6 °C |
| 1655 | 18,89 | % | Dispersa + transmitancia 2 + m2 de ventana + DVH + hermeticidad - masa térmica | 19,9 °C |
| 2183 | 24,92 | % | Compacta + transmitancia 2 + m2 de ventana + DVH + hermeticidad - masa térmica | 20 °C   |