



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL FACTOR DE FORMA SOBRE
LA TEMPERATURA OPERATIVA DE EDIFICACIONES EN LA
CIUDAD DE QUITO, MEDIANTE SIMULACIÓN EN ENERGYPLUS.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN EFICIENCIA ENERGÉTICA**

EDWIN JAVIER CÁRDENAS RAMOS

edwin.cardenas@epn.edu.ec

DANIEL EFRAÍN FERNÁNDEZ JIMÉNEZ

daniel.fernandez@epn.edu.ec

DIRECTOR: DR. FREDDY ORDÓÑEZ MALLA

freddy.ordonez@epn.edu.ec

Junio - 2017

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **Edwin Javier Cárdenas Ramos** y **Daniel Efraín Fernández Jiménez** bajo mi supervisión.

Dr. Freddy Ordóñez Malla
DIRECTOR DE PROYECTO

DECLARACIÓN

Nosotros, **Edwin Javier Cárdenas Ramos** y **Daniel Efraín Fernández Jiménez**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Edwin Javier Cárdenas Ramos

Daniel Efraín Fernández Jiménez

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	VII
Pregunta de investigación.....	vii
Objetivo general	vii
Objetivos específicos.....	viii
Alcance.....	viii
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	1
1.1. Factor de forma de edificios	2
1.1.1. Factor de forma en climas fríos.....	3
1.1.2. Factor de forma en climas cálidos.....	3
1.1.3. Factor de forma y orientación	4
1.2. Envoltente del edificio.....	5
1.2.1. Acristalamiento	5
1.2.2. Materiales	6
1.2.3. Infiltración	7
1.3. Confort térmico	7
1.3.1. Confort térmico y acristalamiento.....	8
1.3.2. Confort térmico e infiltración	8
1.3.3. Confort térmico y materiales	8
2. METODOLOGÍA	9
2.2. Alcance del estudio	10
2.2.1. Formas de los edificios	10
2.3. Parametrización	12
2.3.1. Detalle de las restricciones y factores de forma.....	12
2.3.2. Condiciones locales de clima.....	13
2.3.3. Parámetros de diseño	14
2.4. Modelación.....	20
2.4.1. Modelación SketchUp	20
2.4.2. Generación archivos IDF	22
2.5. Simulación	22
2.5.1. EnergyPlus	22
2.6. Interpretación de resultados.....	24
2.6.1. Función objetivo.....	24
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	27
3.1. Resultados.....	27
3.1.1. Evaluación del objeto de estudio.....	27
3.1.2. Resultados de simulación del primer análisis monozona.	28
3.1.3. Resultados de simulación segundo análisis monozona.	44
3.1.4. Resultados de simulación multizona	51
3.2. Discusión	60
3.2.1. Primer análisis monozona.....	60
3.2.2. Segundo análisis monozona.....	72
3.2.3. Análisis multizona.....	81
4. CONCLUSIONES	92

Referencias Bibliográficas	95
Anexos	99
ANEXO I. Simulaciones en el primer análisis monozonas	99
ANEXO II. Simulaciones en el segundo análisis monozonas.....	100
ANEXO III. Simulaciones en análisis multizonas	101
ANEXO IV. Mapa del porcentaje de discomfort en simulación monozonas primer análisis con wwr10	102
ANEXO V. Mapa del porcentaje de discomfort en simulación monozonas primer análisis con wwr20	103
ANEXO VI. Mapa del porcentaje de discomfort en simulación monozonas segundo análisis con wwr10 y TE	104
ANEXO VII. Mapa del porcentaje de discomfort en simulación monozonas segundo análisis con wwr10 y TA	105
ANEXO VIII. Mapa del porcentaje de discomfort en simulación monozonas primer análisis con wwr20	106
ANEXO IX. Usos de edificaciones en el ecuador	107

RESUMEN

El presente estudio tiene como objetivo determinar la influencia del factor de forma sobre el comportamiento térmico de edificaciones residenciales de la ciudad de Quito, mediante simulación energética en EnergyPlus. El comportamiento térmico se evaluará con la temperatura operativa y como función objetivo el discomfort térmico. El estudio comienza con una revisión bibliográfica de investigaciones realizadas sobre el factor de forma y el comportamiento térmico de edificaciones en diferentes climas, usos y configuraciones geométricas. Se realiza un marco metodológico en el cual se definen las etapas del proyecto, el alcance, los parámetros constructivos de diseño y las geometrías de los edificios con diferentes factores de forma. Posteriormente se realiza una descripción de los softwares que permiten realizar la modelación y simulación energética. Se establece el rango de confort de acuerdo a la normativa ASHRAE 55 para la ciudad de Quito y se evalúa en escenarios monozonales y multizonales mediante análisis estadísticos de las temperaturas operativas para el año 2015, arrojados por EnergyPlus, para edificaciones residenciales en función del discomfort. Para la modelación monozonal se establecen dos análisis, en el primer análisis se determina que la forma geométrica del edificio (cuadrada, rectangular, forma L y forma U) y el factor de forma no tienen un impacto significativo en relación a la temperatura operativa y al discomfort de las edificaciones; y, en el segundo análisis se evidencia que la influencia del factor de forma sobre la función objetivo (discomfort) viene dada por la incidencia de la radiación solar sobre las superficies de la edificación que cuentan con una mayor área expuesta hacia el Oeste-Este. En el caso de la modelación multizonal se establece una edificación rectangular con un factor de forma y cinco zonas internas, en este análisis se determina que el factor de forma es un parámetro que tiene una baja incidencia en el comportamiento térmico de la edificación y que las condiciones de borde, orientación y el acristalamiento del edificio tienen una mayor influencia en el confort y la temperatura operativa interna de la edificación.

Palabras claves: Confort térmico, edificios residenciales, envolvente, factor de forma, simulación energética, temperatura operativa.

ABSTRACT

The present study aims to determine the influence of the shape factor over the thermal behavior of residential buildings of the city of Quito, through an energetic simulation in EnergyPlus. The thermal behavior will be evaluated with the operative temperature and as an objective function the thermal discomfort. The study starts with a bibliographic revision on previous researches on the shape factor and heat behavior inside buildings with different climates, uses and geometrical configurations. A methodological framework is developed to define the stages of the project, the scope, the construction parameters for the design and different shapes of the buildings. The next step is to make a description of the softwares enabling the energetic modeling and simulation. The comfort range is established according to ASHRAE 55 regulations for the city of Quito and is evaluated in single-zone and multizonal scenarios through statistical analysis of operative temperatures for 2015, released by EnergyPlus, for residential buildings based on discomfort. For the monozonal modeling, two analyzes are established, in the first analysis it is determined that the geometrical shape of the building (square, rectangular, L-shape and U-shape) and the form factor do not have a significant impact in relation to the operative temperature and discomfort of buildings; and, in the second analysis it is evident that the influence of the shape factor on the objective function (discomfort) is given by the incidence of solar radiation on the building surfaces that have a greater area exposed to the West-East. In the case of multizonal modeling, a rectangular building with one shape factor and five internal zones is established, in this analysis it is determined that the shape factor is a parameter that has a low incidence in the thermal behavior of the building and that the edge conditions, orientation and the glazing of the building have a greater influence on the comfort and internal operative temperature of the building.

Keywords: Thermal comfort, residential buildings, envelope, shape factor, energy simulation, operating temperature.

ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DEL FACTOR DE FORMA SOBRE LA TEMPERATURA OPERATIVA DE EDIFICACIONES EN LA CIUDAD DE QUITO, MEDIANTE SIMULACIÓN EN ENERGYPLUS.

INTRODUCCIÓN

El consumo de energía primaria en el sector de la construcción en el Ecuador correspondía al 32% de la matriz energética del año 2008 [1]. En la actualidad la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) ha planteado medidas y lineamientos a cumplir para mejorar los parámetros constructivos y de eficiencia energética en edificaciones, con el objeto de disminuir el consumo de energía y elevar la calidad de vida de los usuarios de las edificaciones.

Si bien el factor de forma definido como la relación entre el área envolvente y el volumen del edificio, no es el único factor que determina el comportamiento térmico del mismo; la comprensión de su influencia es muy importante a la hora de dar recomendaciones de diseño y construcción. Varios estudios, han determinado que el factor de forma de los edificios tiene un impacto en el consumo energético de acuerdo a la localidad en donde se edifican [2], [3], [4].

Este estudio pretende establecer la influencia del factor de forma sobre el comportamiento térmico de edificaciones residenciales de la ciudad de Quito, analizando las ventajas y desventajas de la forma del edificio de acuerdo a los parámetros constructivos y las condiciones climáticas locales; permitiendo proponer recomendaciones para tener edificaciones con mejores prestaciones energéticas. Para ello se hará uso de herramientas computacionales de simulación energética de edificios.

Pregunta de investigación

¿Cuál es la influencia del factor de forma sobre la temperatura operativa y el discomfort térmico en edificaciones residenciales de la ciudad de Quito?

Objetivo general

Estudiar la influencia del factor de forma sobre la temperatura operativa de edificaciones en la ciudad de Quito, mediante simulación en EnergyPlus.

Objetivos específicos

- Desarrollar modelos representativos de edificaciones de la ciudad de Quito. Estas simplificaciones incluyen modelos monozona y multizona.
- Realizar un estudio paramétrico del factor de forma de edificios para las condiciones climáticas y topográficas de Quito.

Alcance

Esta investigación pretende establecer mediante la simulación energética la influencia de parámetros constructivos de diseño, específicamente del factor de forma, sobre la temperatura operativa de edificaciones residenciales en Quito.

Mediante los resultados obtenidos de las diferentes configuraciones geométricas simuladas en EnergyPlus para las condiciones climatológicas de Quito, tanto para escenarios monozonales como multizonales, se analiza el comportamiento térmico de las edificaciones para determinar el diseño favorable que relaciona al factor forma y su geometría, con el fin de crear un hábitat interior térmico confortable. En ese contexto, este estudio y su desarrollo abarca los siguientes puntos:

- Se define el tipo y las formas arquitectónicas a ser estudiadas.
- Se establece los parámetros y las características de los elementos constructivos, las configuraciones y restricciones a ser evaluadas.
- Se procede al desarrollo de un modelo tridimensional de las edificaciones con los parámetros antes definidos.
- Se realiza la simulación energética mediante la plataforma EnergyPlus de las distintas formas de las edificaciones y se obtiene sus resultados.
- Se realiza el análisis y evaluación de los resultados obtenidos en base al rango de confort térmico definido para las condiciones interiores de edificaciones residenciales en Quito.
- Se determinan los parámetros influyentes sobre el desconfort térmico y se realizan las conclusiones y recomendaciones del estudio.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En ciudades desarrolladas, el consumo energético en los edificios está asociado a la utilización de equipos de acondicionamiento ambiental activos (calefacción, aire acondicionado, etc.) para alcanzar el confort higrotérmico¹. El 30% del consumo energético de los países industrializados corresponde al consumo en edificaciones [5]. Con un diseño apropiado se puede lograr disminuir o evitar el uso de la energía en equipos activos, evitando instalar sistemas de acondicionamiento climático de mayores características de carga, lo que representa un mejoramiento en el consumo de energía y menor costo en el pago de estos servicios [6]. Ecuador no ha tenido una práctica habitual de incorporar criterios de eficiencia energética o el uso de programas de simulación de comportamiento energético en la etapa de diseño previa a la construcción [7].

Las políticas de vivienda social en Latinoamérica se han enfocado en reducir el déficit cuantitativo de la vivienda. En la actualidad se generan deficiencias en las características cualitativas de las viviendas [7]. En Ecuador, el déficit cualitativo se caracteriza principalmente por la falta de infraestructura y la baja calidad de los materiales de construcción, que hace que estas viviendas no alcancen niveles de confort adecuados [8], [9].

El diseño adecuado de edificios energéticamente eficientes debe ser evaluado en la etapa de planificación comprendidos en niveles, con el objetivo de proporcionar un hábitat confortable, funcional y rentable [10], [11]. El primer nivel que hace relación a la geometría óptima y los componentes del edificio, es decir, el concepto de diseño, la composición de la envolvente térmica, los detalles de construcción, el tipo de acristalamiento y otros materiales, la ubicación, datos climáticos y una orientación adecuada [12], [13]. El siguiente nivel es el de diseño pasivo, que consiste en estrategias que permiten calentar con ganancias solares, enfriar con ventilación natural y utilizar masa térmica² para el almacenamiento de energía [14], [15] y el último nivel implica conceptos de diseño de los sistemas técnicos de acondicionamiento ambiental activos del edificio que generan un consumo de energía eléctrica [2], [10]. Este estudio se limita al primer nivel.

El análisis del factor de forma en edificaciones con las condiciones climáticas y topográficas de la ciudad de Quito permitirá establecer correlaciones específicas del comportamiento térmico del edificio con la climatología local. Estas correlaciones pueden ser de gran utilidad para los diseñadores y constructores.

¹ *Confort higrotérmico*, estado mental de la persona que expresa satisfacción con el ambiente en el que entra en contacto [49].

² *Masa térmica*, es la capacidad de un cerramiento para almacenar calor. Está en función de la densidad, capacidad calorífica específica y espesor del material envolvente [50].

El estudio establece la simulación del comportamiento térmico de edificios [16], [15] con características monozonales y multizonales [17], cuya variante está dada por su factor de forma. Se entiende como escenario monozonal la representación de la edificación como volumen de control establecida en zona única con equilibrio higrotérmico. Un escenario multizonal es la representación de la edificación de todos sus elementos constructivos (habitaciones, separaciones internas, etc.).

1.1. Factor de forma de edificios

La forma de un edificio tiene un gran impacto en los costos de la construcción y en el consumo de energía [12]. La forma de la construcción, la disposición y configuraciones espaciales que se planifican para operar con eficiencia energética basado en datos climáticos se considera como diseño pasivo. La selección de una forma óptima, orientación y configuración de la envolvente puede reducir el consumo de energía en un 40% [6], [18].

La forma de un edificio interviene de manera directa en su comportamiento térmico. A mayor superficie exterior, mayor capacidad de intercambio de calor con el exterior, a mayor volumen, mayor capacidad de almacenamiento de calor. La relación de estos parámetros se define como factor de forma [19].

El factor de forma de un edificio es una medida que expresa la relación entre el área envolvente térmica del edificio y su volumen [18], [12].

El factor forma está definido por:

$$FF = \frac{S_e}{V} (m^2/m^3) \quad (1.1)$$

Donde S_e es la superficie de la envolvente del edificio y V es el volumen interno del edificio [20].

El área envolvente térmica es el área que separa las áreas del ambiente interior y exterior del edificio [21], [22]. Las pérdidas de calor a través de la envolvente térmica representan un gran porcentaje del consumo total de energía de un edificio [22], [6]. Los edificios con un factor de forma más alto son menos compactos y por lo tanto tienen una superficie más grande para el volumen del edificio [3].

La ubicación y orientación de las ventanas, sombras (auto provocadas y provenientes del entorno), corrientes de aire para ventilación y otros parámetros adicionales, contribuyen a determinar una mejor forma de la edificación [23], [13]. Resultados obtenidos por Aksoy indican que la relación entre largo y ancho del edificio (alargamiento en un eje) no altera de

gran manera el consumo energético, produciendo un ahorro máximo del 8% respecto a un edificio cuadrado [24]. Markus & Morris [6] afirman que el diseñador de edificios puede tener un control significativo sobre el edificio cambiando el material y la forma de construcción, es decir, el cambio de material puede afectar el valor U (coeficiente de transferencia de calor), mientras que el método de construcción del edificio podría influir en los cambios de aire y la pérdida de ventilación.

1.1.1. Factor de forma en climas fríos

En zonas frías de China algunos estudios determinan que cuanto menor sea el factor de forma de los edificios ($0,5 \text{ m}^{-1}$ y $0,8 \text{ m}^{-1}$) tienen menor consumo energético. Se ha integrado un factor de forma de edificios en su estándar de diseño, en donde por ejemplo, para edificios públicos que superen los 800 m^2 el factor de forma debe ser inferior a $0,4 \text{ m}^{-1}$ [25]. Suecia que se caracteriza por un clima frío, espera que el impacto del factor de forma en el uso final de energía sea significativo al ser considerado en los códigos de construcción de edificios nuevos [3].

Los resultados de Pemrov [2], que realiza un análisis paramétrico del factor de forma del edificio y el porcentaje de superficie de acristalamiento, realizado para diferentes formas de construcción, es decir cuadrada, rectangular, forma de L, T y U, indican que la demanda anual total de energía para calefacción y refrigeración depende del aumento del factor de forma en condiciones climáticas frías con un bajo potencial solar (ciudad de Helsinki); mientras que en las regiones con una temperatura media anual, potencial solar más alto y las pérdidas de transmisión más bajas, la influencia del factor de forma en la demanda de energía es menor [18].

Estudios realizados en Francia por el Equipe Thermique du Bâtiment [20], en climas fríos como París, establecen una correlación lineal con el consumo de energía y el factor de forma. El área envolvente es un parámetro predominante en el balance de energía. Esta correlación no es perturbada por el calor ganado por la radiación solar a través del acristalamiento [20]. Según Geletka y Sedláková [12] en climas fríos conviene que el valor del factor de forma varíe entre $0,5 \text{ m}^{-1}$ y $0,8 \text{ m}^{-1}$.

1.1.2. Factor de forma en climas cálidos

En regiones con una temperatura media anual más elevada, un potencial solar más alto y pérdidas de transmisión más bajas, la influencia del factor de forma creciente en la demanda de energía es menos importante. Esta conclusión está muy próxima a las conclusiones de Albatici y Passerini [4] para las regiones italianas, demostrando que la compactación de los

edificios con sistemas pasivos es más importante en las localidades frías. Además, está cerca del estudio de Danielski [26] el cual indica que la influencia del factor de forma es más débil en regiones con temperaturas exteriores más altas.

Del mismo estudio realizado por el Equipe Thermique du Bâtiment [20] para un clima temperado como el de Carpentras, con un período largo soleado en verano, conduciría a reducir el predominio del área envolvente del edificio en el balance de energía; mientras que en el invierno, la pérdida de calor ya no interfiere en la misma proporción con el balance energético, porque el flujo de energía solar incidente a través del acristalamiento es alto. La influencia del área fluye en la correlación lineal entre el consumo de energía y el factor de forma, concluyendo que el consumo energético es inversamente proporcional a las edificaciones compactas³, resultados que no son aplicables a climas temperados. Según Geletka y Sedlákova [12] para climas cálidos conviene que el factor de forma sea superior a $1,2 \text{ m}^{-1}$.

Catalina [18] realizó varios estudios sobre la influencia de la forma del edificio en la demanda de energía para 12 casos, de varias formas y áreas de acristalamiento para averiguar la relación entre ellos y el consumo térmico, concluyendo que el impacto del factor de forma del edificio es menos importante en climas cálidos, que cuentan con una mayor radiación solar y altos valores de temperatura exterior. Se corrobora en el estudio de Danielski [3] que indica que la influencia del factor de forma es más débil en regiones con temperaturas exteriores más altas.

1.1.3. Factor de forma y orientación

Según Olgyay [13] los edificios alargados a lo largo del eje Este – Oeste, tienen un mayor aprovechamiento térmico en todas las latitudes y zonas climáticas (especialmente en los hemisferios), debido a que en los meses de invierno el eje largo del edificio absorbe una gran cantidad de radiación, mientras que en los meses de verano las superficies Este y Oeste con su menor área superficial mantienen la temperatura interna alejada del sobrecalentamiento.

Un estudio realizado en Malasya que está situado cerca de la línea ecuatorial y que tiene un clima cálido húmedo a lo largo del año y en donde la radiación solar es alta, determina que la mejor orientación de una construcción es orientar el eje largo del edificio hacia el Este - Oeste, permitiendo tener una menor ganancia de calor que pueda penetrar a través de las aberturas del eje largo, así mismo se determinó que el mayor nivel de insolación solar está en la pared Este [6].

³ *Compacidad*, se define como la relación entre el volumen y la superficie de la envolvente de un edificio determinado. Es el inverso del factor de forma [51].

El estudio realizado por Croitoru en el norte de Bucarest [27] determinó que la orientación óptima brinda un 40% de ahorro energético una vez que el resto de parámetros del edificio se encuentran optimizados. En contraparte a lo expuesto anteriormente, la investigación realizada por Abanda en Reino Unido [24] sobre la relación entre la orientación y el consumo energético en una edificación residencial unifamiliar, determinó que el ahorro energético en términos económicos es muy bajo (apenas un ahorro de 64 euros anuales, es decir, alrededor de 878 euros en el ciclo de vida estimado) en relación a obtener la orientación óptima de la edificación.

Una investigación realizada en Kuwait sobre el impacto de la forma del edificio indicó que, si bien la orientación tiene un impacto en el rendimiento energético del edificio, su efecto es casi independiente de la forma del edificio, especialmente para valores bajos de WWR (entre 0 y 0.20) (Window Wall Ratio) [28].

1.2. Envoltente del edificio

Las pérdidas de calor de un edificio dependen del área envolvente, por lo tanto, los edificios con un factor de forma menor tendrán pérdidas de calor más bajas y, por lo tanto, un consumo de energía final más bajo [3]. El área superficial óptima es aquella que permite al edificio perder la mínima cantidad de calor durante el invierno y ganar la mínima cantidad de calor en el verano [23]. Es muy importante considerar las cargas internas en las edificaciones, especialmente en el verano; para este estudio no se consideran las cargas internas en edificaciones residenciales.

Para minimizar las pérdidas de calor a través de la envolvente del edificio es deseable una forma compacta indicada por un factor de forma bajo. Por otra parte, una forma con superficies transparentes más grandes permite mayores ganancias solares. Según Hachem [2], la consideración del acceso solar en la fase de determinación de la forma del edificio es una parte esencial del diseño energético eficiente del edificio. En México la norma NOM-0-EER-2011 "*Eficiencia energética en edificaciones. Envoltente de edificios para uso habitacional*", obliga que los edificios que se construyan para uso habitacional limiten la ganancia de calor a través de su envolvente, es decir, consideran el impacto que tienen las ganancias de calor y las condiciones de confort dentro del edificio [29].

1.2.1. Acristalamiento

Como parte integrante e importante de la envolvente del edificio está el acristalamiento. De acuerdo a varios estudios, como el de Samuelson [30], el porcentaje de acristalamiento y el tipo de cristal son los parámetros con mayor relevancia en el consumo energético. Así como

lo determina Chen [31], [32], el tamaño del acristalamiento, su coeficiente de transferencia de calor U y coeficiente de ganancia solar SHGC (Solar Heat Gain Coefficient) son los parámetros de diseño más influyentes en el confort térmico y consumo energético. Las ventanas, debido a su baja resistencia térmica en comparación con las otras partes del edificio, no deben ubicarse en los frentes no deseados y fríos del edificio [33]. Se ha justificado en varios estudios existentes que las superficies acristaladas, si están orientadas hacia el Ecuador donde el potencial solar es el más alto, permiten que la radiación solar entre en el edificio. El parámetro que puede influir significativamente en la cantidad de ganancias solares y, por consiguiente, en la demanda total de energía para calefacción y refrigeración, es el porcentaje de acristalamiento WWR (Window Wall Ratio) de la fachada del edificio [2].

1.2.2. Materiales

Diferentes materiales constructivos forman parte de la envolvente de un edificio. Estos materiales son los responsables del aislamiento térmico del edificio, así como de proporcionar masa térmica para el almacenamiento de calor [14]. Ciertos materiales tienen la cualidad de absorber el calor y acumularlo lentamente en su estructura interna. Dado que requieren una gran cantidad de energía para aumentar su temperatura, los procesos de transmisión de calor por conducción a través de ellos propician un efecto de almacenamiento de calor, el cual irá liberando gradualmente conforme la temperatura a su alrededor disminuya [29]. Distintos materiales poseen distintos valores de masa térmica; hay algunos con elevada masa térmica que los hacen deseables para la construcción en climas extremos, como en los desiertos donde la temperatura exterior durante el día puede alcanzar los 40°C y los 8°C por la noche [29]. Estudios realizados en climas nórdicos obtuvieron una reducción de la demanda de calor en un 18% - 21% para los edificios con propiedades de masa térmica baja, entre un 15% - 19% para edificios con propiedades de envolvente térmica media y de 11% - 16% para edificios con altas propiedades de envolvente térmica. Se observó que el impacto del factor de forma en la demanda de calor disminuyó en los climas con temperaturas exteriores medias anuales superiores a los 14 °C, para edificios con propiedades térmicas bajas; y sobre 11 °C para edificios con altas propiedades térmicas [22].

La pérdida de calor a través de la construcción exterior (paredes y techos) se calcula inmediatamente a la hora de máximo flujo térmico, después de algunas horas de temperaturas exteriores muy bajas [34].

1.2.3. Infiltración

Otro parámetro influyente que siempre está presente es la infiltración de aire en la envolvente del edificio, siendo una fuente importante de pérdida y ganancia de calor, ya que un ambiente con fugas de aire puede resultar en la necesidad de suministrar mucho más calor durante los meses de invierno [10], [23]. Una reciente auditoría energética realizada por RDH Building Consultants reveló que los denominados Edificios de Unidades Residenciales Múltiples (MURB, Multi Unit Residential Buildings) con fugas de aire en Vancouver podría llegar a tener una pérdida anual de calor del 20% anual, de la misma manera el DOE (Departamento de Energía de los Estados Unidos) ha indicado que hasta el 40% de la energía consumida para calentar o enfriar un edificio es el resultado de fugas de aire [10].

1.3. Confort térmico

El confort térmico es una variable subjetiva que depende de varios factores, tanto ambientales como sociológicos. Sin embargo, aunque los climas, las condiciones de vida y las culturas difieran a lo largo del mundo, los rangos en los cuales la gente elige ubicar el confort térmico bajo condiciones similares de vestimenta, actividad, humedad y velocidad de aire son muy parecidos [35]. El comportamiento térmico (o el confort térmico) de las edificaciones depende de varios factores ambientales y constructivos.

Lograr el confort de los ocupantes es una prioridad que tiene un gran efecto en la demanda de energía, particularmente en zonas de clima frío [10]. Conociendo el modo de captación y transformación de energía en el edificio, es decir su respuesta térmica en función del clima, se pueden elegir las opciones arquitectónicas óptimas para crear un hábitat interior confortable, con un mínimo aporte de energía [36].

En Suecia, la temperatura interior en las áreas de los apartamentos debe satisfacer las condiciones mínimas de confort térmico [3], que según ASHRAE [37], la zona de confort para la temperatura operativa⁴ está entre 20 °C y 25 °C. De acuerdo a las condiciones del clima y a las estaciones, ya sea invierno o verano, los criterios de confort y el grado más alto de satisfacción se alcanza en una temperatura operativa de 22 °C en invierno y 25° C en verano. Dependiendo del clima exterior, las propiedades físicas de los componentes y el tipo de sistemas tecnológicos en uso, las diferentes superficies dentro de una habitación pueden presentar temperaturas diferentes, teniendo en cuenta que estas temperaturas no difieran demasiado de la temperatura ambiente [11].

⁴ *Temperatura operativa*, es la media aritmética entre la temperatura seca del aire y la temperatura radiante media de los cerramientos del local [21].

Un estudio en edificios residenciales de Reino Unido, relacionó la compensación que podría existir entre el costo y el confort. Los resultados de la comparación de los estudios para las 9 pm. muestran que la temperatura en una habitación tiene una distribución de frecuencias estrecha con la mayoría de las temperaturas comprendidas entre los 19 °C y 22 °C; la mayor diferencia radica en la media diaria y la temperatura en otras zonas de la casa. Los ahorros de energía más eficaces que se determinaron inciden en el control y contaminación de calor en la habitación [38].

1.3.1. Confort térmico y acristalamiento

Según Bojic y Yic [18], en edificios con sistemas activos, el área de acristalamiento no influye directamente en el confort térmico sino en el consumo de energía que está conectado con las condiciones interiores. En contraparte, Chen, muestra que el tamaño del acristalamiento, su coeficiente de transferencia de calor (U) y el coeficiente de ganancia solar (SGCH) son los parámetros de diseño más influyentes en el confort térmico y consumo energético [39]. Las ganancias solares interiores se reducen en un 82% con el uso de protecciones solares en superficies acristaladas; esta ganancia de calor a través de un vidrio ordinario depende de su situación geográfica (latitud), del instante considerado (hora, mes) y de su orientación, que inciden en el confort térmico [7].

1.3.2. Confort térmico e infiltración

La infiltración es un parámetro importante en el confort térmico. Chen [30] obtuvo valores de hasta el 30% de importancia relativa de la infiltración en el confort térmico, dependiendo de las cargas térmicas consideradas y del criterio de confort. El caudal de aire de infiltración varía de acuerdo a ciertos factores, como la estanqueidad de puertas y ventanas, dirección y velocidad del viento, llegando a tener un valor considerable que llegaría a producir una introducción de frío o calor en el ambiente interior y por consiguiente una incidencia directa en el confort y carga térmica [34].

1.3.3. Confort térmico y materiales

Un estudio realizado por el INER [7] en el cantón Urcuquí, concluyó que por medio del uso de materiales aislantes se incrementaron las horas de confort térmico y se disminuyó la oscilación de temperatura al interior. En la mayoría de los materiales de construcción la resistencia térmica del material es mucho menor que la resistencia térmica del aire; por eso la mayor parte del calor radiado será almacenado; no obstante a medida que continúa este proceso de absorción del calor radiante, el material se calienta progresivamente, aumenta el calor radiado por el mismo y disminuye el almacenamiento neto de calor [34].

2. METODOLOGÍA

Este estudio pretende establecer la influencia del factor de forma en edificaciones de la ciudad de Quito, analizando las ventajas y desventajas, desde el punto de vista energético, de la forma del edificio de acuerdo a las condiciones climáticas locales. Se establece un marco de trabajo para el desarrollo de la metodología del estudio, estableciendo las siguientes fases como se muestra en la Figura 2.1:

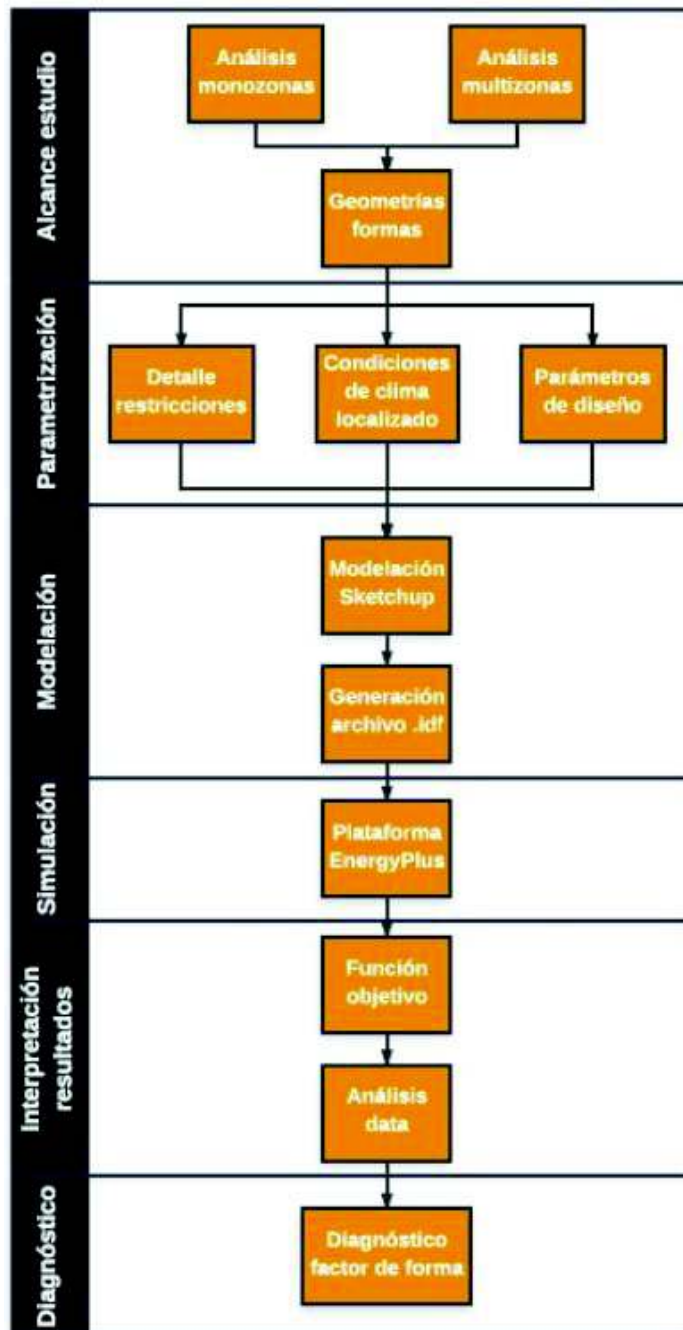


Figura 2.1. Proceso del estudio.
(Fuente: Propia)

Definidas por:

Fase 1. Alcance estudio, consideraciones iniciales de caracterización de tipo de edificios a estudiar y sus diferentes formas.

Fase 2. Parametrización, definición de entradas de simulación.

Fase 3. Modelación, desarrollo de la información geométrica y generación de archivos previos a la simulación.

Fase 4. Simulación, experimentación computacional de análisis energético.

Fase 5. Interpretación de resultados, aplicación de procesos estadísticos para analizar los datos específicos del estudio.

Fase 6. Diagnóstico, evaluación y conclusión.

2.2. Alcance del estudio

Dentro del alcance del estudio, las características de las edificaciones a ser evaluadas se definen de acuerdo a las consideraciones climatológicas locales y formas de edificaciones. La simulación de estas configuraciones se llevará a cabo para viviendas monozonales y multizonales. Una vivienda monozonal se define como la representación de la edificación como un volumen de control establecido en una zona única con equilibrio higrotérmico, mientras que una vivienda multizonal es la representación de la edificación como varias zonas en equilibrio higrotérmico.





2.2.1. Formas de los edificios

Se identificó que el factor de forma de un edificio es una medida de la compacidad del edificio y expresa la relación entre el área de la envolvente del edificio y su volumen [22]. En este estudio se mantendrán constantes el volumen, altura y área del piso de la edificación en sus distintas formas estudiadas [6].

Se realiza la evaluación para dos escenarios: monozonal y multizonal.

Para el escenario monozonal se realizan dos configuraciones de las formas de los edificios modelados representado en la Tabla 2.1 y la segunda con la configuración monozonal que precede se puede ver en la Tabla 2.2.








Tabla 2.1. Formas de edificaciones monozonales en primer análisis (vista de planta).

CUADRADO	RECTÁNGULO	L	U
			



(Fuente: Propia)

Tabla 2.2. Formas de edificaciones monozonales en segundo análisis (vista de planta).

R1	R2	R3	C	R4	R5	R6
						



(Fuente: Propia)

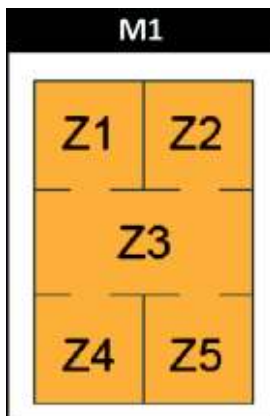
Donde:

C = forma cuadrada

R1, R2, R3, R4, R5 y R6 = forma rectangular (de las dimensiones mostradas en Tabla 2.5)

Para el escenario multizonal se realiza la configuración de la forma rectangular dividida en 5 zonas, representada en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Forma de edificación multizonal (vista de planta).



(Fuente: Propia)

2.3. Parametrización

En la parametrización son definidos los materiales constructivos, las condiciones climáticas y orientación, la distribución de espacios en la edificación y la determinación de restricciones, los cuales son detallados a continuación [40]:


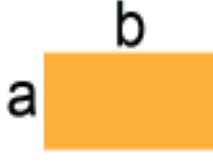
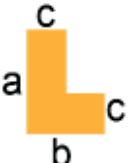
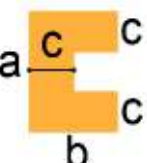
2.3.1. Detalle de las restricciones y factores de forma

Como parte de la evaluación del factor de forma en diferentes geometrías se establece las siguientes restricciones dimensionales para la modelación de las edificaciones:

- Se establece el área de 36 m² a la superficie de planta de la vivienda y se mantiene constante en las distintas formas de las edificaciones. El dimensionamiento de la superficie tiene como base al estudio realizado por Castro [41].
- La altura de piso a techo para tipo de vivienda residencial es constante y se ha considerado de 2,3 m de acuerdo a la Norma de Arquitectura y Urbanismo del Distrito Metropolitano de Quito [42].
- El volumen interno de cada edificación permanece constante para todas las formas de edificación.

Con estos detalles definidos se realiza el dimensionamiento de los elementos a evaluar, como se muestra en la Tabla 2.4. y Tabla 2.5. para monozonas y la Tabla 2.6. para multizonas.

Tabla 2.4. Dimensionamiento de edificaciones monozonales en primer análisis (vista de planta).

	CUADRADO	RECTÁNGULO	L	U
				
a (m)	6	4	10	8
b (m)	6	9	5	5,7
c (m)			3	2,5
d (m)	2,3	2,3	2,3	2,3
Volumen (m3)	82,8	82,8	82,8	82,8
Area superficie (m2)	36	36	36	36
Perímetro (m)	24	26	30	33,8
Area envolvente (m2)	127,2	131,8	141	149,7
Factor de forma (AE/V)	1,536	1,592	1,703	1,808

(Fuente: Propia)

Tabla 2.5. Dimensionamiento de edificaciones monozonales en segundo análisis (vista de planta).

	R1	R2	R3	C	R4	R5	R6
a (m)	18	20,8	23,6	6	1,5	1,7	2
b (m)	2	1,7	1,5	6	23,6	20,8	18
d (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Volumen (m ³)	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8	82,8
Area superficie (m ²)	36	36	36	36	36	36	36
Perímetro (m)	40	45,1	50,2	24	50,2	45,1	40
Area envolvente (m ²)	164	175,7	187,5	127,2	187,5	175,7	164
Factor de forma (AE/V)	1,981	2,122	2,264	1,536	2,264	2,122	1,981

(Fuente: Propia)

Tabla 2.6. Dimensionamiento de edificaciones multizonales (vista de planta).

MULTIZONA					
	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
ancho (m)	2	2	4	2	2
largo (m)	3	3	3	3	3
d (m)	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
Volúmen (m ³)	13,8	13,8	27,6	13,8	13,8
Area superficie (m ²)	6	6	12	6	6
Perímetro (m)	10	10	14	10	10
A. Envolvente (m ²)	35	35	56,2	35	35

(Fuente: Propia)

Quitar valores de factor de forma.

Donde **a**, **b** y **c** corresponde a los lados de las distintas formas y **d** es la altura de la edificación.

2.3.2. Condiciones locales de clima

Para el cálculo energético de edificaciones, se requiere los datos climatológicos del sitio [6].

De acuerdo a la ASHRAE se consideran seis características para el cálculo energético [37]:

- Las características del edificio.
- La configuración del edificio.
- Condiciones internas de diseño.
- Condiciones externas de diseño
- Horarios de operación o de uso.
- Fecha y hora.

El dato del clima es un parámetro determinante para el cálculo de la simulación energética de la edificación para la localidad seleccionada [6]. El clima, la temperatura, la precipitación, la radiación solar y otros parámetros son tomados del International Weather for Energy Calculations (IWEC) de EnergyPlus [25] para la ciudad de Quito.

2.3.3. Parámetros de diseño

Para la investigación los parámetros de diseño vienen dados en las características de las condiciones de frontera, el material del área envolvente del edificio, la cantidad y orientación del acristalamiento y las infiltraciones.

2.3.3.1. Condiciones de frontera

Se establecen dos condiciones de frontera para la evaluación del factor forma de las edificaciones tanto para monozona como multizona:

- a. Techo expuesto (**TE**) a la radiación solar e incidencia del viento. El piso se considera como una superficie adiabática, que representa una casa común de una sola planta o un departamento ubicado en el último piso de un edificio.
- b. Techo y piso son consideradas como superficies adiabáticas (**TA**), que simula un departamento de un edificio entre el primer y penúltimo piso.

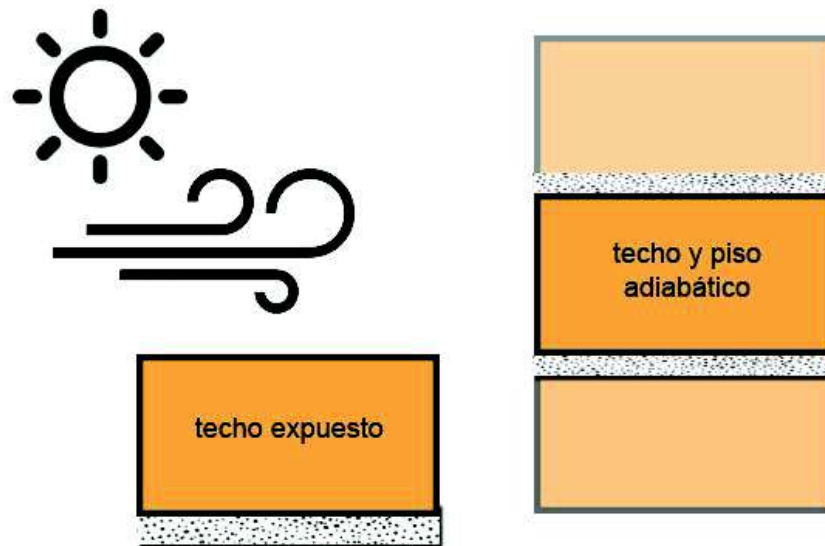


Figura 2.2. Condiciones de frontera.
(Fuente: Propia)

- c. Para el escenario multizonal se establecen dos condiciones de borde (A1 y A2) para las paredes exteriores de la edificación. La condición de borde A1 presenta tres superficies exteriores como adiabáticas, mientras que la condición de borde A2

presenta dos de las caras exteriores como adiabáticas tal como se muestra en la Figura 2.3. La configuración para el escenario multizonal se lo realiza en base al estudio de la Universidad de Cuenca sobre “La vivienda económica” [8].

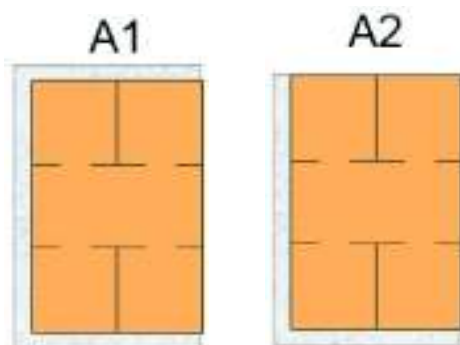


Figura 2.3. Condiciones de frontera.
(Fuente: Propia)

2.3.3.2. Material de la envolvente

El material constructivo para la envolvente de la edificación, que contempla el piso, las paredes y el techo son definidos de acuerdo a la información de materiales constructivos de edificaciones proporcionada por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC) [43]. El piso y techo se establecen de hormigón y las paredes de ladrillo.

Para el estudio el material constructivo está definido por la masa térmica de la envolvente, la cual depende de la densidad, capacidad calorífica específica y espesor del material envolvente. Se establece al espesor del material como la característica de identificación de la masa térmica para los casos a analizarse.

Para la evaluación del estudio en el escenario monozonal se establecen tres masas térmicas diferentes, que componen la envolvente de la edificación, cuyas propiedades y características se detallan en la Tabla 2.7. Para el escenario multizonal se realiza la evaluación para masa térmica media.

Tabla 2.7. Propiedades de masas térmicas de la envolvente.

	Material	Conductividad térmica (W/m-K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/Kg-K)	MASA TÉRMICA		
					Baja (cm)	Media (cm)	Alta (cm)
PISO	Hormigón	1,13	1920	790	10	20	30
PARED	Ladrillo	0,89	1000	1000	10	20	30
TECHO	Hormigón	1,13	1920	790	10	20	30

(Fuente: Propia)

Masa térmica baja (**MTB**), masa térmica media (**MTM**) y masa térmica alta (**MTA**).

2.3.3.3. Infiltraciones

Las infiltraciones se dan por el intercambio de aire del edificio y el exterior, que se presenta por grietas en ventanas, puertas y otras discontinuidades en la fachada del edificio. El cambio de aire por hora o por sus siglas en inglés Air Change per Hour (ACH) se establece como un parámetro para el estudio y con tres tasas de infiltración: 0, 1 y 2. Estos valores representan la renovación del aire en el volumen dado por hora. En el caso de la tasa de infiltración 0 ACH corresponde a tener una envolvente hermética. Para los posteriores análisis de las simulaciones los valores de infiltración permanecen constantes durante todo el día y todo el año.

Tabla 2.8. Tasas de infiltración.

Infiltraciones	
I_0	0 ACH
I_1	1 ACH
I_2	2 ACH

(Fuente: Propia)

2.3.3.4. Orientación y porcentaje de acristalamiento

Para el acristalamiento se consideran ventanas de vidrio simple de 6 mm, cuyas propiedades se detalla en la Tabla 2.9.

Tabla 2.9. Propiedades del acristalamiento.

PROPIEDADES ACRISTALAMIENTO	VALOR
Espesor (m)	0,006
Transmitancia solar a incidencia normal	0,775
Reflectancia solar del lado frontal a incidencia normal	0,071
Reflectancia solar del lado posterior a incidencia normal	0,071
Transmitancia visible a incidencia normal	0,881
Reflectancia visible del lado frontal a incidencia normal	0,08
Reflectancia visible del lado posterior a incidencia normal	0,08
Transmitancia infrarroja de incidencia normal	0
Emisividad hemisférica infrarroja del lado frontal	0,84
Emisividad hemisférica infrarroja del lado posterior	0,84
Conductividad (W/m-K)	0,9










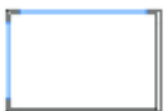






(Fuente: Elaboración propia. Datos tomados de [41])


Al considerarse el porcentaje de acristalamiento (Window Wall Ratio, WWR) en base a la superficie envolvente vertical de la edificación, se establecen dos valores del 10% (**WWR10**)

y 20% (**WWR20**), los cuales permiten que la incidencia de acristalamiento pueda ser evaluada en cada orientación de acuerdo al dimensionamiento de las fachadas.

La orientación de las edificaciones se definió a 0 grados respecto al Norte para el primer análisis de monozona, mientras que para el segundo análisis de monozona para 0 y 90 grados respecto al Norte. La ubicación del acristalamiento se presenta en cuatro configuraciones: V1 (Norte-Sur), V2 (Este-Oeste), V3 (Norte-Oeste) y V4 (Sur-Este), los cuales se disponen en orientaciones representativas para los dos análisis del estudio, tal como se representa en las Tablas 2.10. y 2.11.




















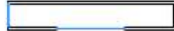








Tabla 2.10. Orientación y posición de acristalamiento monozona para el primer análisis.

FORMAS				
CONF.	CUADRADO	RECTANGULAR	L	U
V1 (N - S)				
V2 (E - O)				
V3 (N - O)				
V4 (S - E)				



(Fuente: Propia)

Tabla 2.11. Orientación y posición de acristalamiento monozona para el segundo análisis.



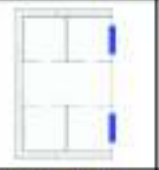



CONF.	CUADRADO	FORMAS					
		R1	R2	R3	R4	R5	R6
V1	 (N - S)						
V2	 (E - O)						
V3	 (N - O)						
V4	 (S - E)						



(Fuente: Propia)

Para el escenario multizonal se establece el porcentaje de acristalamiento de 20% (**WWR20**), acorde al estudio de la Universidad de Cuenca sobre “La vivienda económica” [8]. La ubicación del acristalamiento se presenta en seis configuraciones, tal como se representa en la Tabla 2.12.

Tabla 2.12. Orientación y posición de acristalamiento en multizona.

CONF.	M1
VZ1	
VZ2	
VZ3	
VZ4	
VZ5	
VZ6	



(Fuente: Propia)

2.3.3.5. Orientación de edificación en multizonas.

Para el escenario multizonal se establecen dos orientaciones para la edificación a 0 y 90 grados con respecto al norte, de acuerdo a la Figura 2.4.

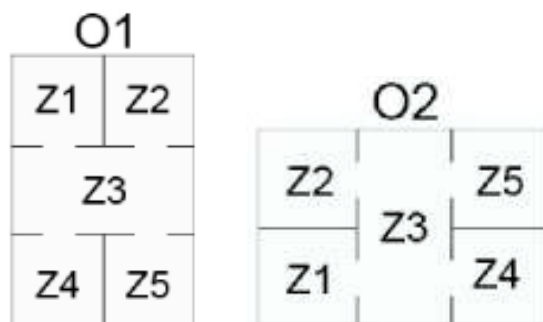


Figura 2.4. Condiciones de orientación.
(Fuente: Propia)

2.4. Modelación

2.4.1. Modelación SketchUp

Para el proceso de modelación se utiliza el software SketchUp, que es un programa informático de diseño y modelado en tres dimensiones, basado en caras, para entornos arquitectónicos y de ingeniería [44] que establece una interface con EnergyPlus para la ejecución de la simulación energética; este software combina un conjunto de herramientas sencillas y potentes que simplifican el diseño 3D para una mejor comprensión.

El plug-in Legacy OpenStudio usado en SketchUp, ayuda a crear y editar la geometría de las construcciones en los archivos de entrada (.idf) de EnergyPlus, permitiendo crear y editar las zonas térmicas. La interacción entre SketchUp y el plug-in Legacy Open Studio, permite introducir la información sobre los elementos constructivos seleccionados, pero que puede ser adaptada y modificada en EnergyPlus [44].

Una vez definidos los parámetros y dimensiones, con la ayuda de SketchUp se realizan los modelos en 3D de las distintas formas consideradas y en las configuraciones que se muestran en las siguientes gráficas:

- Modelado en SketchUp para las 4 formas definidas del primer análisis de monozona, en la Figura 2.5, se muestran las monozonas con un porcentaje de acristalamiento del 20% y de acuerdo a la configuración V4, es decir, la posición del acristalamiento en las paredes Sur y Este:

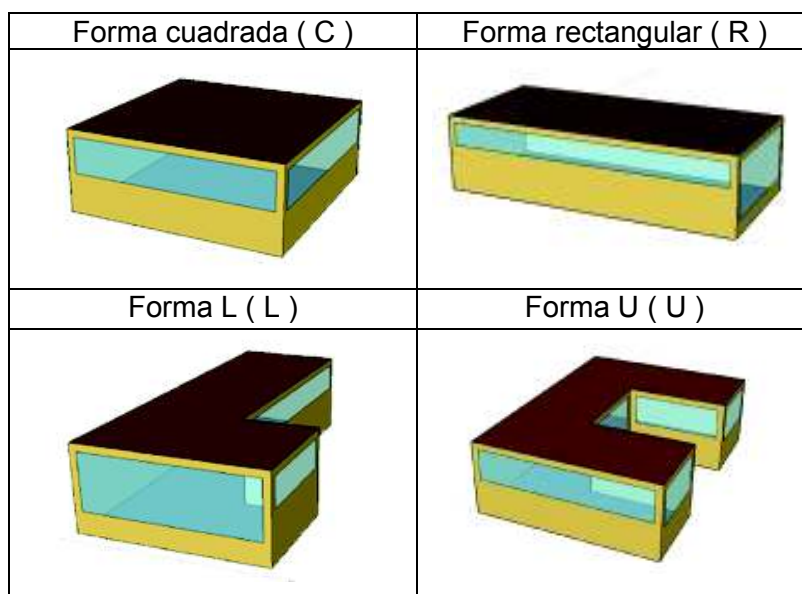


Figura 2.5. Modelación monozonas de primer análisis.
(Fuente: Propia)

- Modelado en SketchUp, para las 7 formas definidas del segundo análisis de monozona, en la Figura 2.6, se muestran las monozonas con un porcentaje de acristalamiento del 10% y de acuerdo a la configuración V4, es decir, la posición del acristalamiento en las paredes Sur y Este:

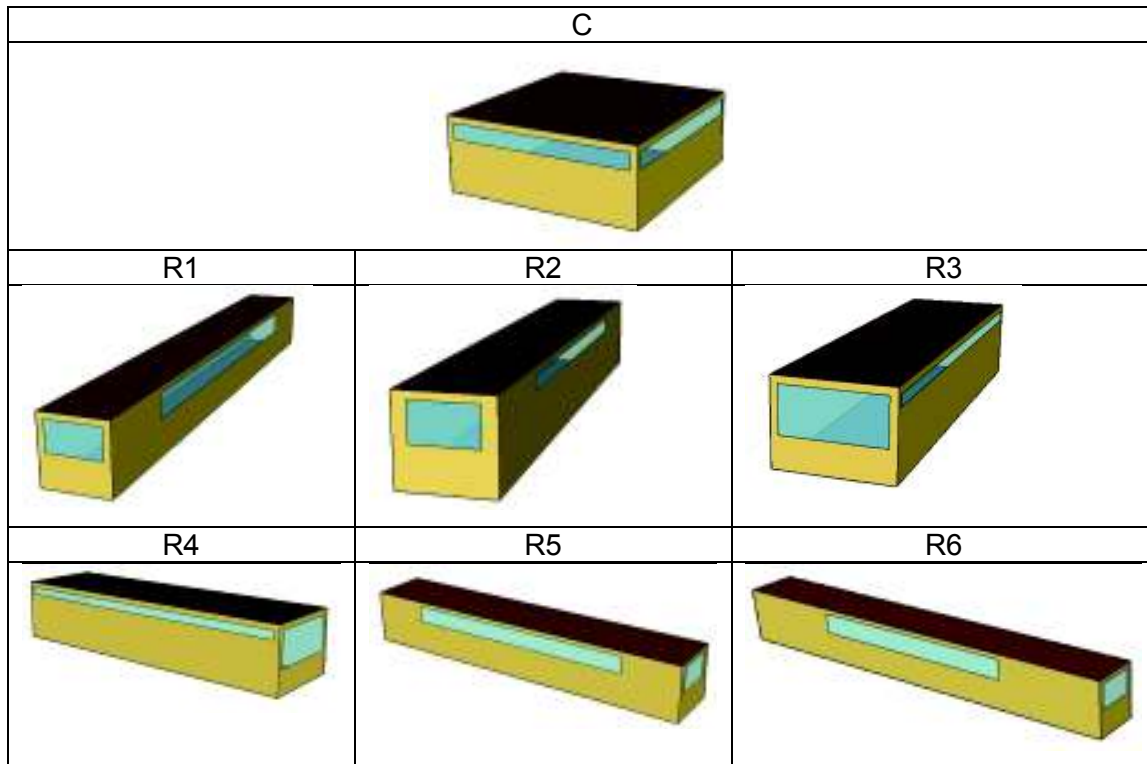


Figura 2.6. Modelación monozonas de segundo análisis.
(Fuente: Propia)

- Modelado en SketchUp del escenario multizona, en la Figura 2.7, se muestran las 5 zonas de acuerdo a la configuración VZ4, con un porcentaje de acristalamiento del 20%:

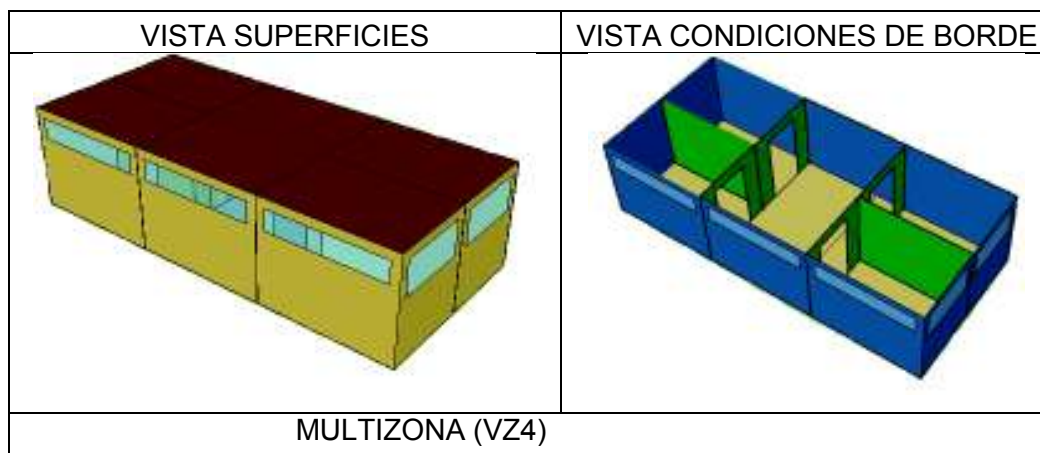


Figura 2.7. Modelación de multizonas.
(Fuente: Propia)

2.4.2. Generación archivos IDF

Con la ayuda del plug-in OpenStudio se generan las zonas y selecciona la salida de EnergyPlus Estándar (ESO) de archivo correspondiente a su modelo actual de las IDF. Los archivos (.idf) de EnergyPlus, son los que permiten añadir todas las características de los recintos a simular [44], aquí se puede seleccionar los elementos que componen la estructura del modelo, es decir, aquí se especifica la ubicación, situación geográfica, las características de los materiales que serán usados y todas los parámetros que serán usados para la simulación.

2.5. Simulación

2.5.1. EnergyPlus

Para la simulación, todos los parámetros de diseño son ingresados en la plataforma de EnergyPlus con el fin de obtener el comportamiento energético de la vivienda de acuerdo al factor de forma [45].

EnergyPlus es un motor de simulación energética integral de código abierto basado en los programas DOE-2 y BLAST desarrollados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos. Ha sido utilizado en varios estudios de comportamiento térmico y energético de edificios [30], [16] . En la Figura 2.8 se muestra la estructura simplificada de EnergyPlus:

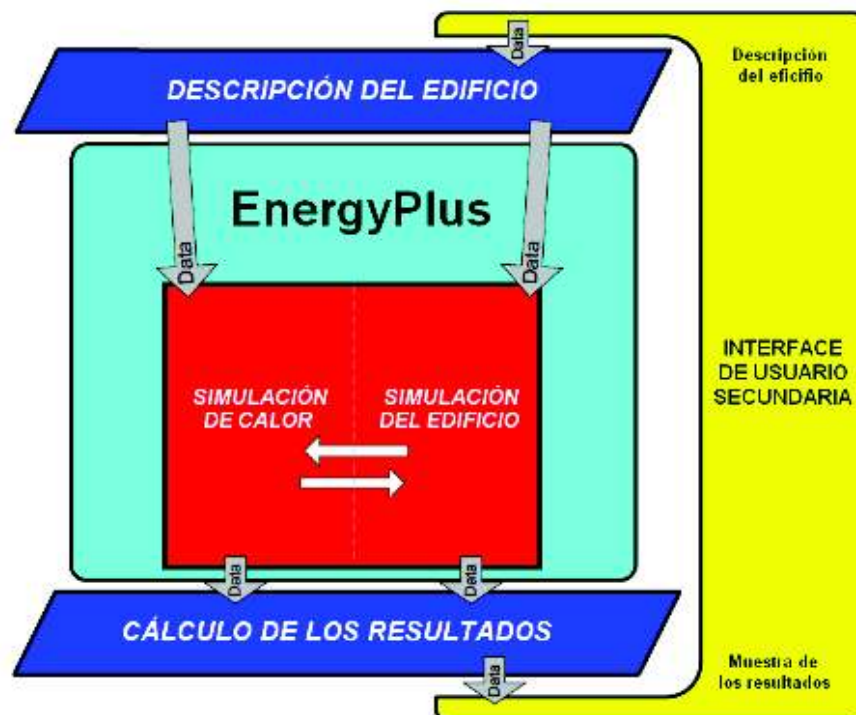


Figura 2.8. EnergyPlus estructura simplificada.
(Fuente: [44])

La estructura que presenta EnergyPlus, no cuenta con una interfaz de usuario, el objetivo es ser el motor de simulación en torno a una interfaz secundaria; sus entradas y salidas son un texto simple, pero claramente descrito. Con herramientas que permiten interactuar con EnergyPlus se logra potenciar la producción y los algoritmos. En la Tabla 2.13 se indican los parámetros y algoritmos de simulación usados en EnergyPlus, los cuales definen el modelo utilizado en el estudio.

Tabla 2.13. Atributos de simulación de EnergyPlus.

Class	Field	Value
<i>Building</i>	<i>Terrain</i>	<i>Urban</i>
	<i>Temperature convergence tolerance value [$\Delta^{\circ}\text{C}$]</i>	<i>0.4</i>
	<i>Solar distribution</i>	<i>Full exterior</i>
	<i>Maximum number of warmup days</i>	<i>25</i>
<i>Shadow calculation</i>	<i>Calculation method</i>	<i>Average over days In frequency</i>
	<i>Calculation frequency</i>	<i>20</i>
	<i>Maximum figures in shadow overlap calculations</i>	<i>15000</i>
<i>Surface convection algorithm: inside</i>	<i>Algorithm</i>	<i>TARP</i>
<i>Surface convection algorithm: outside</i>	<i>Algorithm</i>	<i>DOE-2</i>
<i>Heat balance algorithm</i>	<i>Algorithm</i>	<i>Conduction transfer</i>
<i>Zone air heat balance algorithm</i>	<i>Algorithm</i>	<i>Third order backward difference</i>
<i>Run Period</i>	<i>Begin month</i>	<i>1</i>
	<i>Begin day of month</i>	<i>1</i>
	<i>End month</i>	<i>12</i>
	<i>End day of month</i>	<i>31</i>
	<i>Day of week for start day</i>	<i>SUNDAY</i>
	<i>Use weather file rain indicators</i>	<i>YES</i>

(Fuente: [41])

Todos los atributos y algoritmos de EnergyPlus, se pueden ver en detalle y a profundidad en la documentación de Engineering Reference [46].

2.6. Interpretación de resultados

2.6.1. Función objetivo

La temperatura operativa (T_{op}), que representa el valor medio entre la temperatura media de bulbo seco y la temperatura media radiante de un espacio [7], es uno de los valores de salida relevantes de la simulación. En condiciones de edificios con espacios no acondicionados, es adecuado analizar el rango de temperaturas operativas que coinciden dentro de las condiciones de *comfort* térmico y las temperaturas operativas que están fuera de este rango consideradas como *discomfort* térmico⁵. Cabe anotar que para este estudio no se consideran cargas internas en las edificaciones modeladas.

En esta investigación la función objetivo es el **discomfort térmico**.

La Norma ASHRAE 55-2004 establece el confort adaptativo ACS [47] como la respuesta térmica de los ocupantes en edificios no acondicionados, que depende de las condiciones climáticas externas y difiere de la respuesta térmica en edificaciones acondicionados. Para determinar las condiciones térmicas aceptables en espacios acondicionados naturalmente [48], se utiliza la temperatura media exterior mensual (*mean monthly outdoor air temperature*) en conjunto con la gráfica mostrada en la Figura 2.9.

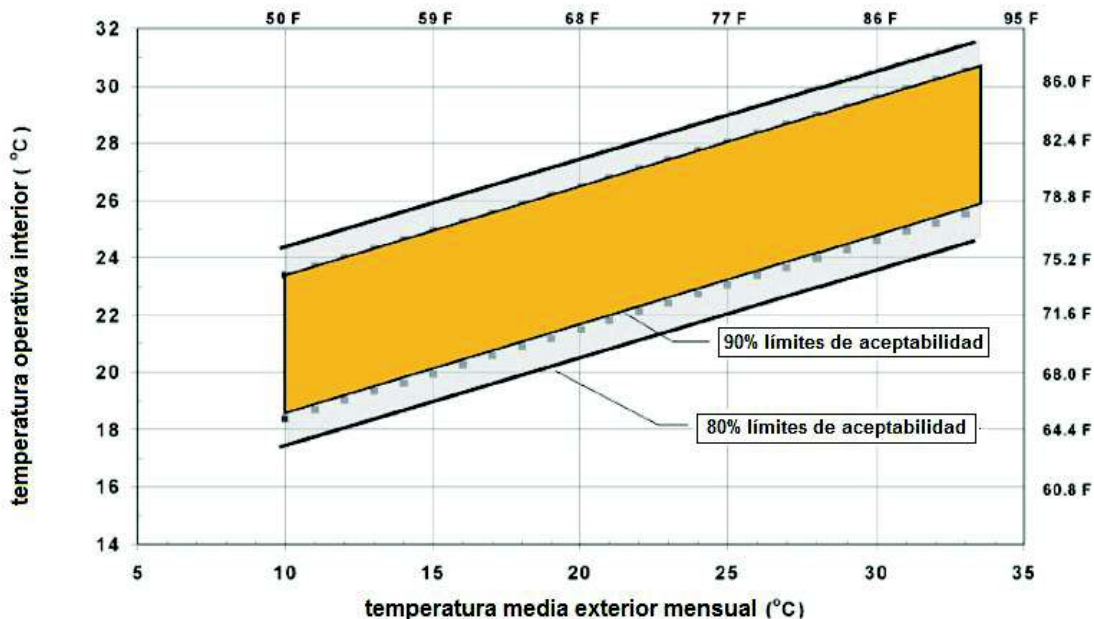


Figura 2.9. Rangos de T_{op} aceptables para espacios acondicionados de forma natural.

(Fuente: [37])

⁵ *Discomfort térmico*, mide el nivel de incomodidad térmica. El cual es igual al porcentaje de horas al año en el que la temperatura operativa de la zona térmica analizada se encuentra fuera del rango de confort definido [35].

Para la determinación numérica del rango de temperaturas de confort, inicialmente se obtiene las temperaturas exteriores máximas y mínimas diarias en el mes que al utilizar la ecuación (2.1) se obtiene la temperatura media externa para cada mes de la ciudad de Quito, la información base de temperaturas exteriores horarias son proporcionadas por los datos del archivo del *International Weather for Energy Calculations* (IWEC) de EnergyPlus [25].

$$T_{m,ext} = \frac{\overline{T_{max}} + \overline{T_{min}}}{2} \quad (2.1)$$

Donde:

$T_{m,ext}$ = temperatura media externa mensual

$\overline{T_{max}}$ = media de las temperaturas máximas diarias en el mes m

$\overline{T_{min}}$ = media de las temperaturas mínimas diarias en el mes m

Luego de encontrar las temperaturas medias externas mensuales, se determinan las temperaturas operativas de confort mensual mediante la ecuación (2.2) proporcionada por Dear y Brager [47] , dando como resultado los datos expuestos en la Tabla 2.14.

$$T_{conf(i,s)} = 0.31 T_{m,ext} + 17.8 \pm (3.5) \quad (2.2)$$

Donde:

$T_{conf(i,s)}$ = temperatura operativa de confort (superior(s) o inferior(i))

$T_{m,ext}$ = temperatura media externa mensual

Tabla 2.14. Temperaturas mensuales operativas de confort

	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tm,ext (°C)	Tconf(i) (°C)	Tconf(s) (°C)
ENERO	18,59	9,93	14,26	18,72	25,72
FEBRERO	16,98	10,05	13,52	18,49	25,49
MARZO	19,28	10,40	14,84	18,90	25,90
ABRIL	18,83	10,35	14,59	18,82	25,82
MAYO	19,29	10,72	15,00	18,95	25,95
JUNIO	18,23	10,44	14,34	18,74	25,74
JULIO	19,37	8,47	13,92	18,62	25,62
AGOSTO	19,86	9,26	14,56	18,81	25,81
SEPTIEMBRE	19,74	9,84	14,79	18,88	25,88
OBTUBRE	19,26	9,22	14,24	18,72	25,72
NOVIEMBRE	19,08	10,17	14,62	18,83	25,83
DICIEMBRE	18,30	9,97	14,14	18,68	25,68

(Fuente: Propia)

Luego se establece los valores promedio de los límites de temperatura de confort inferiores (T_i) y superiores (T_s), obteniendo el rango de temperatura de confort térmico, Tabla 2.15.

Tabla 2.15. Rango de temperatura de confort térmico

T_{conf_i} (°C)	18,76
T_{conf_s} (°C)	25,76

(Fuente: Propia)

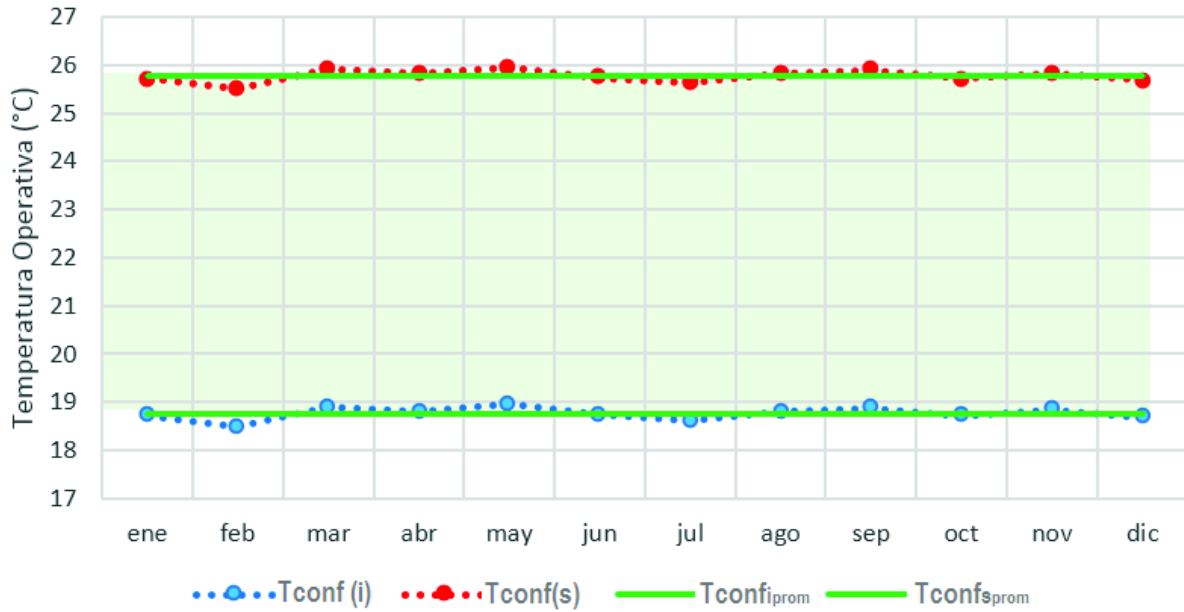


Gráfico 2.1. Rango de temperaturas de confort para Quito

Los valores obtenidos del rango de confort corresponden al 80% de aceptabilidad de los ocupantes [48].

Una vez definido el rango de temperaturas que forma parte de confort de edificaciones de espacios naturalmente ventilados, se establece dos rangos de disconfort: disconfort por sobre enfriamiento (*overcooled*) que se encuentran por debajo del límite inferior (T_{conf_i}) y disconfort por sobre calentamiento (*overheated*) al encontrarse por encima del valor superior (T_{conf_s}).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Resultados

Los resultados de la investigación que se presentan en este apartado, muestran los valores obtenidos del entorno de simulación realizado para los escenarios monozonales y multizonales. En el primer análisis monozonal para las cuatro formas de edificación (C, R, L y U) se realizaron un total 576 simulaciones, en donde se evaluaron todas las combinaciones de los parámetros establecidos (Ver Anexo I). Posteriormente se realizan 504 simulaciones para el segundo análisis monozonal, que consiste en la evaluación de los resultados obtenidos para las combinaciones de los parámetros establecidos (Ver Anexo II) para siete formas de edificación (C, R1, R2, R3, R4, R5 y R6). Para el escenario multizonal se realizaron 24 simulaciones para los parámetros establecidos (Ver Anexo III) representado por 5 zonas.

3.1.1. Evaluación del objeto de estudio

Para la evaluación del comportamiento de las temperaturas operativas de los resultados arrojados por EnergyPlus correspondiente al año 2015, inicialmente se identifica los días de mayor y menor temperatura exterior (T_{ext}) promedio diaria, tal como se lo aprecia en el Gráfico 3.1.

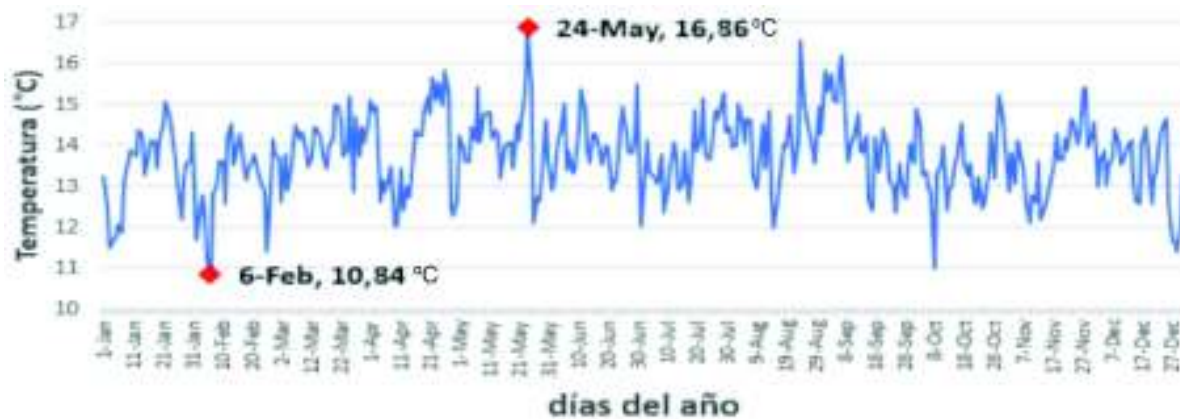


Gráfico 3.1. Temperaturas máxima y mínima exteriores promedio diarias en Quito, año 2015.

El día de mayor temperatura exterior promedio es el 24 de mayo con 16,86 °C y el día de menor temperatura promedio exterior es el 6 de febrero con 10,84 °C. Identificado estos días se realiza la comparación de las distintas configuraciones de los edificios y posteriormente se evalúa la influencia del factor de forma en función del disconfort de las edificaciones simuladas.

En el diagrama de caja que se indica en el Gráfico 3.2, se puede apreciar el comportamiento de la temperatura exterior promedio diaria para cada mes y su distribución cuartil correspondiente a la ciudad de Quito.

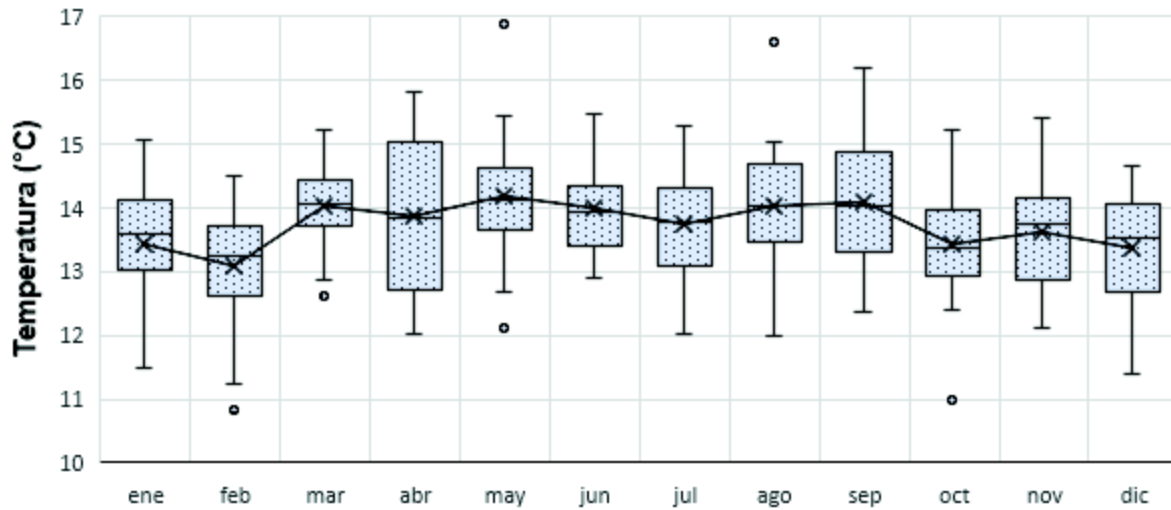


Gráfico 3.2. Diagrama de caja de la temperatura exterior mensual de Quito

En el mes de febrero gran parte de temperaturas exteriores promedio diarias se encuentran alrededor de los 13 °C, por lo que se considera como el mes más frío de ese año.

3.1.2. Resultados de simulación del primer análisis monozonea.

En el primer análisis se realiza la simulación de cuatro edificaciones con diferentes factores de forma y cuyas formas corresponden a: forma cuadrada, forma rectangular, forma L y forma U.

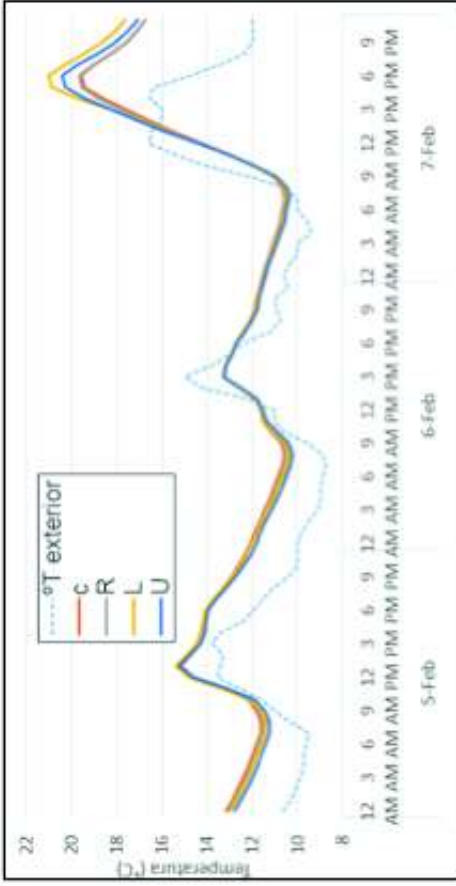
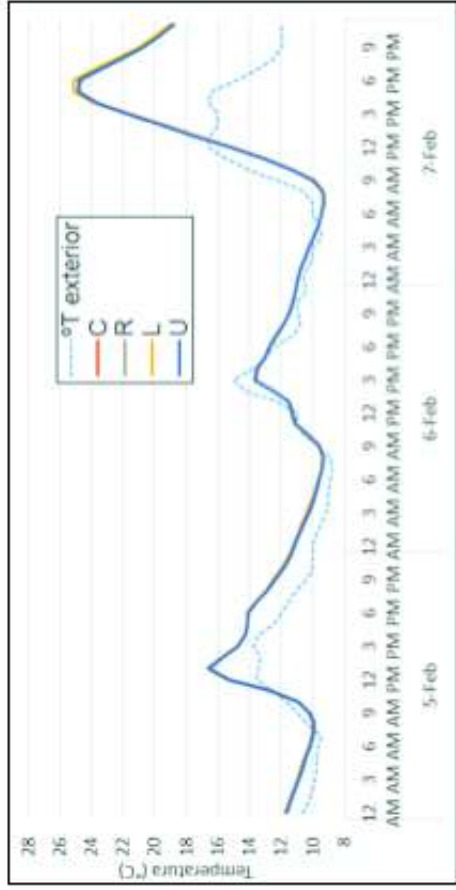
3.1.2.1. Temperatura operativa horaria

En los gráficos que se presentan a continuación, se muestra el comportamiento de las temperaturas operativas horarias (T_{op}) de los días de mayor y menor temperatura exterior para las diferentes combinaciones de los parámetros establecidos, se hace relación de acuerdo a las condiciones de borde, es decir, para edificaciones con techo expuesto (TE) y techo adiabático (TA).

TECHO EXPUESTO – WWR10% - MTB – I₂ – V1

TECHO ADIABÁTICO – WWR10% - MTB – I₂ – V1

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

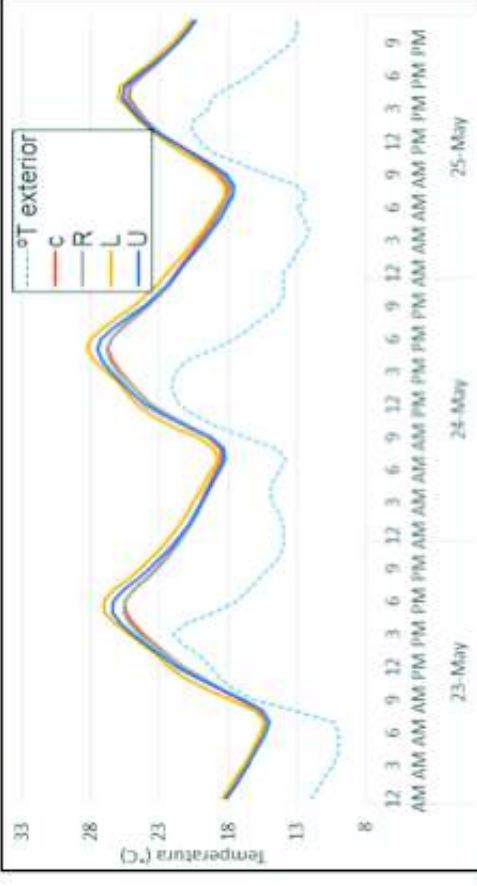
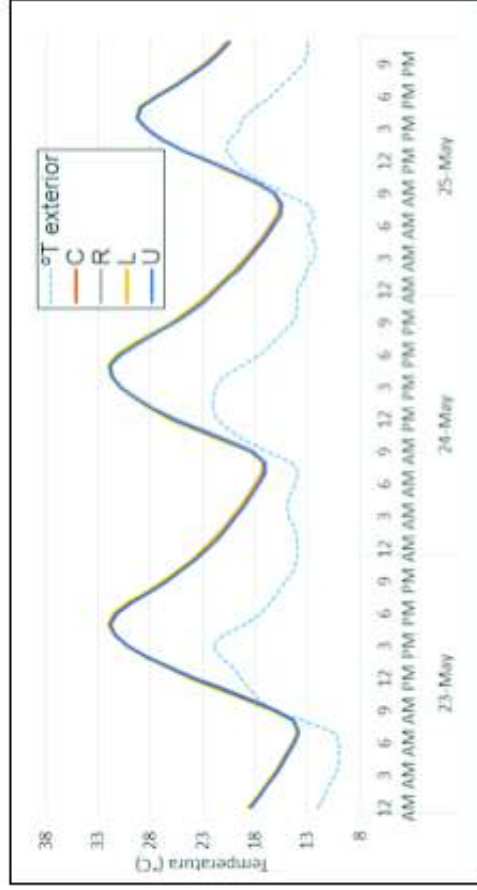
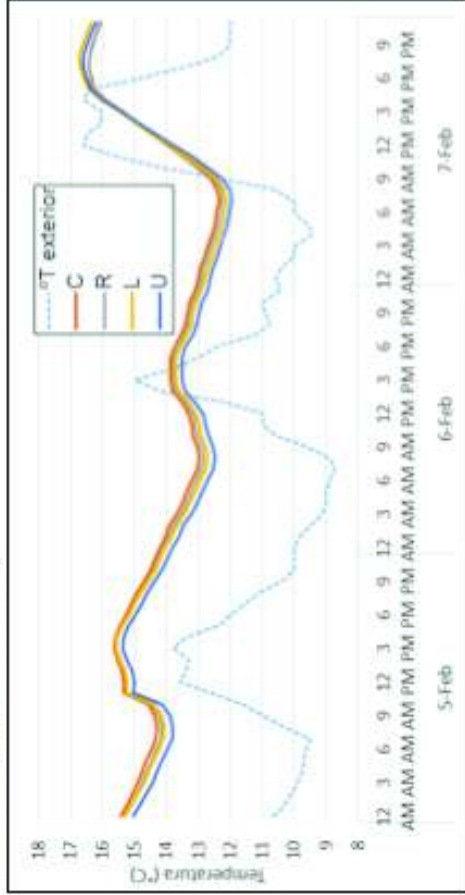
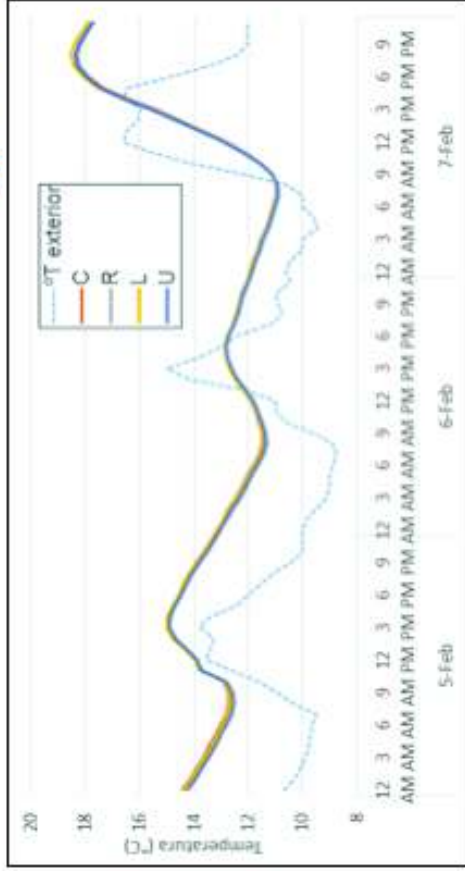


Gráfico 3.3. Temperaturas operativas horarias para las formas C, R, L y U en las condiciones: TE y TA (WWR10 – MTB – I₂ – V1).

TECHO EXPUESTO – WWR10% - MTM – I₁ – V4

TECHO ADIABÁTICO – WWR10% - MTM – I₁ – V4

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

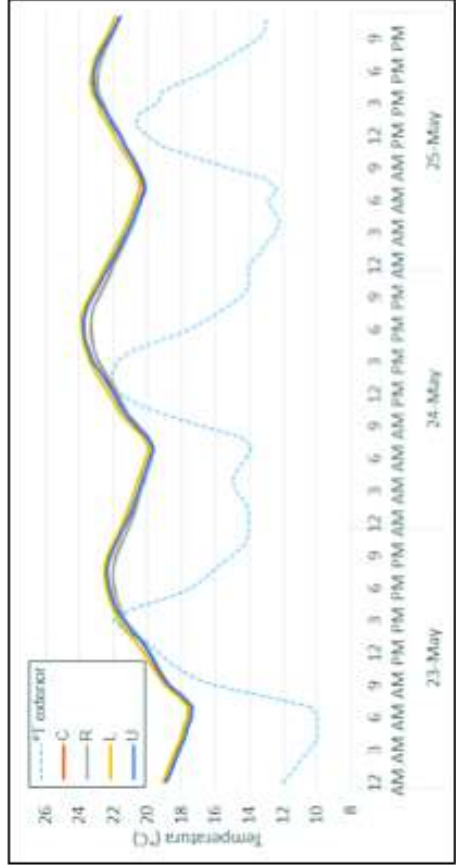
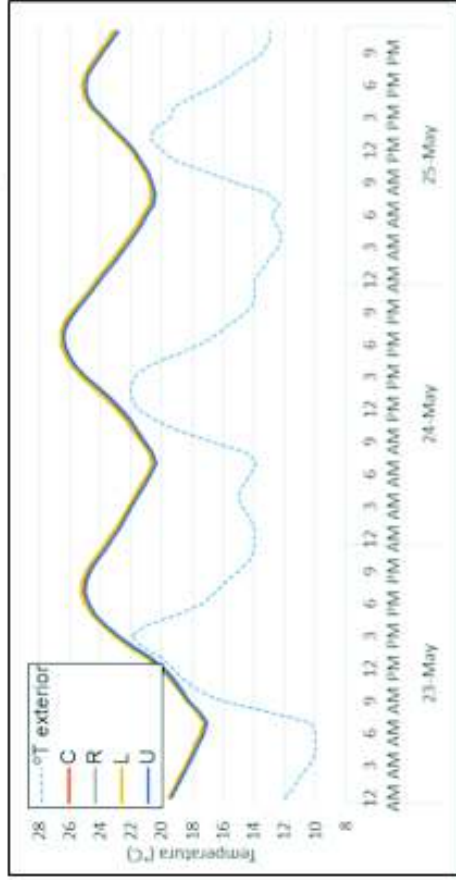
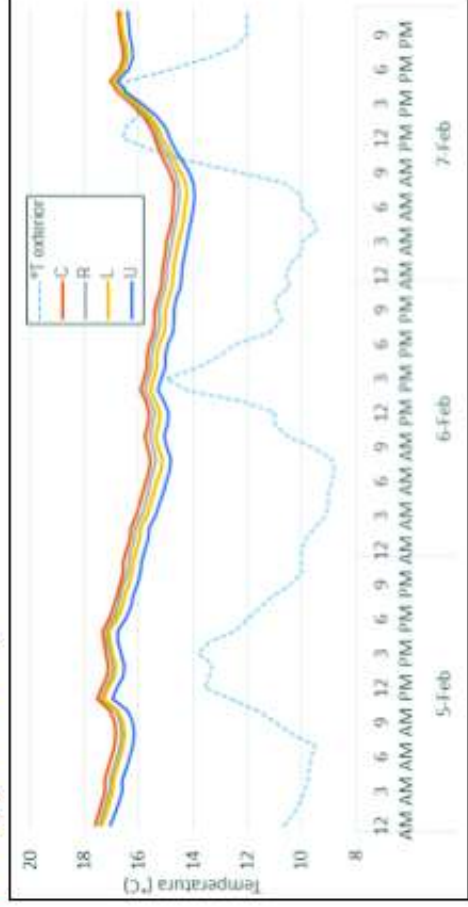
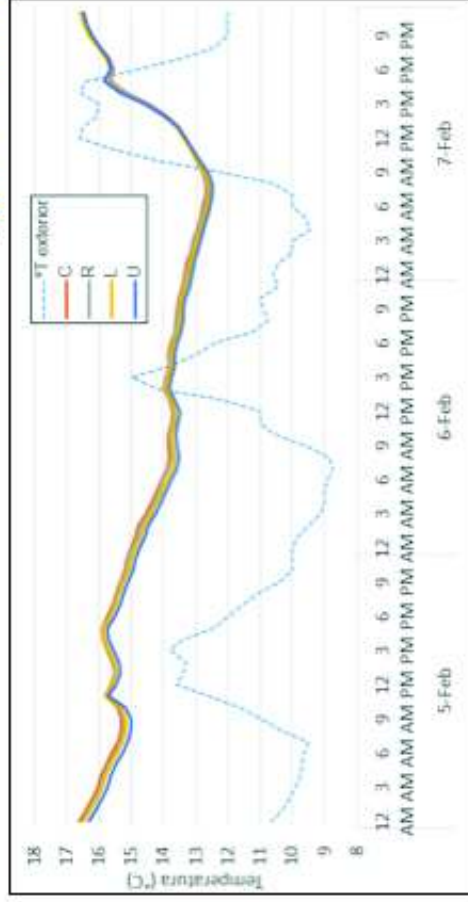


Gráfico 3.4. Temperaturas operativas horarias para las formas C, R, L y U en las condiciones: TE y TA (WWR10 – MTM – I1 –V4).

TECHO EXPUESTO – WWR10% - MTA – I₀ – V2

TECHO ADIABÁTICO – WWR10% - MTA – I₀ – V2

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

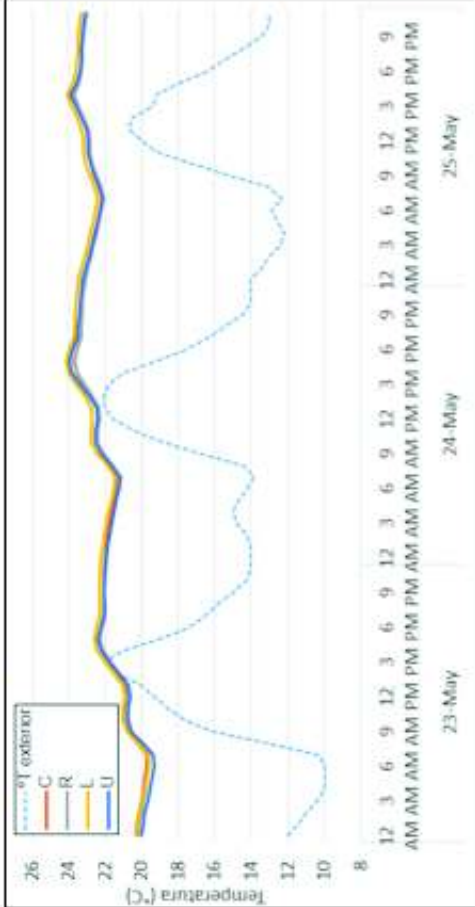
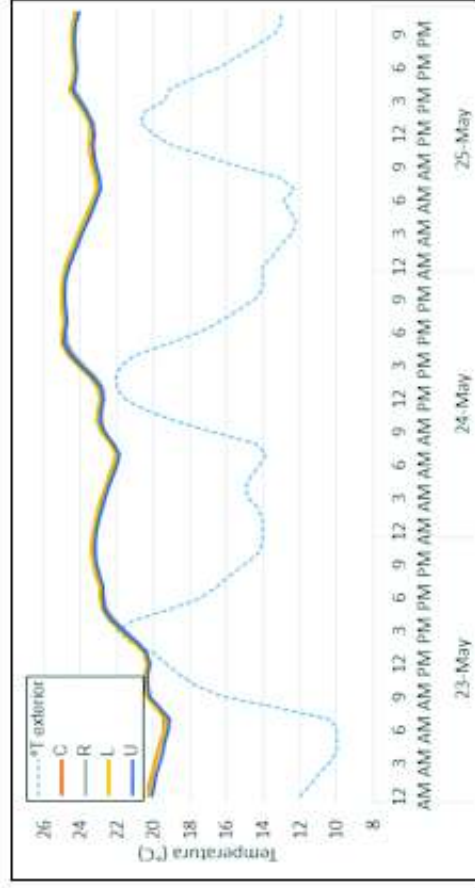
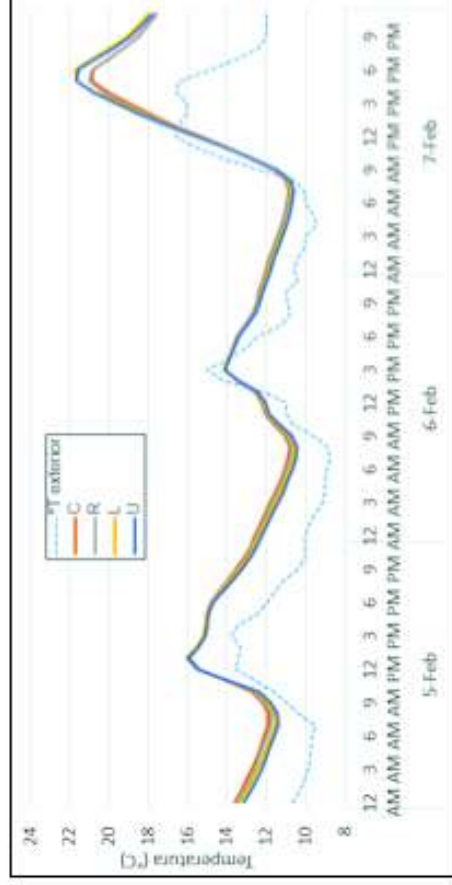
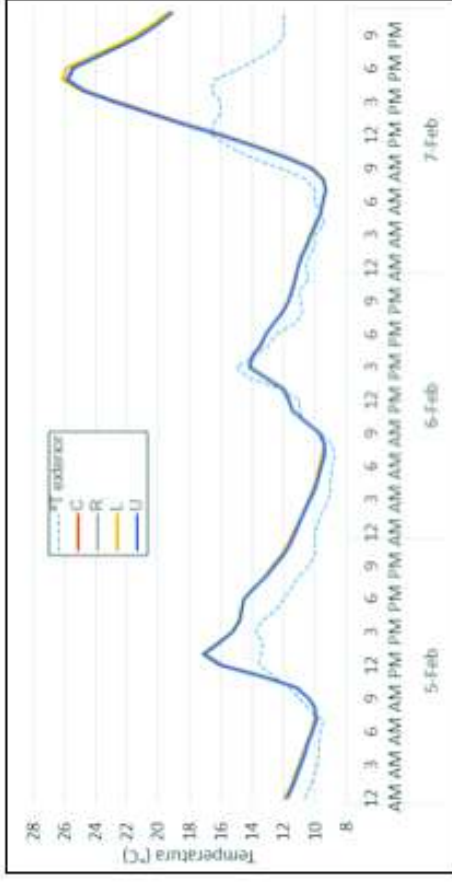


Gráfico 3.5. Temperaturas operativas horarias para las formas C, R, L y U en las condiciones: TE y TA (WWR10 – MTA – I₀ – V2).

TECHO EXPUESTO – WWR20% - MTB – I₂ – V1

TECHO ADIABÁTICO – WWR20% - MTB – I₂ – V1

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

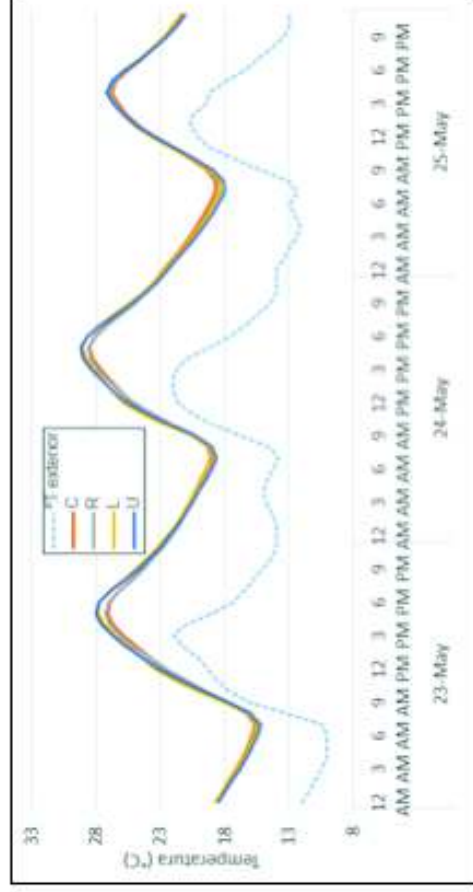
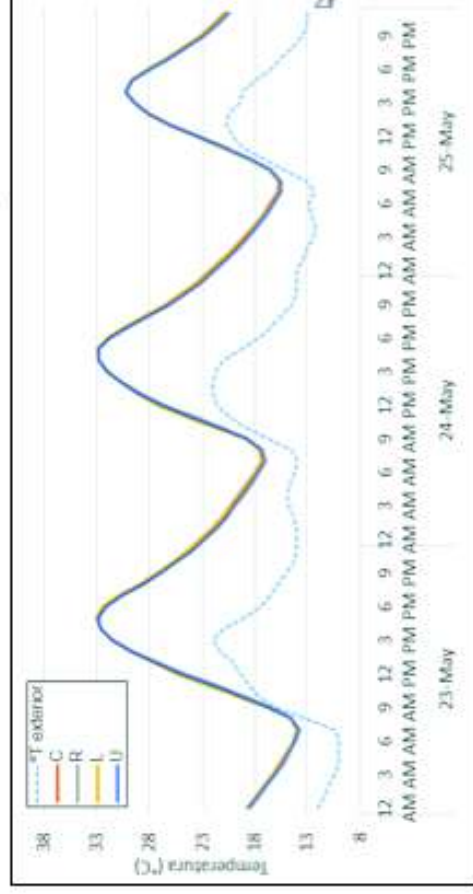
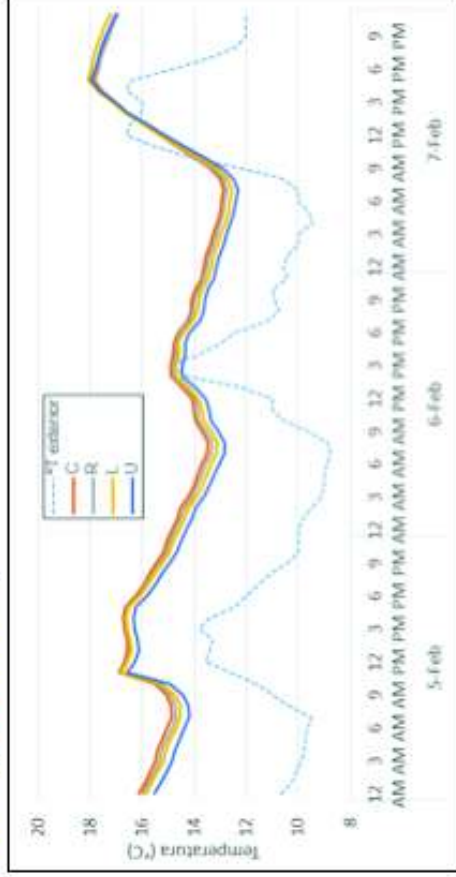
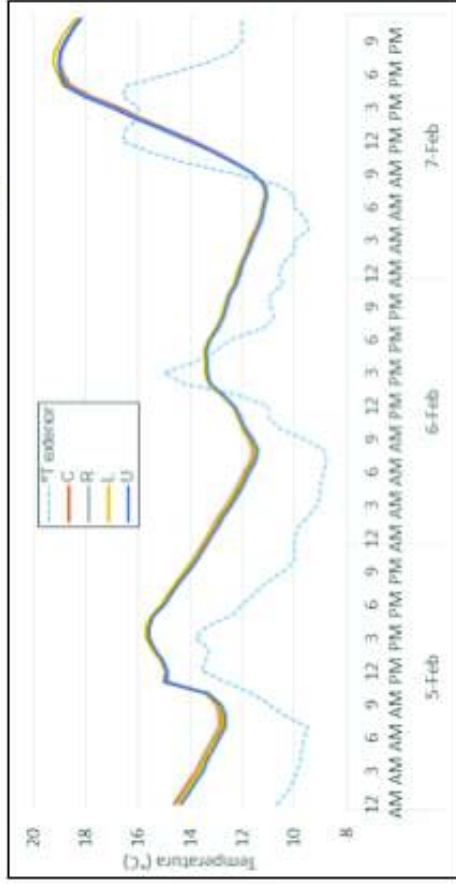


Gráfico 3.6. Temperaturas operativas horarias para las formas C, R, L y U en las condiciones: TE y TA (WWR20 – MTB – I₂ – V1).

TECHO EXPUESTO – WWR20% - MTM – I₁ – V4

TECHO ADIABÁTICO – WWR20% - MTM – I₁ – V4

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

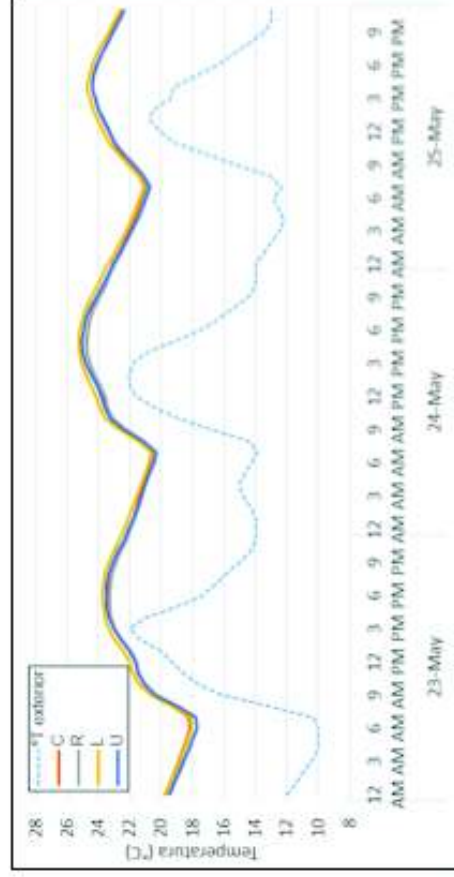
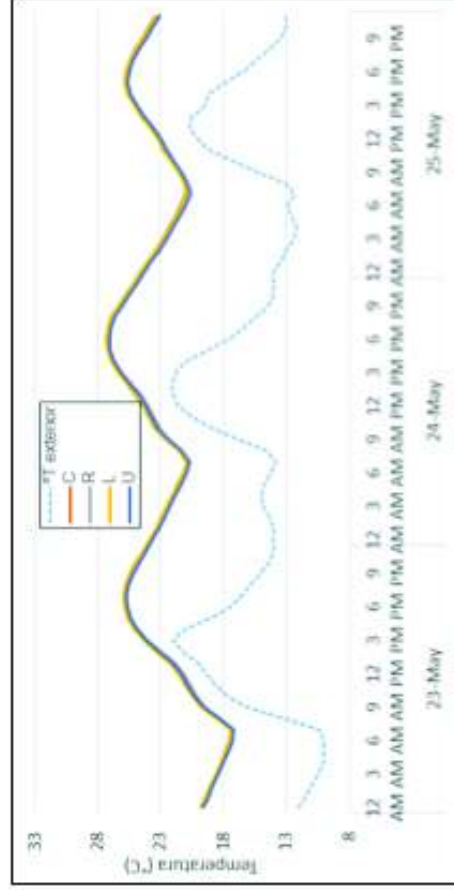
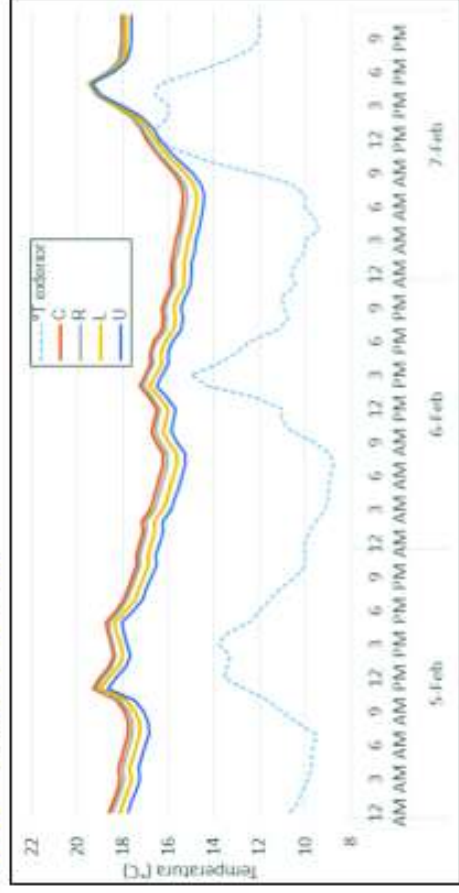
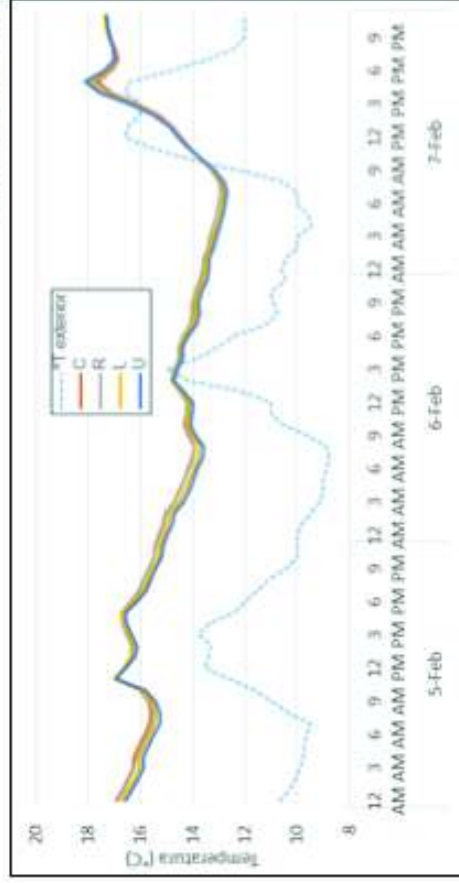


Gráfico 3.7. Temperaturas operativas horarias para las formas C, R, L y U en las condiciones: TE y TA (WWR20 – MTM – I₁ – V4).

TECHO EXPUESTO – WWR20% - MTA – I₀ – V2

TECHO ADIABÁTICO – WWR20% - MTA – I₀ – V2

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

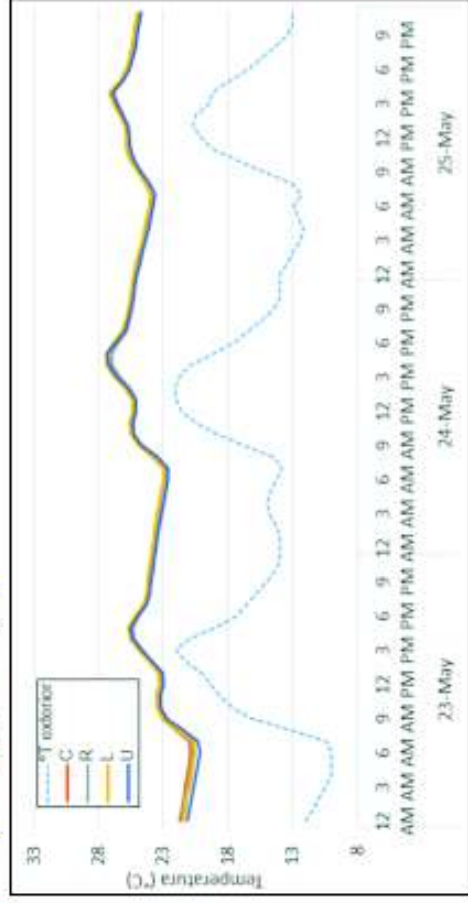
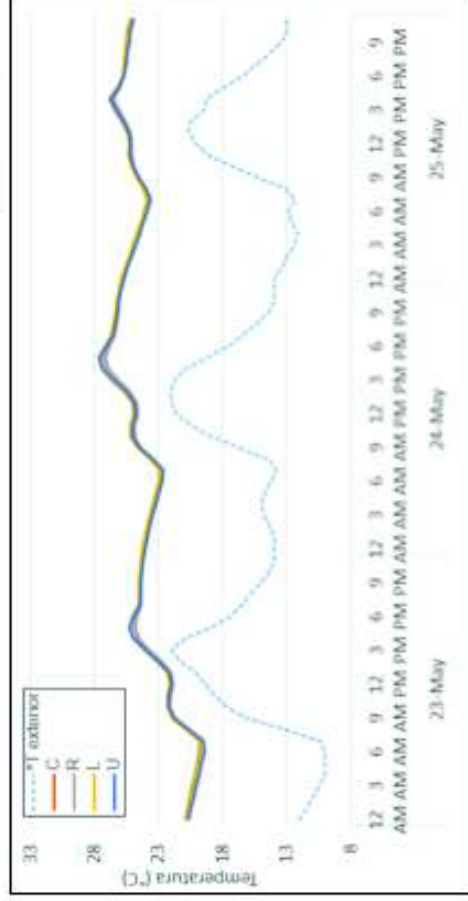


Gráfico 3.8. Temperaturas operativas horarias para las formas C, R, L y U en las condiciones: TE y TA (WWR20 – MTA – I₀ – V2).

En los gráficos 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7 y 3.8 mostrados, se puede apreciar que las temperaturas operativas (T_{op}) de acuerdo al factor de forma tienen la misma tendencia para las cuatro geometrías de edificación. No existe una diferencia significativa entre formas, especialmente en condición de borde con techo expuesto. En condiciones de techo adiabático a pesar que la tendencia de las curvas se mantiene semejante se observa mayor diferencia entre el comportamiento de las temperaturas operativas de las edificaciones evaluadas.

Existe un comportamiento representativo de las temperaturas operativas con respecto a los días de mayor y menor temperatura exterior. En el rango de los días de menor temperatura exterior (05 a 07 de febrero) las T_{op} para las cuatro formas están bajo del rango de confort, mientras que para los días de mayor temperatura exterior (23 a 25 de mayo) las curvas de T_{op} se encuentran en gran medida dentro del rango de confort y de 12:00 pm a 15:00 pm presentan temperaturas sobre el rango de confort. Cabe señalar que, en condiciones de borde con techo adiabático, tanto para los días de menor como mayor temperatura exterior, se tiene valores de temperaturas operativas más cercanas al rango de confort y la fluctuación de temperaturas operativas de las edificaciones es menor en horarios del día comparado con las condiciones de techo expuesto. En cuanto a la infiltración, se aprecia que, al tener una edificación con una tasa de infiltración de aire más cercana a cero, los valores de las T_{op} permanecen dentro del rango de confort.

Con respecto a la variación de la masa térmica de la envolvente de las edificaciones para las cuatro formas, se determina que, al contar con masa térmica alta, la T_{op} presenta valores más cercanos al rango de confort, por lo que existe una mayor estabilidad en las curvas de las temperaturas operativas. La incidencia que tiene el parámetro de orientación de las ventanas es muy baja, para las cuatro configuraciones establecidas se aprecia un mismo comportamiento de temperaturas operativas.

Se evidencia que se obtienen mejores condiciones de temperaturas operativas con respecto al rango de confort con las siguientes características: valor de infiltraciones I_0 , con el 20% acristalamiento (WWR), masa térmica alta (MTA) y la configuración de ventanas V2 (ventanas orientadas Este – Oeste).

3.1.2.2. Disconfort en el primer análisis de monozona

Se realiza el análisis general de disconfort mediante el uso de diagramas de dispersión para todas las simulaciones del primer análisis de monozona (Anexo I), para lo cual se determina el porcentaje de disconfort para cada simulación que corresponden a los distintos parámetros de diseño establecidos y se calcula la respectiva desviación estándar de los porcentajes promedios mensuales de disconfort, que indica cuanto pueden alejarse los valores del promedio anual de disconfort, permitiendo visualizar el comportamiento general de la función objetivo del estudio para cada parámetro de diseño.

3.1.2.2.1. Disconfort y condiciones de borde

El Gráfico 3.9 muestra el efecto que tienen las condiciones de borde sobre el disconfort de las edificaciones. Para las configuraciones con techo expuesto (TE) se obtienen valores de disconfort con mayor desviación estándar que con techo adiabático (TA) y estos presentan una tendencia de menor porcentaje de disconfort.

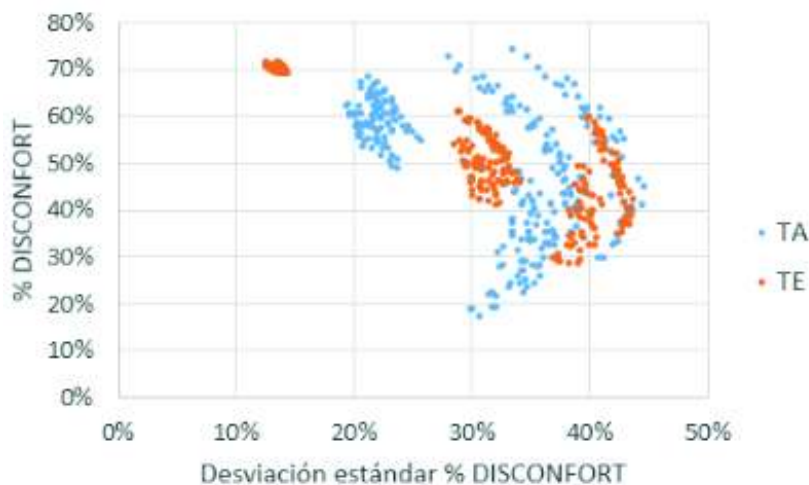


Gráfico 3.9. Efecto de las condiciones de borde sobre el disconfort para edificios con techo expuesto y techo adiabático.

3.1.2.2.2. Disconfort y porcentaje de acristalamiento

Se puede apreciar gráficamente que con el 20% de porcentaje de acristalamiento (WWR20) el porcentaje de disconfort y su desviación estándar es menor con respecto al 10% (WWR10) para las edificaciones evaluadas, debido a la incidencia de la radiación solar en las temperaturas operativas internas de la edificación.



Gráfico 3.10. Efecto del acristalamiento sobre el disconfort para edificios con porcentaje de acristalamiento: al 10% y 20%.

3.1.2.2.3. Disconfort e infiltraciones

El Gráfico 3.11 de dispersión muestra que se obtienen menores valores de disconfort con infiltraciones I_0 , debido que se reduce a cero el intercambio de aire que ingresa a la edificación, permitiendo obtener valores de temperatura operativa más cercanas a las de confort.

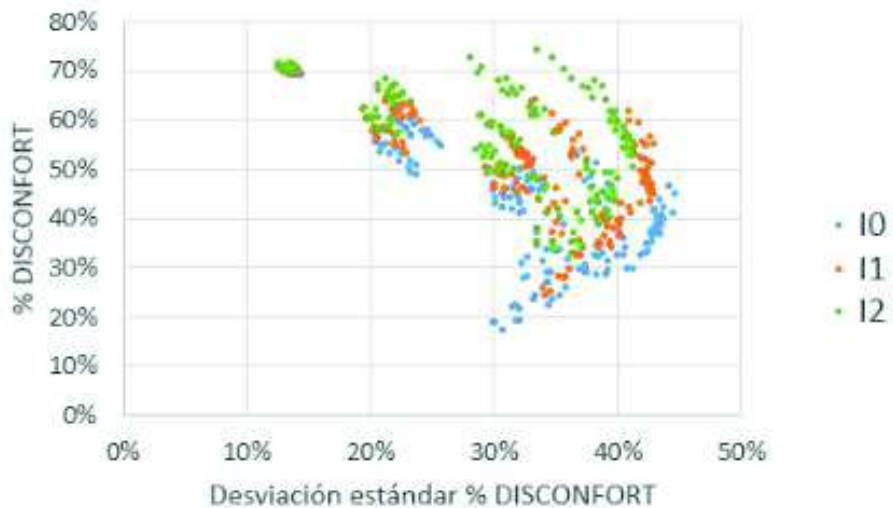


Gráfico 3.11. Efecto de las infiltraciones sobre el disconfort para edificios con infiltraciones: I_0 , I_1 , I_2 .

3.1.2.2.4. Disconfort y masa térmica

El Gráfico 3.12 de dispersión, muestra el efecto de la masa térmica sobre el disconfort de los edificios, en donde con masa térmica alta (MTA) por su mayor capacidad de almacenamiento

de calor, presentan valores de porcentaje disconfort menor, pero con una mayor desviación estándar.

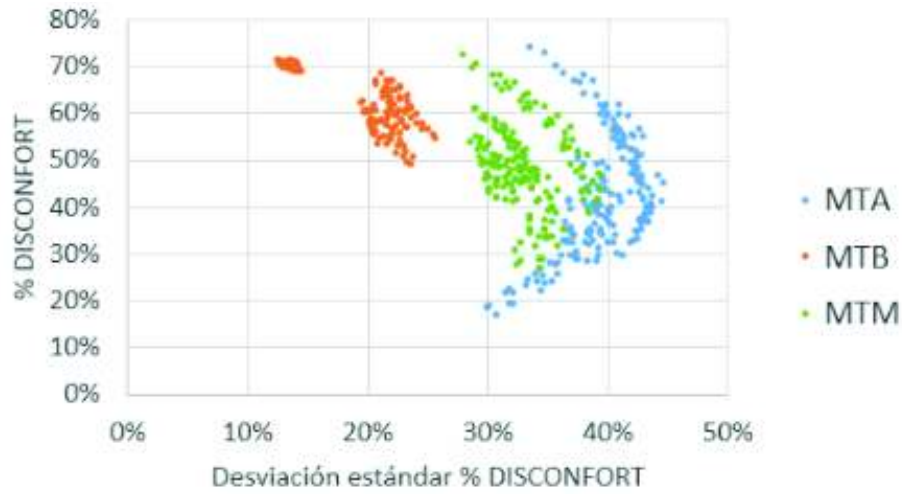


Gráfico 3.12. Efecto de la masa térmica sobre el disconfort para edificios con masa térmica: baja, media y alta.

3.1.2.2.5. Disconfort y orientación de acristalamiento

El Gráfico 3.13 de dispersión, muestra que no existe una diferenciación significativa entre las cuatro configuraciones de orientación de ventanas sobre el disconfort de edificaciones.



Gráfico 3.13. Efecto de la orientación de acristalamiento de las ventanas sobre el disconfort para edificios en configuraciones: V1 (Norte-Sur), V2 (Este-Oeste), V3 (Norte-Oeste) y V4 (Sur-Este).

3.1.2.3. Análisis comparativo de confort y desconfort

Se realiza un análisis comparativo utilizando diagramas de pastel, en donde se evalúa las temperaturas operativas horarias de todo un año en todas las simulaciones realizadas de las edificaciones en función del confort y el desconfort de sobre enfriamiento (*Overcooled*) y de sobre calentamiento (*Overheated*), y diferenciado por los distintos parámetros de diseño.

3.1.2.3.1. Confort – desconfort y condiciones de borde

El Gráfico 3.14 de pastel, indica un mayor porcentaje de confort al tener edificaciones con techo adiabático (TA). Para edificaciones con techo expuesto (TE) se tiene un mayor porcentaje de desconfort en sobre calentamiento (debido a la sobre exposición del techo a la radiación solar y su ganancia de temperatura operativa de la edificación en ciertos días del año) y en sobre enfriamiento al estar expuestos directo a las condiciones climáticas externas.

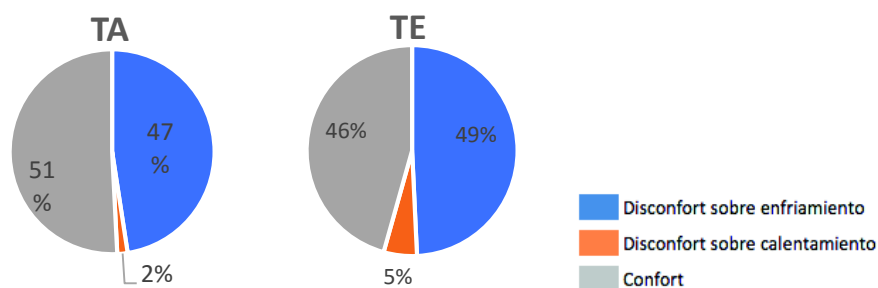


Gráfico 3.14. Efecto de las condiciones de borde sobre el confort para edificios con techo expuesto y techo adiabático.

3.1.2.3.2. Confort – desconfort y porcentaje de acristalamiento

Se aprecia gráficamente que al contar con un mayor porcentaje de acristalamiento de WWR20 se obtiene un mayor confort para las edificaciones evaluadas, debido a la incidencia de la radiación solar y su ganancia de temperatura operativa interna de la edificación.

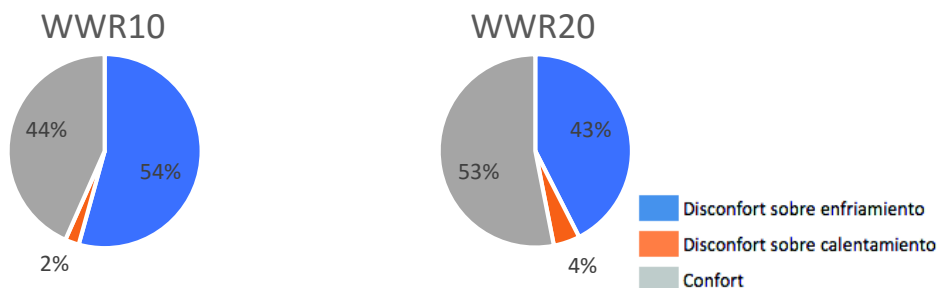


Gráfico 3.15. Efecto del acristalamiento sobre el confort para edificios con acristalamiento al :10% y 20%.

3.1.2.3.3. Confort – desconfort e infiltraciones

En el Gráfico 3.16 se visualiza que con un valor de infiltraciones I_0 presenta un mayor porcentaje de confort debido al nulo intercambio de aire con el exterior e interior de la

edificación. Esto no es aconsejable, ya que la tasa de infiltración ayuda a tener una renovación del aire interior de la edificación, lo que garantiza la calidad del aire interno.

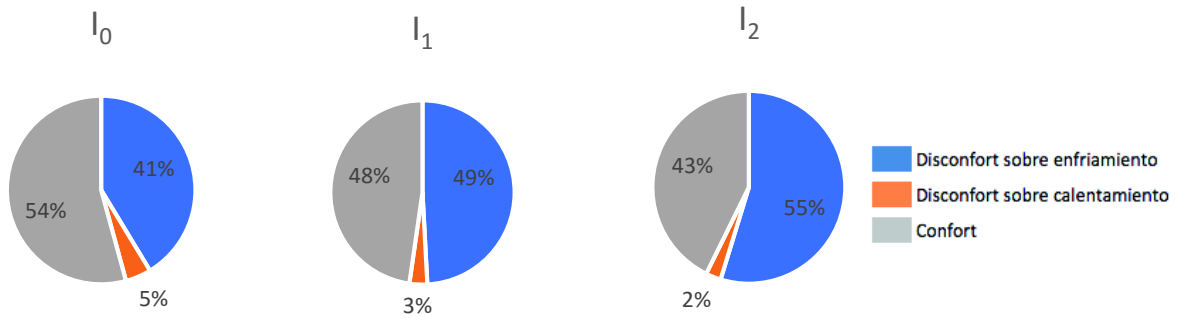


Gráfico 3.16. Efecto de las infiltraciones sobre el confort para edificios con infiltraciones: I_0 , I_1 , I_2 .

3.1.2.3.4. Confort – desconfort y masa térmica

El Gráfico 3.17, muestra el efecto de la masa térmica sobre el confort y desconfort de los edificios, en donde se aprecia que existe una relación inversamente proporcional entre masa térmica-disconfort, es decir, entre mayor es la masa térmica menor es el desconfort, debido a que permite estabilizar la temperatura interna, gracias a la acumulación de calor en las superficies de la envolvente de las edificaciones. El mayor porcentaje de desconfort (57%) se obtiene con una masa térmica baja en las edificaciones.

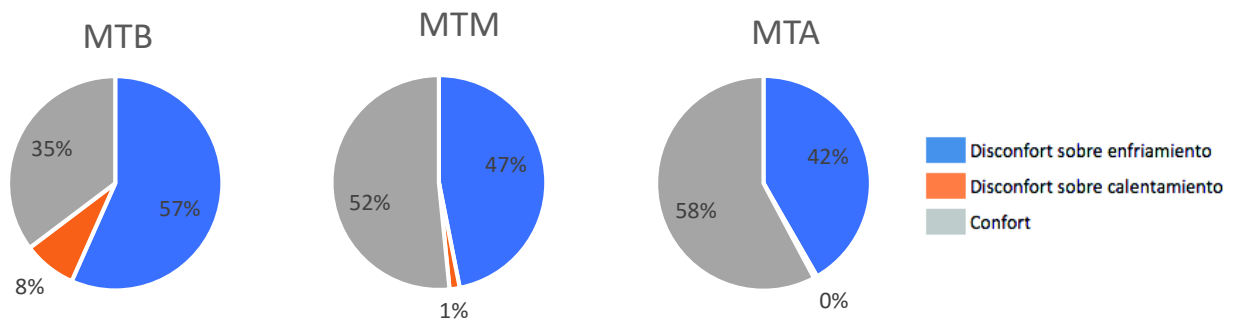


Gráfico 3.17. Efecto de la masa térmica sobre el confort para edificios con masa térmica: baja, media y alta.

3.1.2.3.5. Confort – desconfort y orientación de ventanas

El Gráfico 3.18, corrobora lo mostrado en el Gráfico 3.13 de dispersión, es decir, no existe una diferenciación significativa entre las cuatro configuraciones de orientación de ventanas sobre el confort de edificaciones. En la configuración V2 se obtiene un mayor valor de confort (51%), ya que cuenta con acristalamiento en la orientación Este – Oeste, aprovechando la radiación solar.

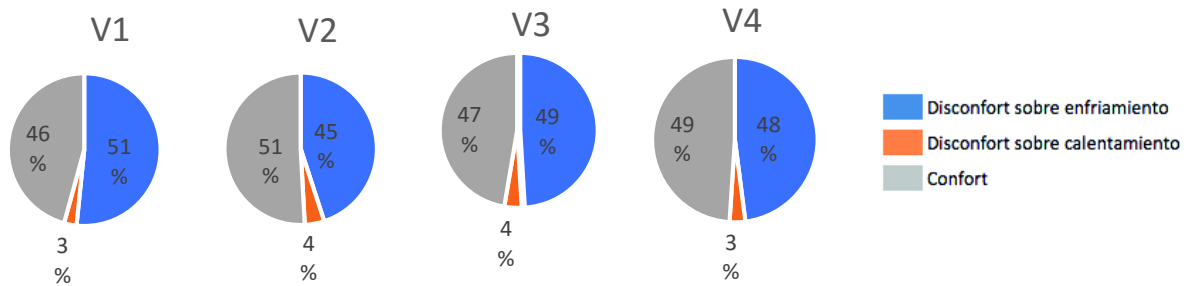


Gráfico 3.18. Efecto de la orientación de acristalamiento de las ventanas sobre el confort para edificios con orientación de ventanas: V1 (N-S), V2 (E-O), V3(N-O) y V4(S-E).

Al realizar un análisis general de todas las simulaciones del primer análisis de monozona con respecto a los parámetros constructivos, se evidencia que para tener un mínimo desconfort se requiere que las edificaciones con los diferentes factores de forma cuenten con techo adiabático, un porcentaje de acristalamiento de WWR20, infiltración cero, masa térmica alta y una orientación de acristalamiento Este-Oeste (V2). Cabe indicar que esta información general no permite establecer el comportamiento individual de desconfort de los factores de forma evaluados, por lo que se presenta a continuación los resultados por cada simulación.

3.1.2.4. Disconfort de cada simulación del primer análisis monozonas

Luego de una revisión general de cada uno de los parámetros de diseño de las edificaciones en función del desconfort, se presenta resultados individuales del porcentaje de desconfort para cada simulación.

En la Tabla 3.1 se presenta un mapa del porcentaje de desconfort en las simulaciones de monozonas del primer análisis con WWR10 y en la Tabla 3.2 la tipificación de los cinco rangos de los porcentajes de desconfort con su respectivo color. El comportamiento de cada simulación de las edificaciones con distinto factor de forma está definido por los elementos constructivos de diseño, por lo que las simulaciones en las que el desconfort es menor, en color verde, son los que están constituidos por una masa térmica alta, infiltración de cero y la configuración de acristalamiento Oeste - Este (V2), lo que permite aprovechar la radiación solar y conseguir mayor porcentaje de temperaturas operativas dentro del rango de temperaturas de confort.

Para el primer análisis de monozonas con WWR20 se presenta un mapa de porcentajes de desconfort y sus respectivos rangos de porcentajes con su respectivo color (ver Anexo V), en donde un mejor confort térmico se da en las edificaciones con un techo adiabático, masa térmica alta e infiltración cero. Lo que explica que, con un mayor porcentaje de acristalamiento es mayor la incidencia de la radiación solar y al contar con masa térmica alta permite que un

mayor porcentaje de temperaturas operativas se encuentren dentro del rango de confort térmico.

Tabla 3.1. Porcentaje de disconfort en las simulaciones del primer análisis monozona con WWR10.

PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIONES MONOZONAS PRIMER ANÁLISIS CON WWR10																	
No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES				No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES			
					C	R	L	U						C	R	L	U
					FF:1,536	FF:1,592	FF:1,703	FF:1,808						FF:1,536	FF:1,592	FF:1,703	FF:1,808
1	TE	MTB	I0	V1	69,26%	69,58%	69,62%	70,13%	37	TA	MTB	I0	V1	57,61%	60,11%	58,54%	61,19%
2				V2	69,00%	69,43%	69,46%	69,78%	38				V2	54,59%	56,72%	56,77%	59,27%
3				V3	69,41%	69,74%	69,53%	70,31%	39				V3	56,54%	58,95%	58,18%	60,65%
4				V4	68,94%	69,21%	69,47%	69,79%	40				V4	55,39%	57,85%	56,99%	59,85%
5			I1	V1	70,10%	70,43%	70,43%	70,76%	41			I1	V1	62,72%	64,79%	61,89%	64,42%
6				V2	69,84%	70,05%	70,06%	70,50%	42				V2	59,71%	61,07%	59,99%	62,12%
7				V3	70,17%	70,48%	70,38%	70,97%	43				V3	61,52%	63,20%	61,51%	63,47%
8				V4	69,70%	70,07%	70,01%	70,26%	44				V4	61,05%	62,85%	60,47%	62,72%
9			I2	V1	70,71%	70,98%	70,87%	71,40%	45			I2	V1	67,08%	68,44%	64,74%	66,97%
10				V2	70,42%	70,80%	70,56%	70,89%	46				V2	63,57%	64,85%	62,64%	64,38%
11				V3	70,83%	71,02%	71,08%	71,34%	47				V3	65,61%	66,92%	64,17%	66,06%
12				V4	70,59%	70,88%	70,53%	71,02%	48				V4	65,10%	66,56%	63,29%	65,47%
13		MTM	I0	V1	47,51%	49,39%	47,91%	50,78%	49	MTM	I0	V1	47,02%	51,02%	46,35%	52,64%	
14				V2	45,56%	46,24%	45,97%	47,67%	50			V2	45,56%	41,03%	38,57%	43,38%	
15				V3	47,48%	48,45%	48,00%	49,94%	51			V3	43,57%	46,82%	43,47%	48,24%	
16				V4	45,61%	46,60%	45,75%	48,13%	52			V4	41,66%	45,23%	41,39%	47,52%	
17			I1	V1	54,17%	55,59%	53,60%	56,31%	53		I1	V1	61,20%	64,24%	57,69%	62,52%	
18				V2	50,80%	51,80%	50,49%	52,29%	54			V2	51,93%	54,02%	48,95%	53,03%	
19				V3	52,93%	54,27%	52,64%	54,63%	55			V3	56,84%	59,28%	54,01%	57,90%	
20				V4	52,03%	53,30%	51,10%	53,74%	56			V4	55,91%	58,73%	52,40%	57,56%	
21			I2	V1	59,53%	60,90%	58,63%	60,84%	57		I2	V1	70,63%	72,49%	66,15%	69,58%	
22				V2	55,92%	56,88%	54,50%	56,56%	58			V2	62,00%	63,66%	57,45%	60,83%	
23				V3	57,92%	59,27%	56,89%	59,08%	59			V3	66,44%	68,16%	62,17%	65,19%	
24				V4	57,37%	58,63%	56,14%	58,44%	60			V4	66,35%	68,14%	61,04%	65,08%	
25		MTA	I0	V1	40,30%	42,27%	40,06%	43,74%	61	MTA	I0	V1	40,97%	45,05%	40,01%	46,60%	
26				V2	35,16%	36,28%	34,91%	37,43%	62			V2	29,59%	32,44%	29,86%	34,68%	
27				V3	38,33%	40,08%	38,36%	41,48%	63			V3	37,11%	40,76%	37,12%	41,96%	
28				V4	37,25%	38,79%	36,71%	40,06%	64			V4	33,36%	36,76%	32,92%	39,00%	
29			I1	V1	50,43%	52,00%	49,18%	52,35%	65		I1	V1	59,25%	61,86%	55,38%	59,83%	
30				V2	44,75%	45,82%	43,17%	45,66%	66			V2	46,86%	48,58%	43,06%	47,15%	
31				V3	48,31%	49,69%	47,25%	49,49%	67			V3	54,87%	56,74%	51,02%	54,81%	
32				V4	46,84%	48,20%	45,00%	48,45%	68			V4	52,12%	54,51%	47,13%	53,06%	
33			I2	V1	58,57%	59,92%	56,48%	59,41%	69		I2	V1	72,67%	74,08%	66,46%	70,23%	
34				V2	53,01%	53,80%	50,29%	52,55%	70			V2	61,02%	61,83%	54,39%	57,75%	
35				V3	56,29%	57,40%	54,38%	56,36%	71			V3	66,79%	67,90%	61,59%	63,86%	
36				V4	55,34%	56,52%	52,87%	55,86%	72			V4	66,94%	68,45%	59,81%	64,26%	

Tabla 3.2. Rangos de porcentaje de disconfort para primer análisis monozona con WWR10.

RANGOS DE % DISCONFORT			
RANGO 1	30%	39%	
RANGO 2	39%	48%	
RANGO 3	48%	57%	
RANGO 4	57%	66%	
RANGO 5	66%	75%	

De acuerdo a los análisis con respecto al disconfort y en función al factor de forma de todas las simulaciones realizadas, se determina que no existe una diferencia significativa para las cuatro formas de edificación evaluadas, notándose que la influencia entre el factor de forma y el disconfort térmico de estas configuraciones poseen un comportamiento semejante, lo que conlleva a realizar un segundo análisis para otras formas geométricas con un valor del factor de forma distinto.

3.1.3. Resultados de simulación segundo análisis monozonea.

Para el segundo análisis se realiza la simulación de siete edificaciones, cuyas formas corresponden a una forma cuadrada y formas rectangulares (R1, R2, R3, R4, R5, R6) que se presentan en la Tabla 2.5 con sus respectivos factores de forma.

3.1.3.1. Temperatura operativa horaria

En el Gráfico 3.19, se muestra el comportamiento de las temperaturas operativas horarias de los días de mayor y menor temperatura exterior para la configuración de masa térmica media, infiltración 1 y orientación de acristalamiento V2 (MTM – I₁ – V2). Se establece esta configuración, debido a que es la que cumple las condiciones más cercanas a las que se encuentra en la realidad constructiva local.

Se puede apreciar que, para las configuraciones establecidas del segundo análisis, en los gráficos de curvas de temperatura operativa mantienen la misma tendencia de comportamiento entre las siete edificaciones analizadas.

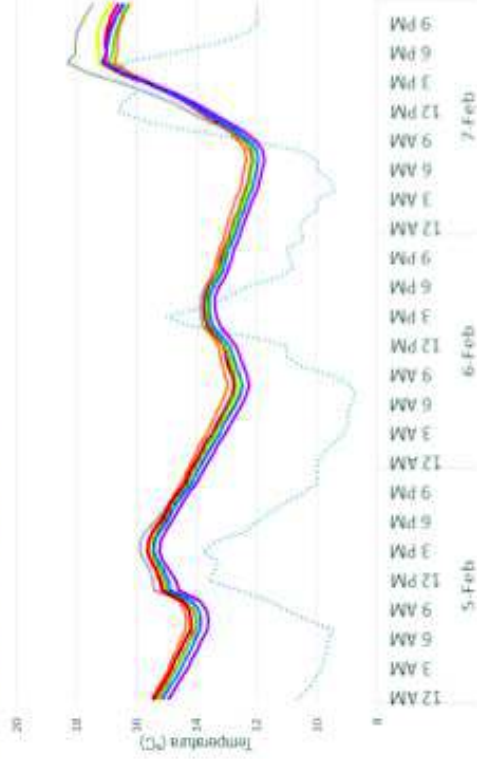
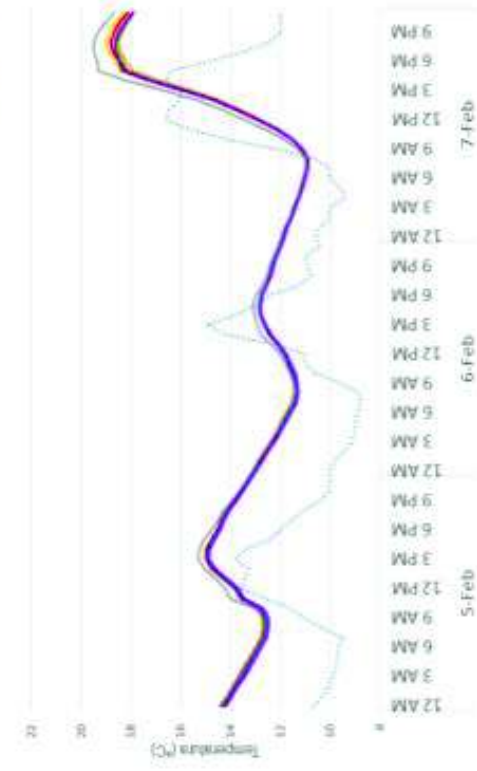
La configuración R1, presenta la edificación con un mayor alargamiento en el eje Norte-Sur, permitiendo una mayor incidencia de la radiación solar y de intercambio de calor de la envolvente en las superficies para los lados Este-Oeste, que refleja en un mayor número de temperaturas operativas dentro del rango de confort. La condición de borde con techo adiabático presenta un mayor porcentaje de valores que se acercan al rango de temperaturas operativas en el rango de confort, tanto para los días de mayor y menor temperatura exterior, debido a una mayor estabilidad de las temperaturas operativas horarias. Al igual que en el primer análisis, los resultados obtenidos de acuerdo a los parámetros de infiltración y masa térmica, la incidencia no presenta una diferencia significativa entre las formas definidas.

En base a los parámetros constructivos definidos, se determinó que la orientación de acristalamiento que presenta una mejor condición de resultados de temperaturas operativas dentro del rango de confort, es la configuración V2 (ventanas orientadas Este – Oeste).

TECHO EXPUESTO – WWR10% - MTM – I₁ – V2

TECHO ADIABÁTICO – WWR10% - MTM – I₁ – V2

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

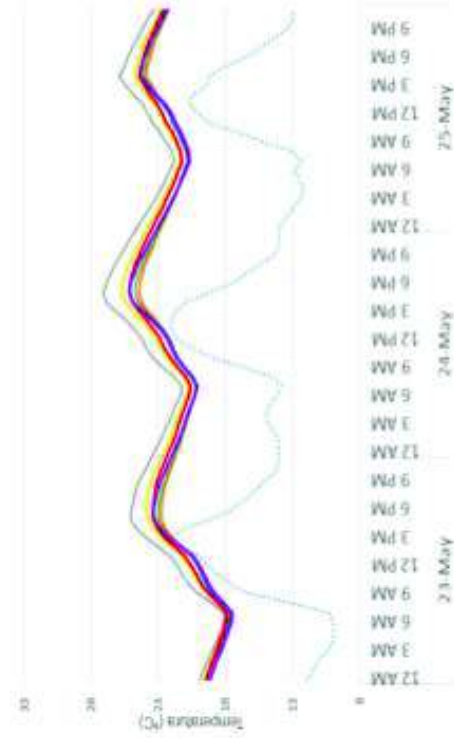
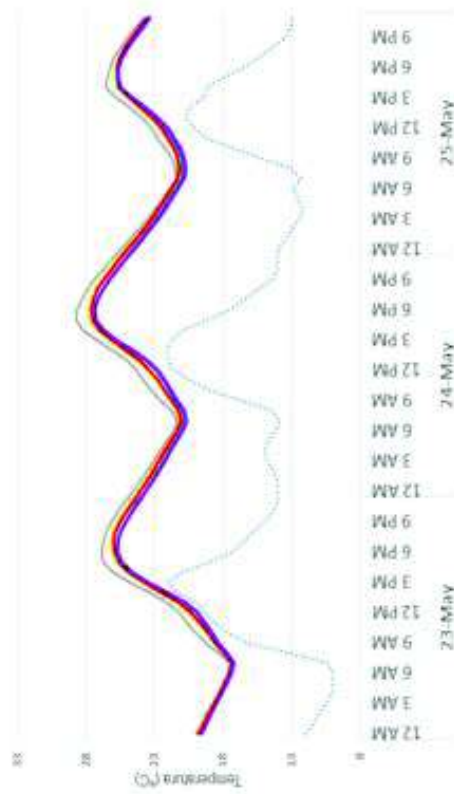


Gráfico 3.19. Temperaturas operativas horarias para las formas C, R1, R2, R3, R4, R5 y R6 en las condiciones: TE y TA (WWR10 – MTM – I1 – V2).

3.1.3.2. Discomfort en el segundo análisis de monozonas

Todas las simulaciones identificadas en el Anexo II para el segundo análisis de monozonas son evaluadas mediante diagramas de dispersión definidos por el porcentaje de discomfort para cada configuración y su desviación estándar del porcentaje de discomfort, lo que permite visualizar un comportamiento general con cada parámetro constructivo estudiado.

3.1.3.2.1. Discomfort y condiciones de borde

El Gráfico 3.20, muestra que para las condiciones de borde con techo adiabático (TA) se obtienen los valores de mínimo y máximo de porcentaje de discomfort. La desviación estándar del porcentaje de discomfort tiene un rango amplio de 15% al 45% en las condiciones de borde TE y TA.



Gráfico 3.20. Efecto de las condiciones de borde sobre el discomfort para edificios con techo expuesto y techo adiabático.

3.1.3.2.2. Discomfort e infiltraciones

El Gráfico 3.21, muestra una relación directamente proporcional, es decir, a menor valor de infiltración menores valores de discomfort, por lo tanto, infiltraciones I_0 es la que brinda menor discomfort.



Gráfico 3.21. Efecto de las infiltraciones sobre el discomfort para edificios con infiltraciones: I_0 , I_1 , I_2 .

3.1.3.2.3. Discomfort and thermal mass

The Graph 3.22 of dispersion, shows the effect of thermal mass on the discomfort of the buildings, where with high thermal mass (MTA) the maximum and minimum values of discomfort for a certain number of combinations of parameters are presented. The standard deviation is differentiated for each type of thermal mass. The lowest standard deviation is presented in the buildings with low thermal mass.



Gráfico 3.22. Efecto de la masa térmica sobre el discomfort para edificios con masa térmica: baja, media y alta.

3.1.3.2.4. Discomfort and window orientation

The Graph 3.23 of dispersion, shows that for the four configurations of window orientation, they present a similar behavior without having a marked tendency between them.



Gráfico 3.23. Efecto de la orientación de acristalamiento de las ventanas sobre el discomfort para edificios en las configuraciones: V1 (N-S), V2 (E-O), V3(N-O) y V4(S-E).

3.1.3.3. Análisis comparativo de confort y desconfort

Las temperaturas operativas horarias de todo un año de las 504 simulaciones correspondientes a las 7 edificaciones (C, R1, R2, R3, R4, R5 y R6) son analizadas mediante diagramas de pastel en función del confort y desconfort térmico (sobre enfriamiento y sobre calentamiento).

3.2.3.3.1. Confort – desconfort y condiciones de borde

El diagrama de pastel Gráfico 3.24, indica que existe una diferencia de apenas el 1% para las dos condiciones de borde TA y TE de las temperaturas operativas horarias de las siete edificaciones con respecto al confort. Se tiene un porcentaje mayor de desconfort en sobre calentamiento en condiciones de TE, debido a la exposición del techo a la radiación solar, en días de mayores temperaturas exteriores.

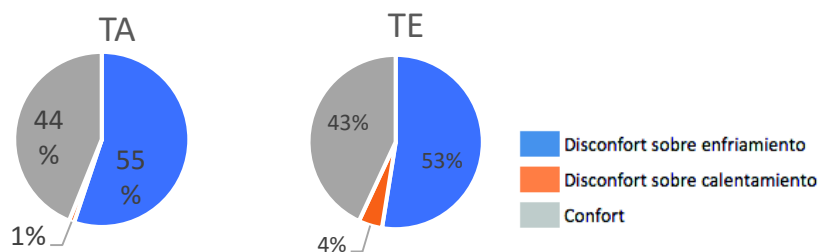


Gráfico 3.24. Efecto de las condiciones de borde sobre el confort para edificios con techo expuesto y techo adiabático.

3.2.3.3.2. Confort – desconfort e infiltraciones

El Gráfico 3.25, muestra que se obtiene un mayor porcentaje de edificaciones dentro del rango de confort con el valor de infiltraciones I_0 . Se puede apreciar que el desconfort en sobre enfriamiento es creciente al mismo tiempo que la tasa de infiltración es mayor.

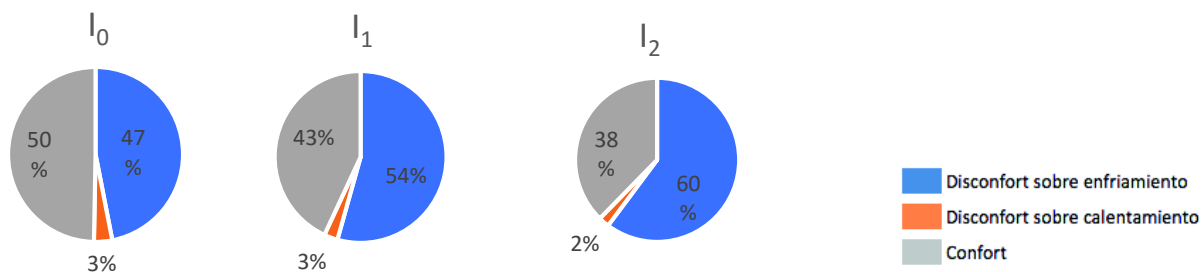


Gráfico 3.25. Efecto de las infiltraciones sobre el confort para edificios con infiltraciones: I_0 , I_1 , I_2 .

3.2.3.3.3. Confort – desconfort y masa térmica

En el Gráfico 3.26, se aprecia que al contar con masa térmica alta (MTA) en la envolvente, se presenta un mayor porcentaje de confort, debido a la capacidad de acumular mayor

ganancia de calor, lo que permite estabilizar las temperaturas operativas internas de las edificaciones.

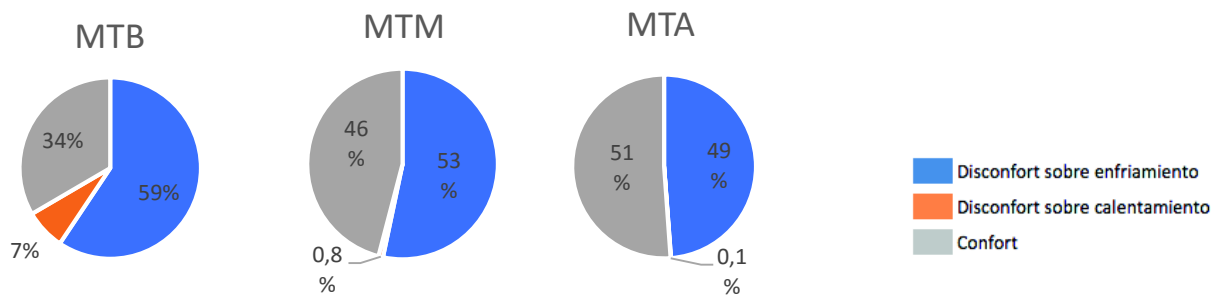


Gráfico 3.26. Efecto de la masa térmica sobre el confort para edificios con masa térmica: baja, media y alta.

3.2.3.3.4. Confort – desconfort y orientación de acristalamiento de las ventanas

El Gráfico 3.27, muestra que la incidencia de la orientación de acristalamiento de las ventanas no es muy relevante. En las cuatro orientaciones presenta un rango de confort del 42% al 47%, siendo la configuración V2 (ventanas orientadas Este – Oeste) en la que se tiene mayor porcentaje de confort 47%, debido al aprovechamiento de la radiación solar.

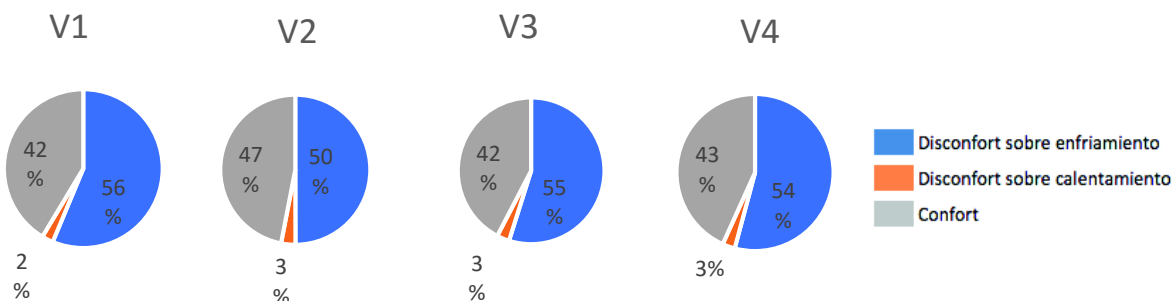


Gráfico 3.27. Efecto de la orientación de las ventanas sobre el confort para edificios con orientación de ventanas: V1 (N-S), V2 (E-O), V3(N-O) y V4(S-E).

En el análisis general de los parámetros de diseño de las edificaciones coincide con el comportamiento del desconfort en la revisión del primer análisis de monozona, donde permite identificar la influencia de cada parámetro en el confort térmico analizado de forma general con todas las simulaciones. Para identificar el comportamiento de desconfort para cada factor de forma en el segundo análisis de monozonas se presenta el valor e desconfort para cada simulación en el siguiente apartado.

3.1.3.4. Disconfort de cada simulación del segundo análisis monozonas

En la Tabla A.8 del Anexo VI se presenta un mapa de porcentaje de desconfort en las simulaciones de monozonas del segundo análisis con techo expuesto y en la Tabla A.9 los

correspondientes rangos de porcentajes de discomfort con su respectivo color. El mayor discomfort se aprecia en las simulaciones con una masa térmica baja, lo que afecta en las temperaturas operativas internas que se encuentran en sobre enfriamiento en el rango de 61% a 73% de discomfort. El mejor confort térmico se presenta con una masa térmica alta, cambio de aire interno nulo y una orientación de acristalamiento Este-Oeste, donde las edificaciones C, R1, R2 y R3 están en el rango de 24% a 36% de discomfort y R4, R5 y R6 en el rango de 36% a 49% de discomfort.

El mapa presentado en el Anexo VII, corresponde a las simulaciones del segundo análisis de monozonas con techo adiabático, en donde se observa que con una masa térmica baja las simulaciones presentan menor discomfort. Edificaciones con factores de forma cuyas orientaciones de acristalamiento se encuentran al Este-Oeste presentan rangos de discomfort menor con respecto a las demás orientaciones, por lo que la incidencia de la radiación solar define el comportamiento de la temperatura operativa interna de la edificación.

3.1.4. Resultados de simulación multizona

Para el análisis de multizona se realiza la simulación de una edificación rectangular con un factor de forma de **1,536**, con cinco zonas internas (Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5), dos orientaciones distintas (O1 y O2), dos configuraciones de condiciones de borde (A1 y A2) y seis ubicaciones de acristalamiento (VZ1, VZ2, VZ3, VZ4, VZ5 y VZ6). Las edificaciones poseen cinco zonas internas que conforman la multizona y los resultados de la simulación se presenta de acuerdo a dichas zonas internas.

3.1.4.1. Temperatura operativa horaria

En los Gráficos 3.28, 3.29, 3.30 se muestra el comportamiento de las temperaturas operativas horarias de los días de mayor y menor temperatura exterior para las distintas configuraciones del escenario multizonal, para ello se considera que la envolvente es de masa térmica media y una tasa de infiltración de 1. Se puede apreciar que los comportamientos de las curvas de las temperaturas operativas horarias tienden a aumentar cuando la zona está prevista de ventanas y en condiciones de techo expuesto.

Para las configuraciones A1-O2-VZ2 y A2-O2-VZ5, que cuentan con una ventana en la pared norte de la zona 3, las temperaturas operativas mayormente se encuentran dentro del rango de confort para los días de mayor y menor temperatura exterior debido a la ganancia de calor por la radiación solar en la superficie acristalada. Para las configuraciones que poseen superficies con ventanas y la condición de borde es techo expuesto, presenta un mayor número de temperaturas operativas sobre la temperatura de confort para el día de mayor temperatura exterior, mientras que para la condición de techo adiabático las temperaturas operativas se mantienen más estables en el transcurso horario.

En las superficies que se mantienen expuestas a las condiciones exteriores se obtiene una mejor condición de temperaturas operativa por la incidencia de la radiación solar y a la superficie de intercambio de calor de la envolvente en las superficies expuestas y con un mayor porcentaje donde existen ventanas.

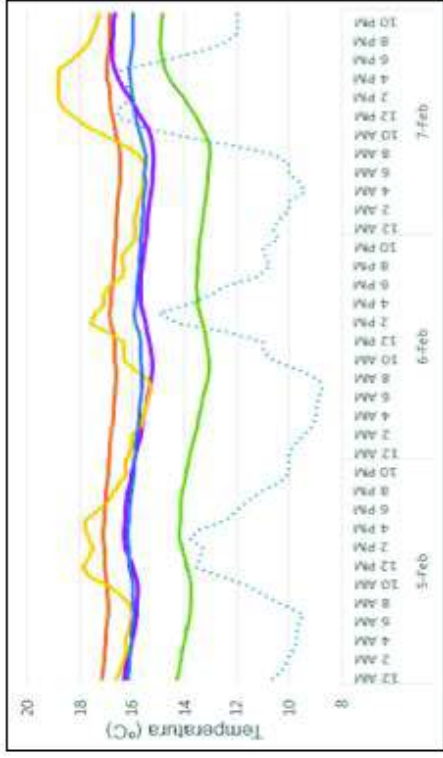
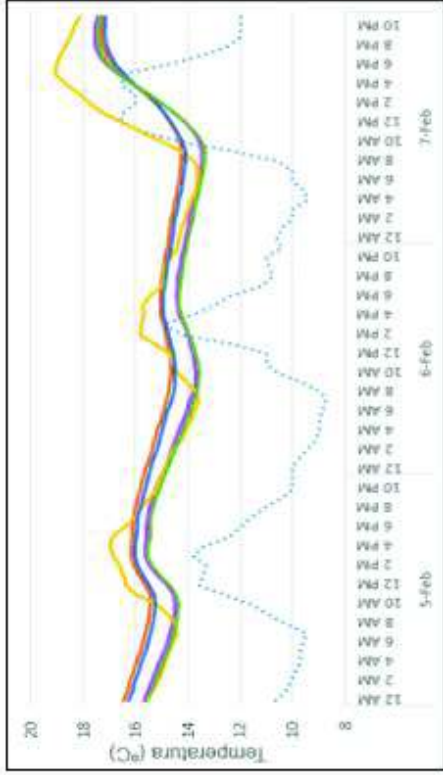
Para las zonas que se encuentran con superficies adiabáticas como son la Z1 y Z4, los resultados de las temperaturas operativas son muy similares, para estas zonas de acuerdo a los parámetros definidos, para los días de mayor temperatura exterior, las temperaturas operativas son menores que para las otras tres zonas, mientras que, para los días de menor temperatura exterior, las temperaturas operativas siguen la misma tendencia de las otras zonas y con valores más cercanos entre cada una de las zonas.

TECHO EXPUESTO A1-O2-VZ2

TECHO ADIABÁTICO A1-O2-VZ2

Z2	Z3	Z5
Z1	Z4	

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

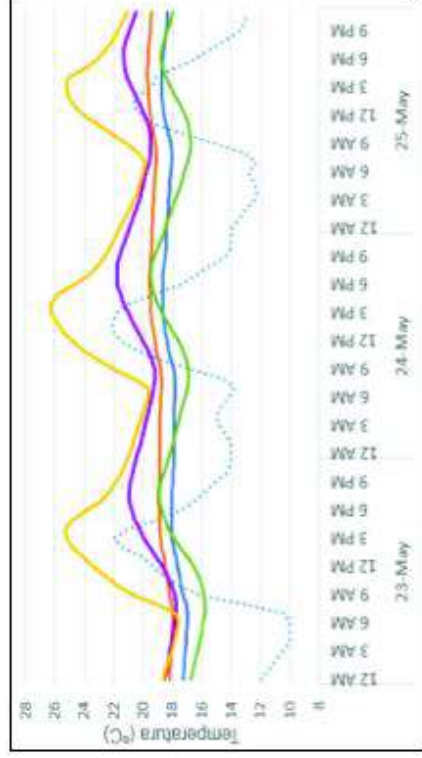
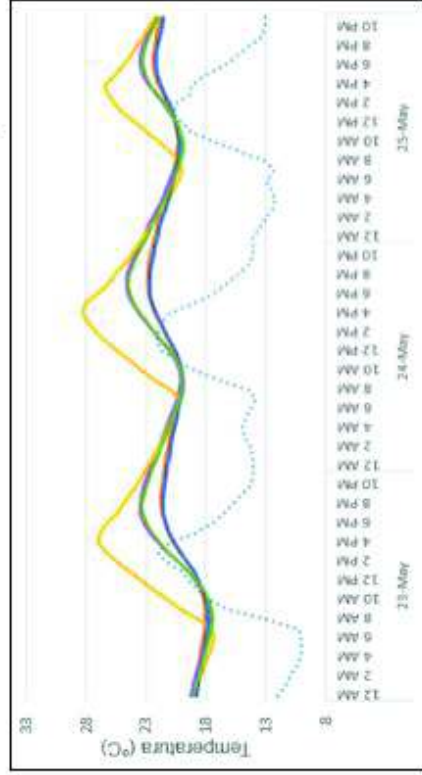


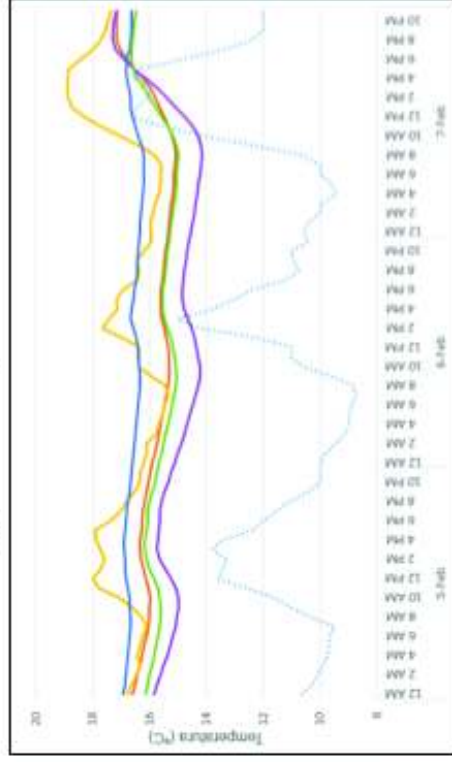
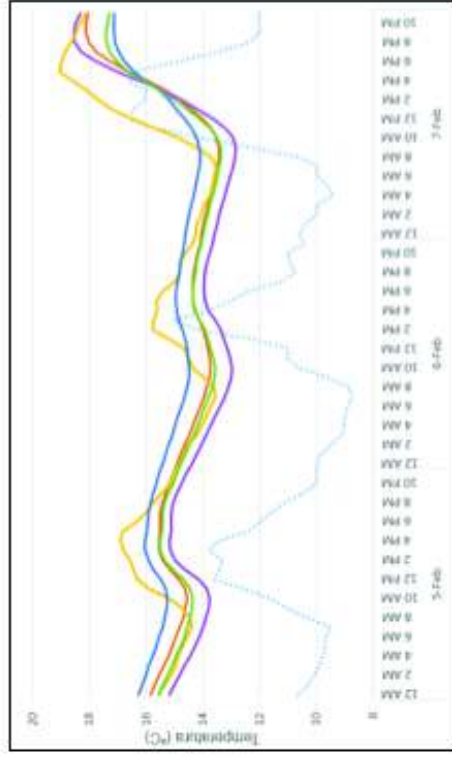
Gráfico 3.28. Temperaturas operativas horarias para escenario multizona en las condiciones: TE y TA (A1 – O2 – VZ2).

TECHO EXPUESTO A2-O2-VZ5

TECHO ADIABÁTICO A2-O2-VZ5

2	Z5
1	Z3
	Z4

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

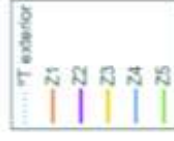
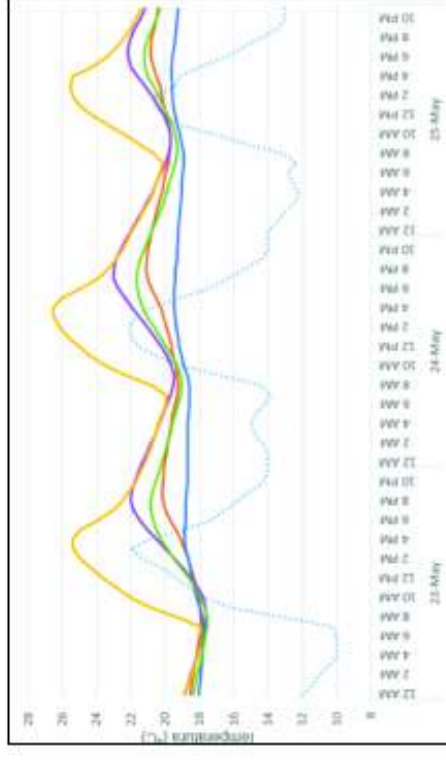
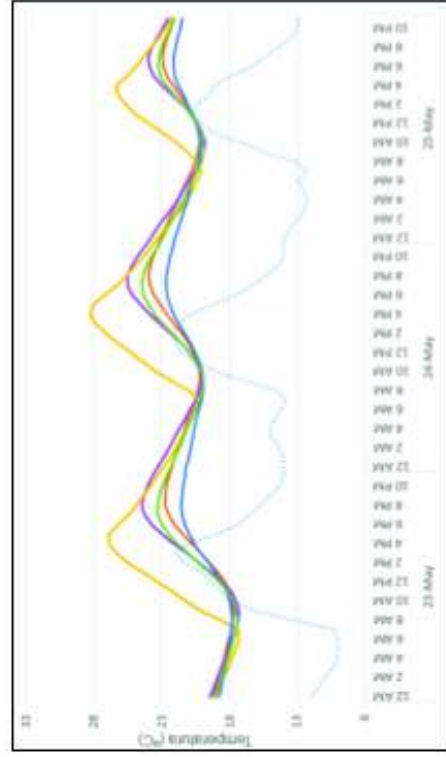


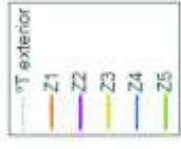
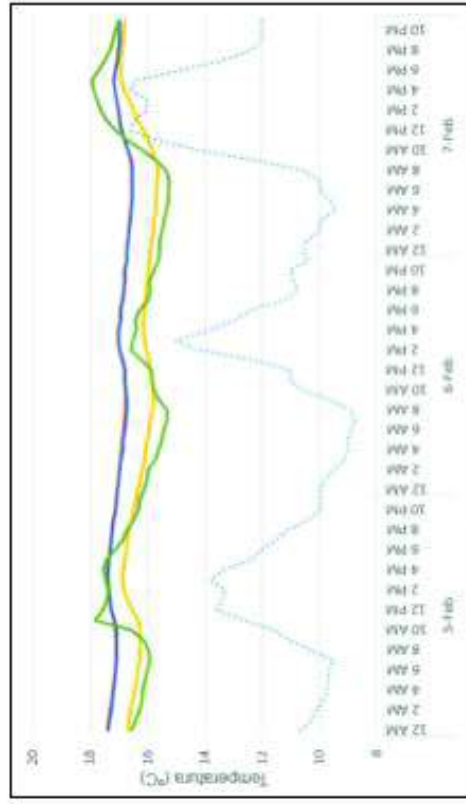
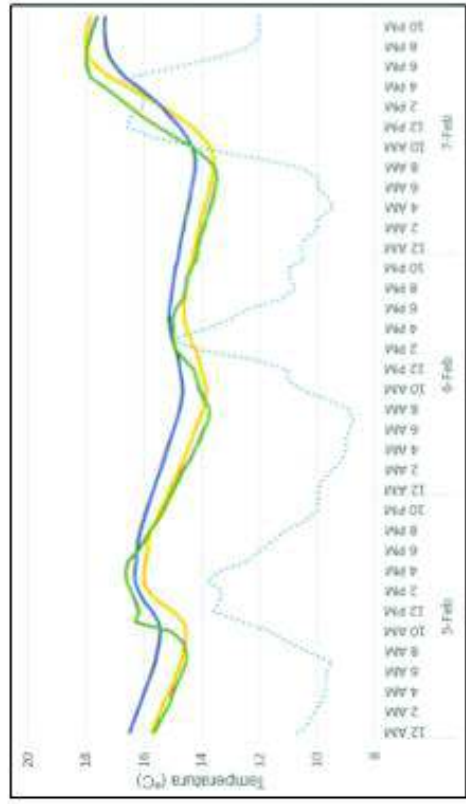
Gráfico 3.29. Temperaturas operativas horarias para escenario multizona en las condiciones: TE y TA (A2 – O2 – VZ5).

Z1	Z2
Z3	
Z4	Z5

TECHO EXPUESTO A1-O1-VZ3

TECHO ADIABÁTICO A1-O1-VZ3

T_{op} para el día de menor T_{ext} (06 febrero)



T_{op} para el día de mayor T_{ext} (24 mayo)

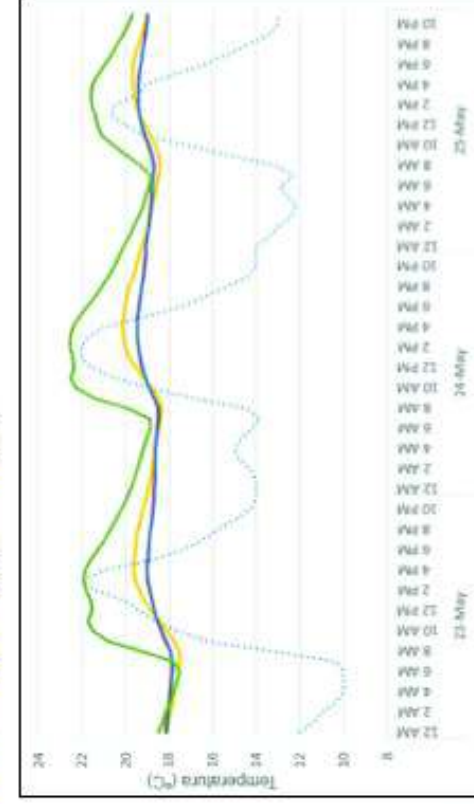
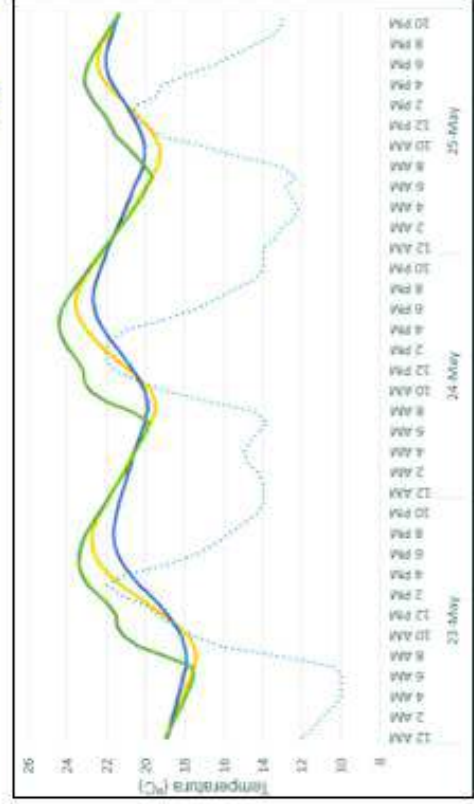


Gráfico 3.30. Temperaturas operativas horarias para escenario multizona en las condiciones: TE y TA (A1 – O1 – VZ3).

3.1.4.2. Disconfort en el análisis multizonas

Mediante los diagramas de dispersión en función del porcentaje de disconfort y la desviación estándar del porcentaje de disconfort son analizadas todas las simulaciones (Anexo III) de multizona en relación a los distintos parámetros de diseño establecidos.

3.1.4.2.1. Disconfort y condiciones de borde de techo

El Gráfico 3.31, muestra que para las condiciones de borde con techo expuesto (TE) el disconfort de las zonas internas poseen un 50% de disconfort en promedio y permanecen en una desviación estándar entre 10% y 20%. Con techo adiabático el comportamiento de las zonas con respecto al disconfort es muy disperso.



Gráfico 3.31. Efecto de las condiciones de borde sobre el disconfort para multizonas con techo expuesto y techo adiabático.

3.1.4.2.2. Disconfort y condiciones de borde de paredes

El Gráfico 3.32, muestra que las zonas de las edificaciones con condiciones de borde de paredes A1 y A2 no presenta una diferencia significativa entre éste parámetro, obteniendo valores de disconfort de 100% a 40%.

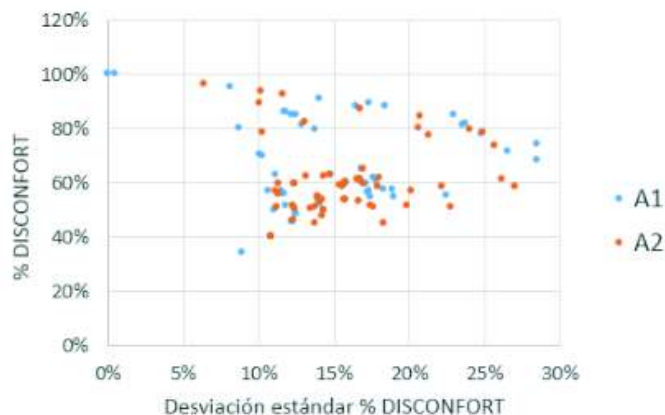


Gráfico 3.32. Efecto de condiciones de borde de paredes en las multizonas sobre el disconfort.

3.1.4.2.3. Discomfort and orientation of the building

The Graph 3.33 of dispersion, shows the effect of the orientation of the building on the discomfort, in which with the orientation O1 there are zones with lower standard deviation and lower discomfort. With the orientation O2 there is greater dispersion in the results.



Gráfico 3.33. Efecto de la orientación de la edificación sobre el discomfort para edificios con multizonas.

3.1.4.2.4. Discomfort and orientation of glazing

The Graph 3.34 of dispersion, shows the behavior of the discomfort for each zone according to the orientation of the glazing. In each configuration a different behavior is visualized for each orientation of the glazing. The values of discomfort are found in the range of 40% to 100% and the standard deviation of 0% to 30%.



Gráfico 3.34. Efecto de la orientación de las ventanas sobre el discomfort para edificios con las configuraciones: VZ1, VZ2, VZ3, VZ4, VZ5 y VZ6.

3.1.4.3. Análisis comparativo de confort y desconfort

Las temperaturas operativas horarias de todo un año de las veinticuatro simulaciones, correspondientes a las edificaciones con multizonas (Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5), son analizadas mediante diagramas de pastel en función del confort y desconfort térmico (sobre enfriamiento y sobre calentamiento).

3.1.4.3.1. Confort - desconfort y condiciones de borde de techo

En el diagrama de pastel Gráfico 3.35 se visualiza que en las condiciones de borde con techo expuesto presenta un mayor confort de 45% con respecto a los 28% en condiciones de borde de techo adiabático, debido a la exposición del techo a la radiación solar que permite una ganancia de temperatura operativa de las zonas internas. El desconfort por sobre calentamiento en las dos condiciones de borde es casi nulo.

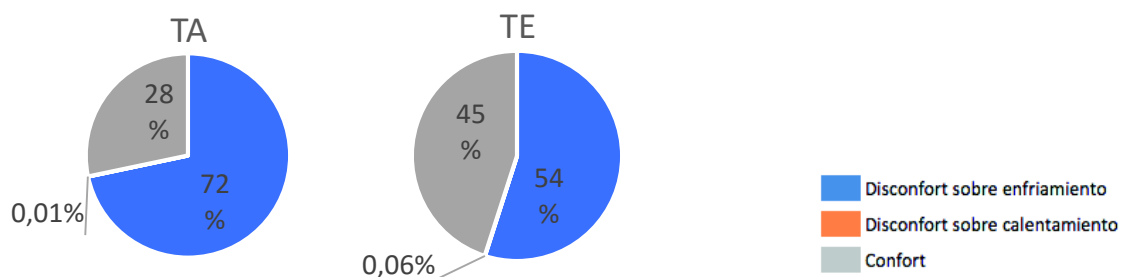


Gráfico 3.35. Efecto de las condiciones de borde sobre el confort para multizonas con techo expuesto y techo adiabático.

3.1.4.3.2. Confort - desconfort y condiciones de borde de paredes

El Gráfico 3.36, muestra que el desconfort con respecto a la configuración de condición de borde de paredes está alrededor de un 60% en las dos condiciones (A1 y A2). El mayor confort térmico se visualiza en la condición de borde A2, ya que posee dos lados de la superficie de la envolvente de la edificación sin aislamiento adiabático, que permite tener una mayor ganancia de temperatura.

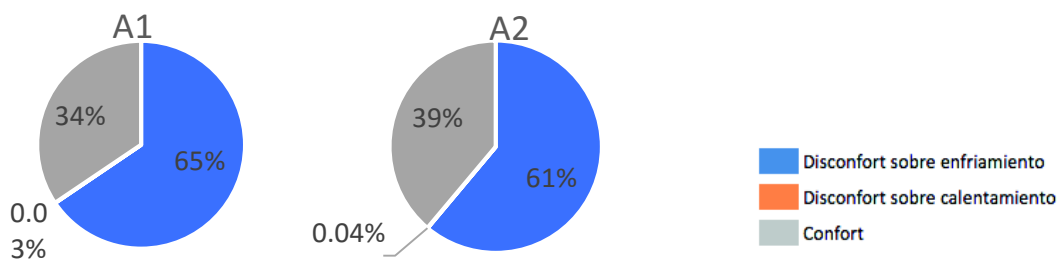


Gráfico 3.36. Efecto de la condición de borde de paredes sobre el confort-disconfort para multizonas.

3.1.4.3.3. Confort - disconfort y orientación de la edificación

En el Gráfico 3.37, se aprecia que la edificación con multizonas colocados en la orientación O1 presenta un mayor confort de 41.46% con respecto a 31.86% en O2. Lo que corresponde que con la orientación de edificación O1 presenta mayor superficie de la envolvente expuesta en la cara Este de la envolvente.

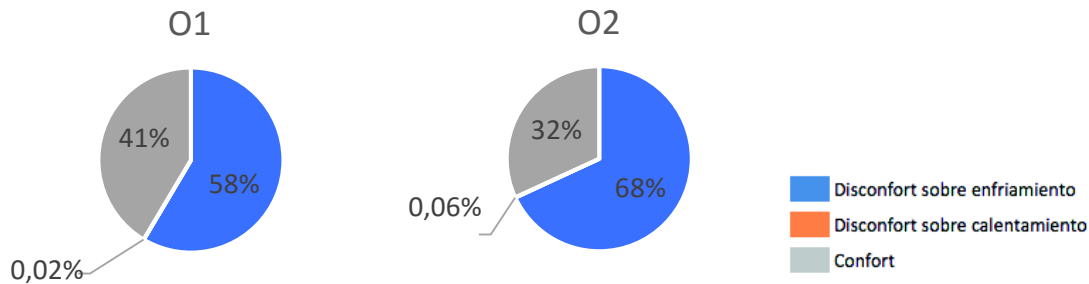


Gráfico 3.37. Efecto de la orientación del edificio sobre el confort-disconfort en multizonas.

3.1.4.3.4. Confort-disconfort y orientación de acristalamiento

El Gráfico 3.38, muestra que no existe una diferenciación significativa entre las configuraciones definidas de orientación del acristalamiento sobre el confort-disconfort de las zonas internas de las edificaciones. El confort promedio está en el orden del 36%.

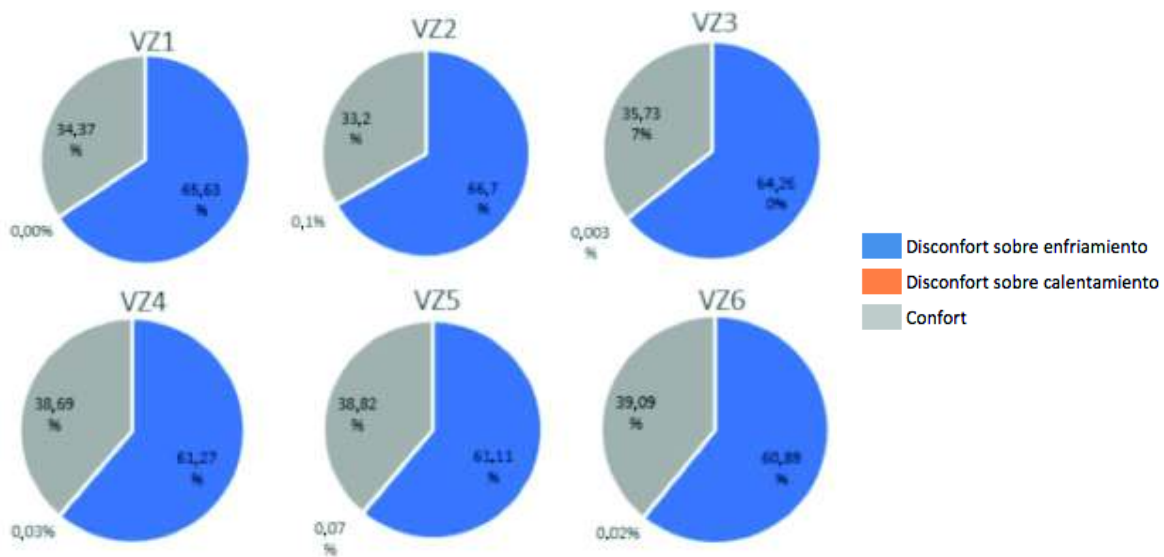


Gráfico 3.38. Efecto de la orientación del edificio sobre el confort-disconfort en multizonas.

Con la evaluación general de los parámetros de diseño de la edificación, las zonas internas en el análisis multizona son evidentemente influenciadas por la condición de borde en el techo y la orientación. Al contar con techo expuesto las zonas internas presentan un mejor confort térmico de 45% y si la orientación está en el eje Norte-Sur, el confort térmico alcanza el 41%. Un menor disconfort está influenciado por los parámetros de diseño que permiten aprovechar

la radiación solar, aumentando el porcentaje de las temperaturas operativas internas dentro del rango de confort térmico.

3.1.4.4. Disconfort de cada simulación del análisis multizona

Para la evaluación del comportamiento de cada simulación con respecto al disconfort se presenta un mapa en la Tabla A.12 del Anexo VIII, cuyos rangos de disconfort se definen por colores en la Tabla A.13. Aquí se puede apreciar que las zonas internas presentan un mejor confort térmico si el techo de la edificación es expuesto, si posee acristalamiento y si está orientado en las caras Este-Oeste, permitiendo tener una ganancia en las temperaturas operativas internas por radiación solar.

Las zonas con mayor disconfort térmico son las que tienen las paredes y techo adiabático, eso se evidencia en la zona Z4 cuyo rango de disconfort está en el 87% a 100%.

3.2. Discusión

3.2.1. Primer análisis monozona.

Los resultados obtenidos son presentados en la función objetivo del estudio, definido como discomfort, los cuales fueron analizados de acuerdo a los detalles de las restricciones dados a las edificaciones modeladas (forma cuadrada, forma rectangular, forma L y forma U) y sus parámetros de diseño, datos que permiten observar el comportamiento diferenciado con cada parámetro.

Al estudiar la influencia del factor de forma sobre el comportamiento de la temperatura operativa interna de las edificaciones, el discomfort es evaluado con respecto a las cuatro formas y sus componentes. Este permite determinar la forma de la edificación con su factor de forma que presentan un mejor comportamiento térmico.

A cada forma de edificación le corresponde un factor de forma específico determinado en la sección 2.3.1 y se presenta en la Tabla 3.1.

Tabla 3.3. Factor de forma de las edificaciones monozona del primer análisis.

FORMA EDIFICACIÓN	Cuadrado	Rectángulo	L	U
FACTOR DE FORMA	1,536	1,592	1,703	1,808

La evaluación de las formas de los edificios con respecto a su discomfort, los parámetros y restricciones analizados de forma anual son descritos a continuación.

Contar con edificaciones que su techo se encuentre expuesto a la radiación solar y a las condiciones meteorológicas, aumenta un 5% de discomfort con respecto a una edificación que cuenta con su techo adiabático, tal como se visualiza en el Gráfico 3.39.

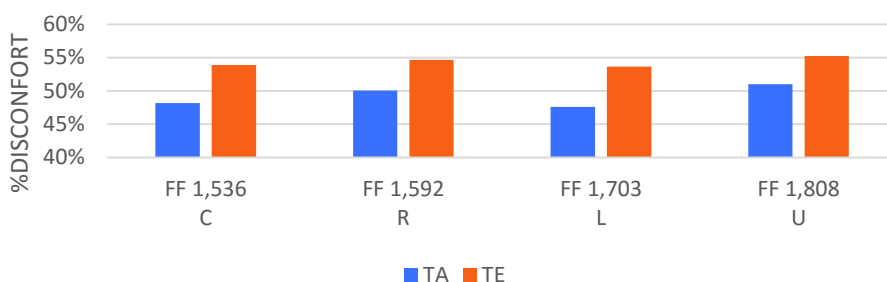


Gráfico 3.39. Porcentaje de discomfort con respecto a la condición de borde.

En el Gráfico 3.40, indica que el porcentaje de acristalamiento aumenta en un 10% de discomfort con un WWR10 con respecto al WWR20. Un mayor porcentaje de acristalamiento en las paredes permite el aumento en las temperaturas operativas del edificio.

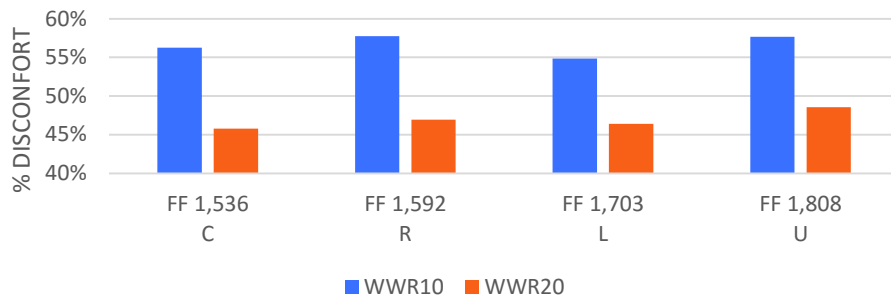


Gráfico 3.40. Porcentaje de disconfort con respecto al porcentaje de acristalamiento.

El comportamiento de disconfort con respecto a la tasa de cambio de aire por hora se observa en el Gráfico 3.41, que se incrementa en 5% de disconfort a medida que el valor de infiltración es mayor. Con la I_0 presenta menor disconfort en cada forma de las edificaciones.

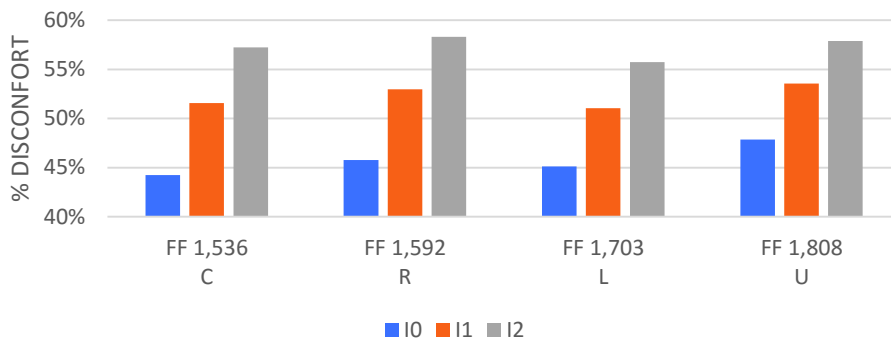


Gráfico 3.41. Porcentaje de disconfort con respecto a la infiltración en la edificación.

Definir como elemento constructivo con materiales que se encuentran dentro de una masa térmica baja presenta más del 60% de disconfort, condiciones que pueden llegar al 40% de disconfort si se utiliza una masa térmica alta, tal como se muestra en el Gráfico 3.42.

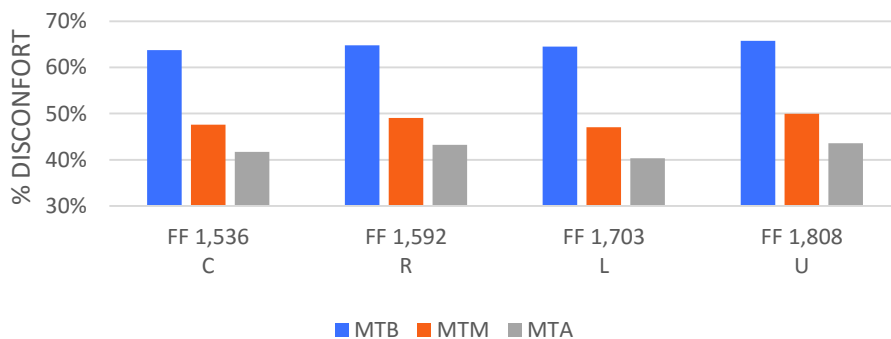


Gráfico 3.42. Porcentaje de disconfort con respecto a la masa térmica.

Existe una configuración de la orientación del acristalamiento en la cual se puede aprovechar las condiciones naturales para obtener un mejor comportamiento térmico, esto se evidencia en la configuración V2, que contiene acristalamiento en las paredes Este y Oeste como se presenta en el Gráfico 3.43.

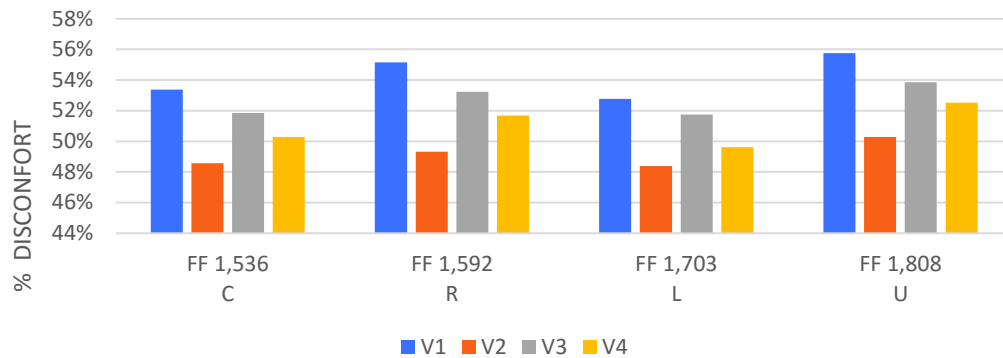


Gráfico 3.43. Porcentaje de disconfort con respecto a la orientación del acristalamiento.

3.2.1.1. Configuraciones relevantes de disconfort en primer análisis monozona

Después de revisar la influencia de los parámetros de diseño de las edificaciones con respecto al confort y disconfort en el apartado 3.1.2.4, se establecen las configuraciones relevantes de los parámetros de las edificaciones que presentan menor, medio y mayor porcentaje de disconfort con la condición de borde de techo adiabático (TA); para luego realizar un análisis comparativo del disconfort en estas configuraciones relevantes entre los diferentes factores de forma de las cuatro edificaciones del primer análisis de monozona.

En la Tabla 3.4 se presentan las configuraciones relevantes donde se obtiene el menor, medio y mayor porcentaje de disconfort.

Tabla 3.4. Configuraciones relevantes de disconfort en primer análisis monozona.

	% Disconfort	Masa Térmica	Infiltraciones	Orientación WWR
MAYOR		MTB	I2	V1
MEDIO		MTM	I1	V4
MENOR		MTA	I0	V2

Estas configuraciones permiten analizar el comportamiento del disconfort en cada uno de las formas de las edificaciones estudiadas.

3.2.1.1.1. Comparativo de las configuraciones relevantes para monozona en el primer análisis con WWR10.

En el Gráfico 3.44 se presenta el comportamiento del porcentaje de disconfort para cada tipo de edificación con respecto a las configuraciones relevantes de los parámetros de diseño con un porcentaje de acristalamiento de 10% (WWR10).

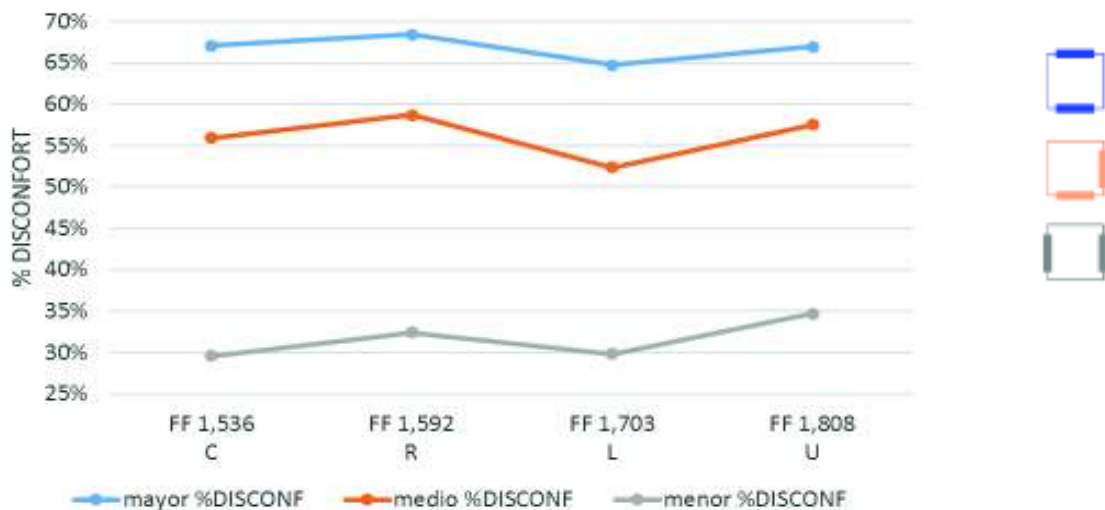


Gráfico 3.44. Comportamiento de disconfort en las edificaciones de acuerdo a las configuraciones relevantes de los parámetros de diseño con WWR10.

En la configuración de mayor porcentaje de disconfort (MTB-I₂-V1), las cuatro formas de edificación presentan un comportamiento similar por el orden del 65% de disconfort. La curva con medio porcentaje disconfort (MTM-I₁-V1) muestra que la edificación con forma L posee el menor disconfort con un 53%. Con la configuración de menor disconfort (MTA-I₀-V2) las edificaciones se encuentran en un 30% a 35% de disconfort debido a que poseen una alta masa térmica, una infiltración de 0 ACH y la orientación del acristalamiento en el Este y Oeste.

La Tabla 3.5 contiene los valores de porcentaje promedio anual de disconfort de las cuatro edificaciones estudiadas en el primer análisis de monozonas con respecto a las configuraciones relevantes de menor, medio y mayor valor de disconfort.

Tabla 3.5. Disconfort promedio anual de las edificaciones del primer análisis monozona con WWR10

Edificio	% DISCONFORT		
	Mayor	Medio	Menor
	MTB-I ₂ -V1	MTM-I ₁ -V4	MTA-I ₀ -V2
C	67,08%	55,91%	29,59%
R	68,44%	58,73%	32,44%
L	64,74%	52,40%	29,86%
U	66,97%	57,56%	34,68%

Para entender el comportamiento de cada forma de la edificación con respecto al disconfort se presenta un análisis mensual en las siguientes configuraciones:

- **Mayor disconfort**, establecido con un WWR10, masa térmica baja, infiltración de 2 ACH y la orientación de acristalamiento V1 (Norte-Sur), se presenta en el Gráfico 3.45 el comportamiento mensual de las cuatro edificaciones con respecto al disconfort.



Gráfico 3.45. Comportamiento mensual con la configuración de mayor disconfort (MTB-I₂-V1).

Durante todo el año la curva de disconfort de la edificación de forma L mantiene el menor porcentaje de disconfort con respecto a las otras formas evaluadas debido a que cuenta con mayor envolvente en los lados Este y Oeste permitiendo una mayor ganancia de temperatura operativa interna.

Durante el año estudiado el rango de disconfort en esta configuración se encuentra entre el 50% a 80%.

- **Medio disconfort**, configuración con un WWR10, masa térmica media, infiltración de 1 ACH y la orientación de acristalamiento V4 (Sur-Este). El comportamiento mensual de disconfort para las cuatro edificaciones con esta configuración se visualiza en el Gráfico 3.46.



Gráfico 3.46. Comportamiento mensual con la configuración de medio disconfort (MTM-I₁-V4).

El comportamiento de las curvas de disconfort de las edificaciones es diferente para cada mes y siguen una misma tendencia entre ellas, pero la edificación de forma rectangular es el de mayor disconfort con respecto a las otras formas.

El disconfort promedio de las edificaciones en la configuración media se encuentra por el 55%, correspondiente a un rango entre el 25% y 80%.

- **Menor disconfort**, configurado por un WWR10, masa térmica alta, infiltración de 0 ACH y la orientación de acristalamiento V2 (Este-Oeste). En el Gráfico 3.47 detalla el comportamiento mensual de las edificaciones con respecto al disconfort térmico.



Gráfico 3.47. Comportamiento mensual con la configuración de menor disconfort (MTA-I₀-V2).

Con la configuración de menor disconfort, las curvas de las edificaciones de forma cuadrada y forma L presentan un comportamiento semejante, lo que se considera como las de mejores prestaciones térmicas de confort en esta configuración. La orientación de acristalamiento V2 permite que en el mes de mayor temperatura exterior las edificaciones posean temperaturas operativas dentro del rango de confort. La curva de la edificación de forma U en todo el año presenta el mayor disconfort con respecto a las otras formas.

El disconfort promedio de estas configuraciones es de 31% en las edificaciones y su comportamiento durante el año estudiado varía dependiendo de cada mes, desde un 2% a 55% de disconfort.

3.2.1.2.2. Comparativo de las configuraciones relevantes para monozona en el primer análisis con WWR20.

En el Gráfico 3.48 se presenta el comportamiento del porcentaje de disconfort para cada tipo de edificación con respecto a las configuraciones relevantes de los parámetros de diseño con un porcentaje de acristalamiento de 20% (WWR20).

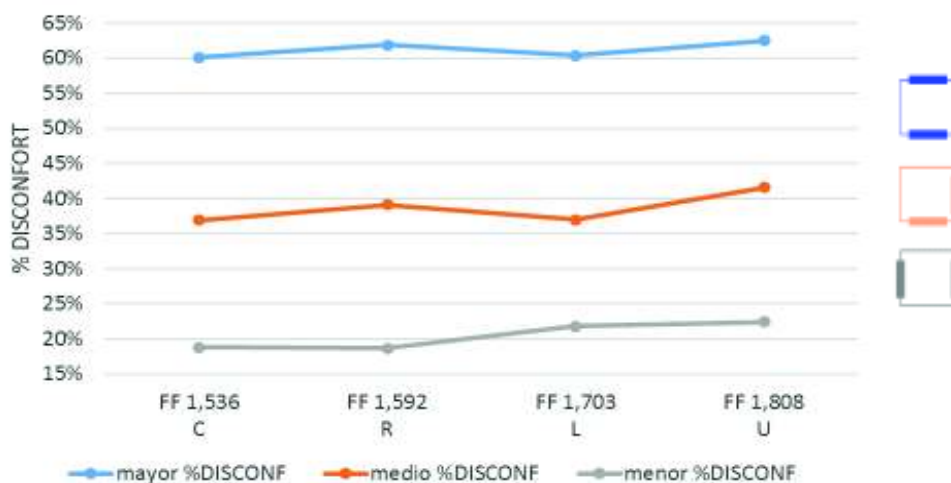


Gráfico 3.48. Comportamiento de disconfort en las edificaciones de acuerdo a las configuraciones relevantes de los parámetros de diseño con WWR20.

Con un 20% de acristalamiento en las edificaciones, la configuración de menor disconfort se encuentra en un 20%, el de medio disconfort en un 40% y el de mayor disconfort en un 61% en promedio.

En la Tabla 3.4 se presenta los valores de porcentaje promedio anual de disconfort de los cuatro edificaciones estudiadas en el primer análisis de monozonas con WWR20 y con respecto a las configuraciones relevantes de menor, medio y mayor valor de disconfort.

Tabla 3.6. Disconfort promedio anual de las edificaciones del primer análisis monozona con WWR20.

Edificio	% DISCONFORT		
	Mayor	Medio	Menor
	MTB-lz-V1	MTM-l1-V4	MTA-lo-V2
C	60,15%	36,89%	18,80%
R	61,91%	39,12%	18,64%
L	60,38%	36,96%	21,78%
U	62,49%	41,61%	22,40%

Un análisis mensual de estas configuraciones son descritas a continuación:

- **Mayor disconfort**, configuración con un WWR20, masa térmica baja, infiltración de 2 ACH y la orientación de acristalamiento V1 (Norte-Sur). El comportamiento mensual de disconfort de las cuatro edificaciones son mostradas en el Gráfico 3.49.

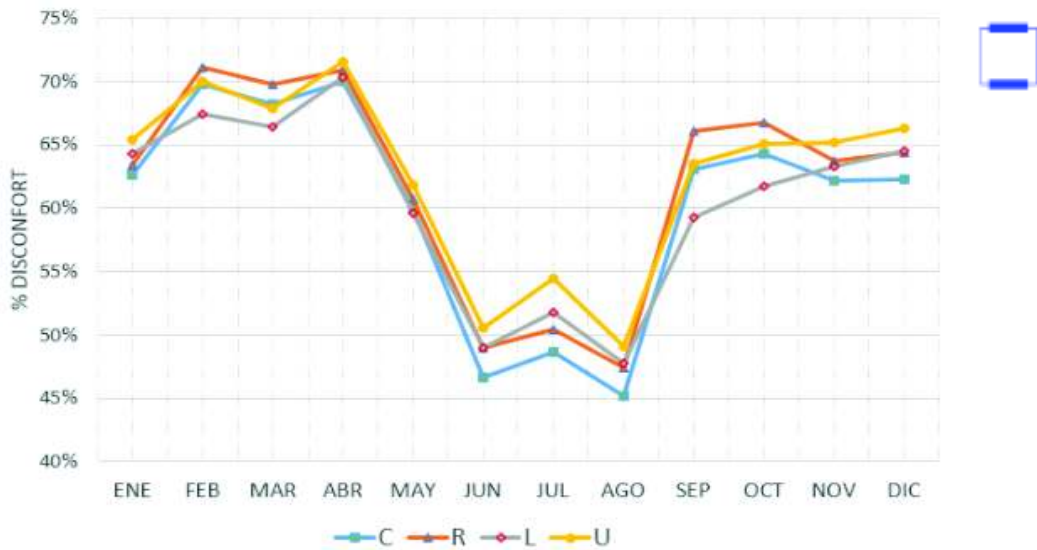


Gráfico 3.49. Comportamiento mensual con la configuración de mayor disconfort (MTB-I₂-V1).

Con la configuración de mayor disconfort, las curvas de las edificaciones durante todos los meses del año presentan una tendencia similar, la curva de la forma L y C presentan las de menor porcentaje de disconfort. El rango de porcentaje de disconfort con esta configuración se encuentra entre el 45% al 70%.

- **Medio disconfort**, se establece en WWR20, masa térmica media, infiltración de 1 ACH y la orientación de acristalamiento V4 (Sur-Este). Las cuatro edificaciones presenta su comportamiento mensual de disconfort en el Gráfico 3.50.



Gráfico 3.50. Comportamiento mensual con la configuración de medio disconfort (MTM-I₁-V4).

Las curvas de las edificaciones de las formas L y C presentan un similar comportamiento entre ellas y tienen un menor porcentaje de desconfort durante los meses del año. El rango de desconfort es del 10% al 55%, que corresponde a un promedio de 38% de desconfort.

- **Menor desconfort**, definido por un WWR20, masa térmica alta, infiltración de 0 ACH y la orientación de acristalamiento V2 (Este-Oeste). En el Gráfico 3.51 se muestra el comportamiento mensual de desconfort de las cuatro edificaciones.

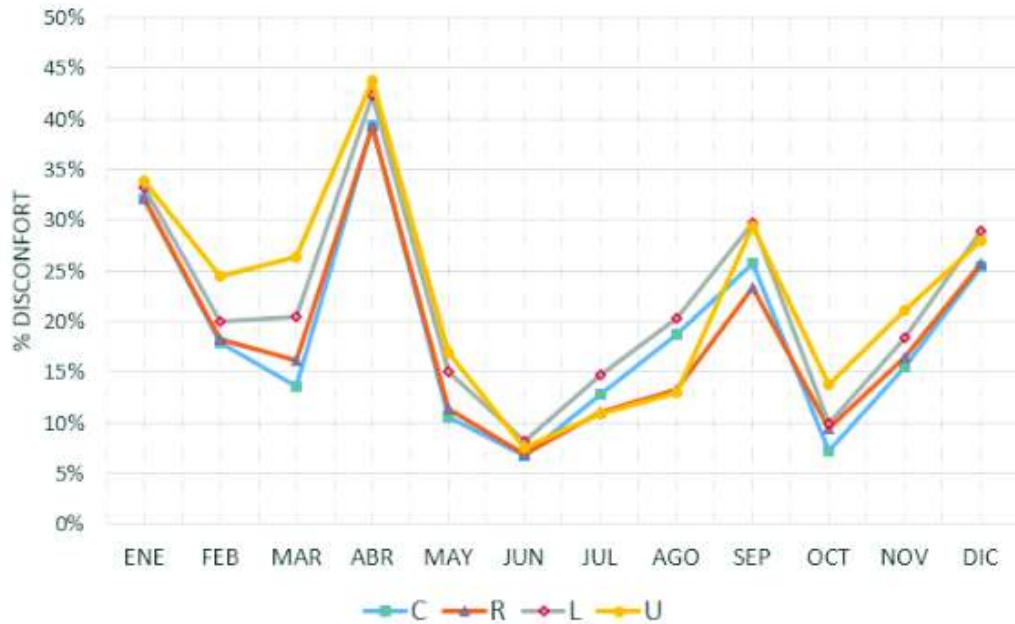


Gráfico 3.51. Comportamiento mensual con la configuración de menor desconfort (MTA-I₀-V2).

Con la configuración de menor desconfort y con WWR20 las curvas tienen un comportamiento diferente para cada mes y se observa que las edificaciones C y R presentan menor desconfort como valor promedio. El promedio anual del desconfort en las edificaciones es del 20%, en un rango del 15% al 45%.

3.2.1.2. Desconfort global de las edificaciones del primer análisis monozona

Como resultado global de la función objetivo con respecto a cada una de los factores de forma estudiados, se obtiene el comportamiento del desconfort y confort anual de las edificaciones en el Gráfico 3.52.

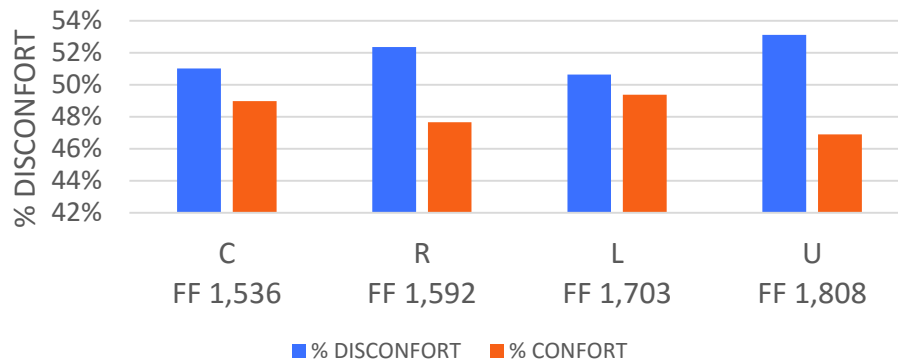


Gráfico 3.52. Disconfort y confort global anual de las edificaciones

Existen dos formas que presentan el menor disconfort entre las formas analizadas, estas son la forma cuadrada y la forma L, con un valor de disconfort de 51%. Se diferencia por el 1% en el disconfort de sobre enfriamiento y sobre calentamiento como se muestra en el Gráfico 3.53.

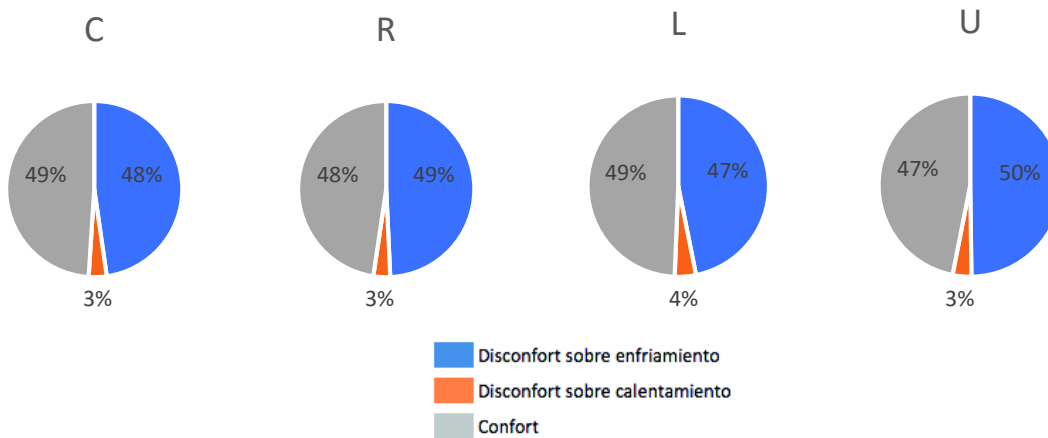


Gráfico 3.53. Disconfort y confort en las edificaciones del primer análisis monozona.

En el Gráfico 3.54, se realiza una evaluación comparativa de disconfort entre las edificaciones, considerando a la forma cuadrada como referencia de análisis. La forma L con un factor de forma de 1,703, posee una diferencia de -0,8% de disconfort con respecto a la forma cuadrada. La forma rectangular con un factor de forma de 1,592, tiene un valor de porcentaje de disconfort mayor de 2,7% con respecto a la forma base y la forma U con un 4,2% de porcentaje de disconfort mayor sobre la forma base.

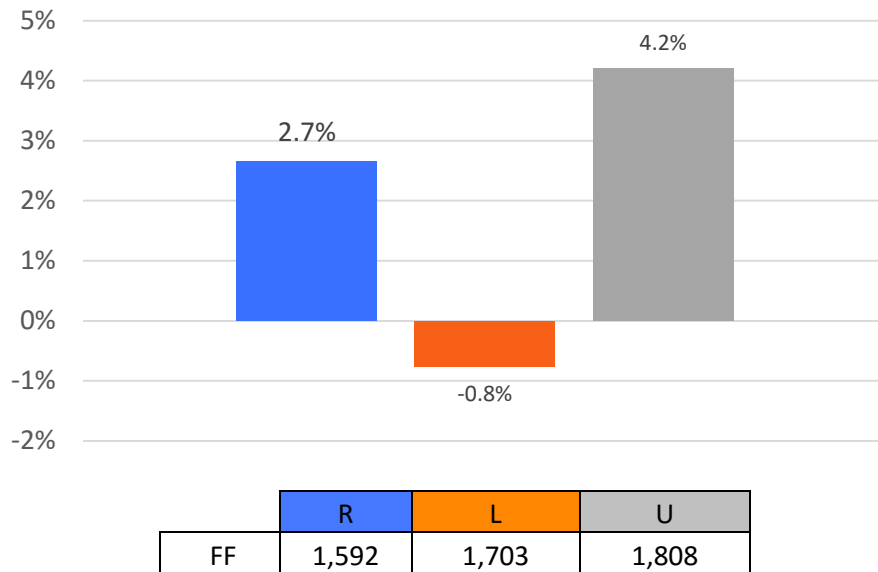


Gráfico 3.54. Variación del disconfort con respecto a la forma de edificación cuadrada en primer análisis monoazona

El factor de forma 1,703 correspondiente a la edificación de forma L, es el que presenta mejores condiciones de confort térmico, debido principalmente a la incidencia de la radiación solar sobre las superficies de la envolvente que cuentan con una mayor área expuesta hacia el Oeste-Este.

3.2.1.3. Comparación del disconfort en dos rangos de temperatura de confort en primer análisis monozonas

El rango de temperaturas dentro de la condición de confort determinada en la sección 2.6.1 del estudio, establece como T_{conf_i} de 18,76 (°C) y T_{conf_s} de 25,76 (°C). Para entender el impacto de la temperatura inferior en el rango de confort, se presenta un análisis con la variación de 2 (°C) en el límite inferior del rango de temperatura, definiendo un nuevo rango $T_{conf_{i(2)}}$ de 16,76 (°C) y manteniendo $T_{conf_{s(2)}}$ de 25,76 (°C).

Los resultados globales de disconfort de las dos condiciones de rangos de temperatura de confort se presenta en la Tabla 3.7.

Tabla 3.7. Comparación de disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

	Rango de temperatura de confort (°C)	C	R	L	U
% DISCONFORT 1	18,76 – 25,76	51,0%	52,4%	50,6%	53,1%
% DISCONFORT 2	16,76 – 25,76	28,4%	29,2%	29,1%	30,6%

La información de la temperatura exterior de la ciudad de Quito lo define como un clima frío, que, al variar el rango de temperatura de confort en el extremo inferior solamente con 2 (°C) de temperatura, el porcentaje de disconfort en las diferentes formas de edificaciones varía en un 20% en promedio como se observa en el Gráfico 3.55.

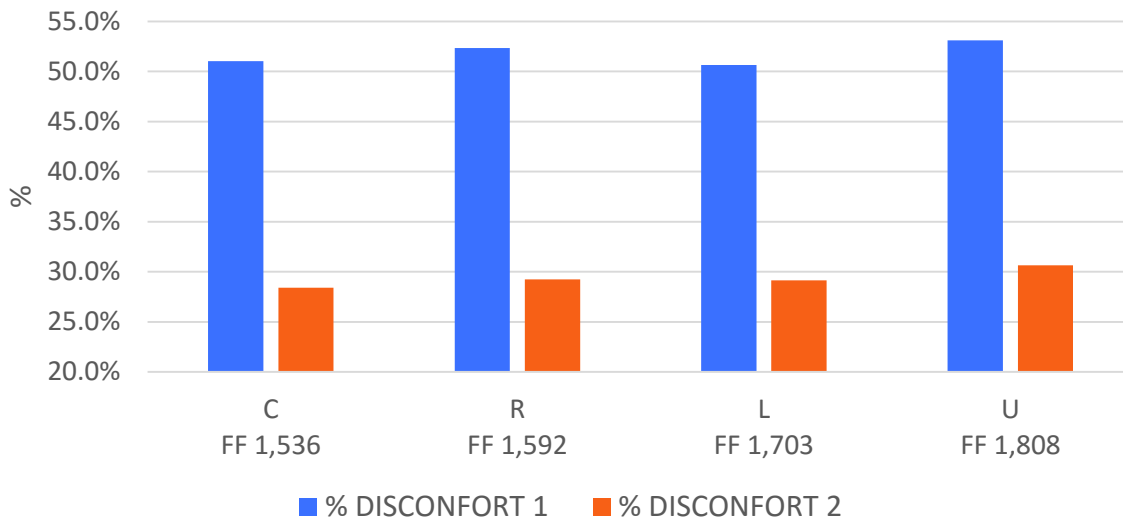


Gráfico 3.55. Comparación disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

Para visualizar el comportamiento en las curvas mensuales de disconfort de las diferentes edificaciones en los dos rangos de temperatura de confort, se realiza con la configuración de **medio disconfort** de WWR10, que consiste en masa térmica media, infiltración de 1 ACH y la orientación de acristalamiento V4. En el Gráfico 3.56 se realiza la comparación de las curvas de disconfort para los dos rangos de temperaturas r1 (rango de temperaturas de confort calculado) y r2 (rango de temperaturas de confort con reducción de 2 (°C) en el límite inferior) para las configuraciones (Cr1, Rr1, Lr1, Ur1, Cr2, Rr2, Lr2 y Ur2). Se observa que existe una diferencia considerable en el porcentaje de disconfort entre estos rangos y que la tendencia de las curvas no tiene el mismo comportamiento. En los dos rangos las curvas de la edificación de la forma L (FF: 1,703) permanecen con menor porcentaje de disconfort.

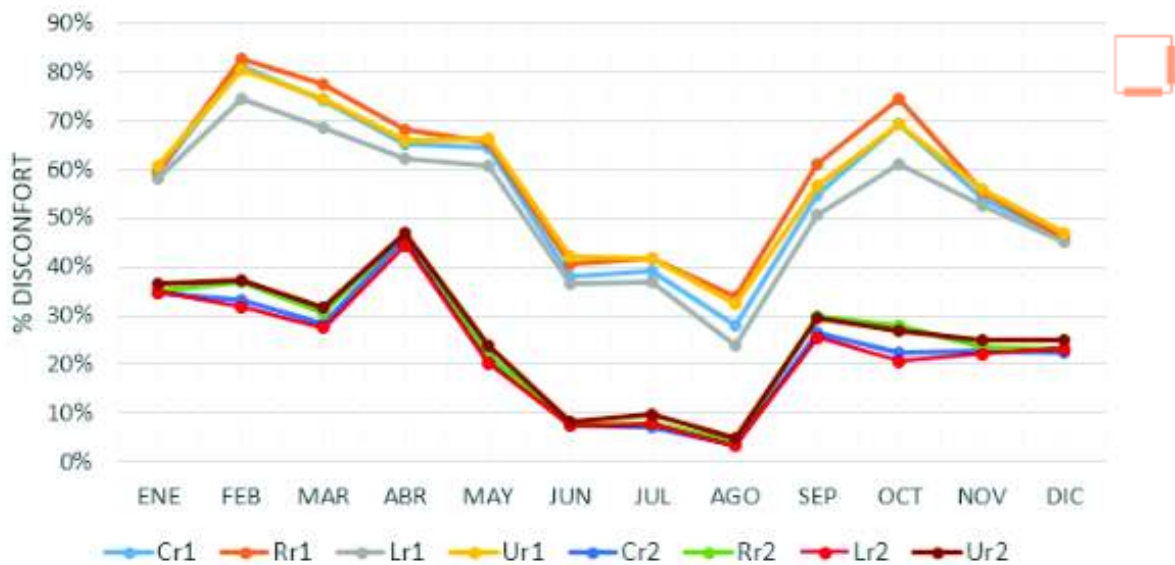


Gráfico 3.56. Comparación curva mensual disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

3.2.2. Segundo análisis monozona

Los resultados obtenidos dentro del primer análisis de monozona donde la diferenciación del valor de la función objetivo, el disconfort, entre las cuatro edificaciones estudiadas fue poco apreciable, por lo que se direcciona a un segundo análisis, el cual se enfoca en la evaluación de una edificación con una sola forma geométrica. Se varía sus componentes dimensionales y por ende su factor de forma para siete edificaciones, el porcentaje de acristalamiento se analiza en WWR10. La forma base es el cuadrado (C) y sus variaciones geométricas (R1, R2, R3, R4, R5 y R6) están definidas en la Tabla 2.5.

La secuencia de análisis se define de manera semejante a la realizada en el primer análisis, identificando de manera inicial su factor de forma correspondiente presentada en la Tabla 2.5 y resumida en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Factor de forma de las edificaciones de segundo análisis

FORMA EDIFICACIÓN	C	R1	R2	R3	R4	R5	R6
FACTOR DE FORMA	1,536	1,981	2,122	2,264	2,264	2,122	1,981

En las formas R1, R2 y R3 el disconfort es menor en condiciones de borde con techo adiabático, tienen una mayor ganancia de calor, debido a que poseen mayores superficies expuestas a la radiación solar y se encuentran en las caras Este y Oeste. En el caso de R4, R5 y R6 al presentar una configuración de techo expuesto, tienen un menor disconfort al aprovechar la radiación solar en esta superficie, como se muestra en el Gráfico 3.57.

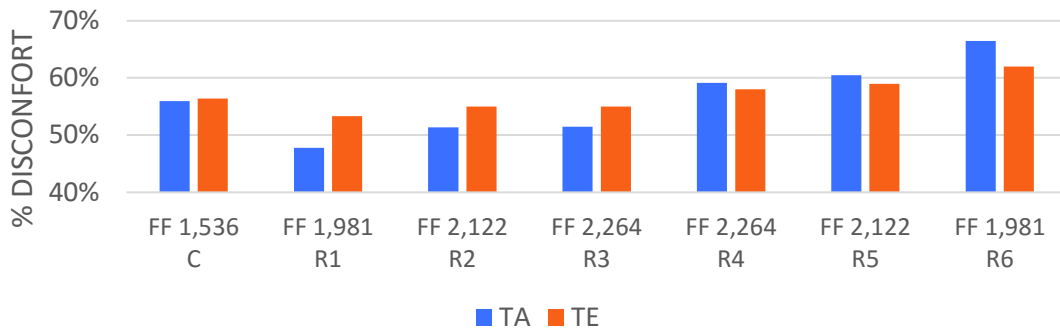


Gráfico 3.57. Porcentaje de disconfort con respecto a la condición de frontera (TA y TE).

El comportamiento de disconfort con respecto a la tasa de infiltración en el cambio de aire por hora se observa en el Gráfico 3.58. Una infiltración nula (I_0) significa que no existe un intercambio de aire frío que predomina en las condiciones de Quito, por lo que, la temperatura operativa interna permanece en el rango de confort y presenta un menor disconfort térmico. La edificación R1 es la que presenta un mejor comportamiento con respecto al disconfort.

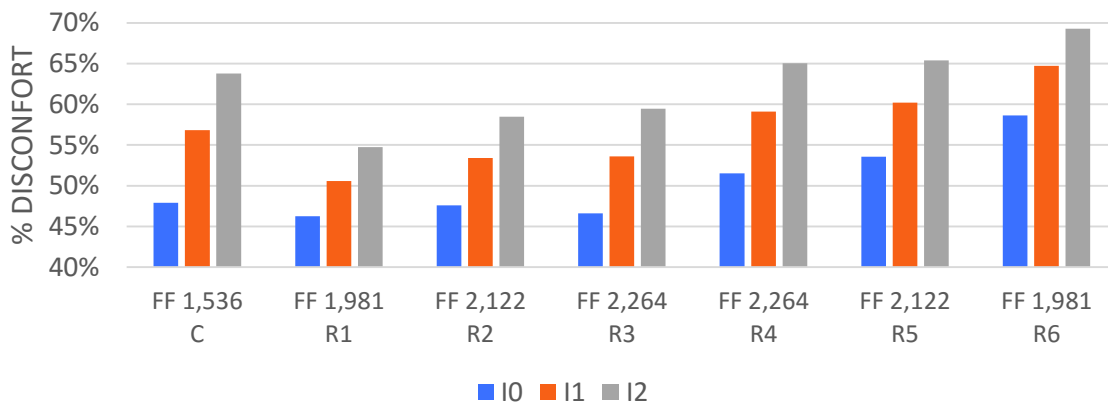


Gráfico 3.58. Porcentaje de disconfort con respecto a la infiltración en la edificación.

Una masa térmica baja utilizada como elemento constructivo presenta un 65% de disconfort en el Gráfico 3.59 y define que un mejor confort se obtiene siempre con una masa térmica alta.

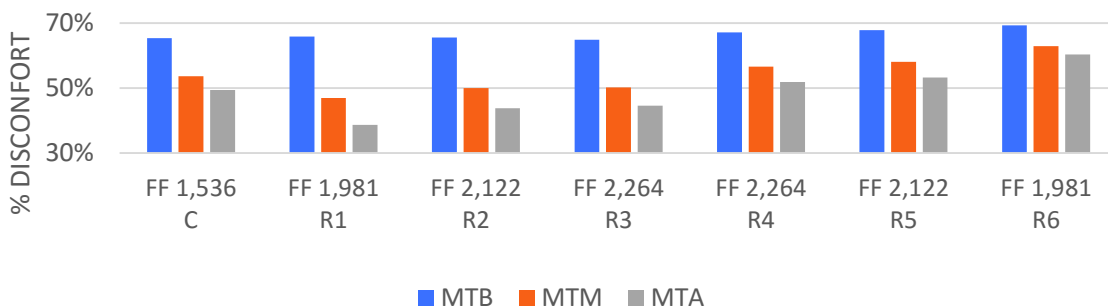


Gráfico 3.59. Porcentaje de disconfort con respecto a la masa térmica.

La orientación del acristalamiento influye en el comportamiento térmico debido a la incidencia de la radiación solar, por lo que la configuración de acristalamiento Este-Oeste (V2) es la mejor parametrización para un comportamiento térmico confortable, como se puede visualizar en el Gráfico 3.60.

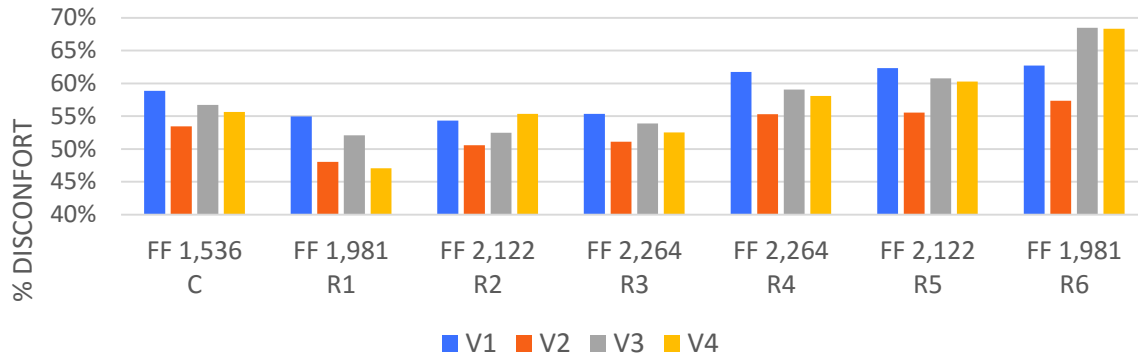


Gráfico 3.60. Porcentaje de disconfort con respecto a la orientación del acristalamiento.

3.2.2.1. Configuraciones relevantes de disconfort en el segundo análisis monozona

Se define las configuraciones con las cuales el disconfort puede ser de menor, medio y mayor porcentaje en cada edificación evaluada, las cuales dependen de sus parámetros y restricciones de diseño. En el apartado 3.1.3.4. permite establecer dichas configuraciones que para el caso de las siete edificaciones del segundo análisis de monozona son presentados en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Configuraciones relevantes de disconfort segundo análisis.

% Disconfort	Masa Térmica	Infiltraciones	Orientación WWR
MAYOR	MTB	I2	V1
MEDIO	MTM	I1	V4
MENOR	MTA	I0	V2

En el Gráfico 3.61 se presenta el comportamiento anual de disconfort para cada configuración de los parámetros definidos de las edificaciones.

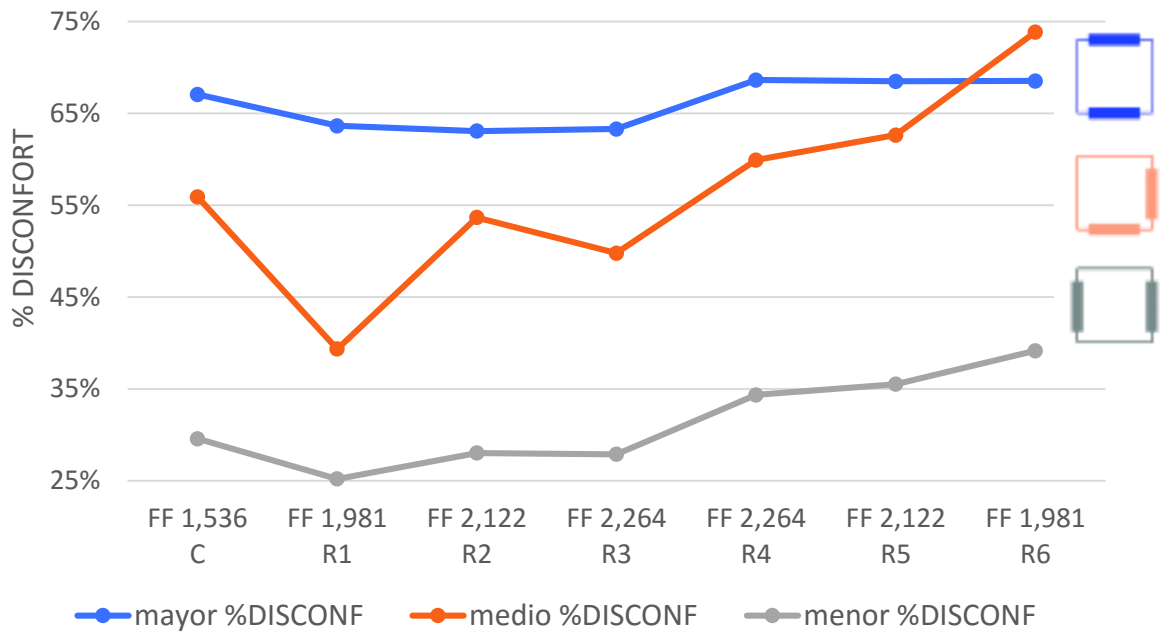


Gráfico 3.61. Configuraciones del comportamiento de disconfort del segundo análisis monozona

La configuración MTB-I₂-V1 es la de mayor porcentaje de disconfort y su curva presenta un similar comportamiento en las siete edificaciones con un 65% de disconfort en promedio. La curva con la configuración MTM-I₁-V1 (medio porcentaje de disconfort), muestra que la edificación con forma R1 posee el menor disconfort con un 37%. Con la configuración de menor disconfort (MTA-I₀-V2), las edificaciones se encuentran entre un 25% a 36% de disconfort debido a que poseen una alta masa térmica, una infiltración de 0 ACH y la orientación del acristalamiento en el Este y Oeste.

La Tabla 3.10 contiene los valores de porcentaje promedio anual de disconfort de las siete edificaciones estudiadas en el segundo análisis de monozonas con respecto a las configuraciones relevantes de menor, medio y mayor valor de disconfort.

Tabla 3.10. Disconfort promedio anual de las edificaciones del segundo análisis monozona con WWR10

Edificio	% DISCONFORT		
	Mayor	Medio	Menor
	MTB-l2-V1	MTM-l1-V4	MTA-l0-V2
C	67,08%	55,91%	29,59%
R1	63,65%	39,35%	25,21%
R2	63,08%	53,68%	28,03%
R3	63,31%	49,79%	27,89%
R4	68,64%	59,92%	34,36%
R5	68,50%	62,65%	35,53%
R6	68,54%	73,87%	39,16%

Análisis mensuales del disconfort para cada forma de las edificaciones se presenta a continuación, definidos por:

- **Mayor disconfort**, configuración con WWR10, masa térmica baja, infiltración de 2 ACH y la orientación de acristalamiento V1 (Norte-Sur). El comportamiento mensual de disconfort de las siete edificaciones es mostrado en el Gráfico 3.62.

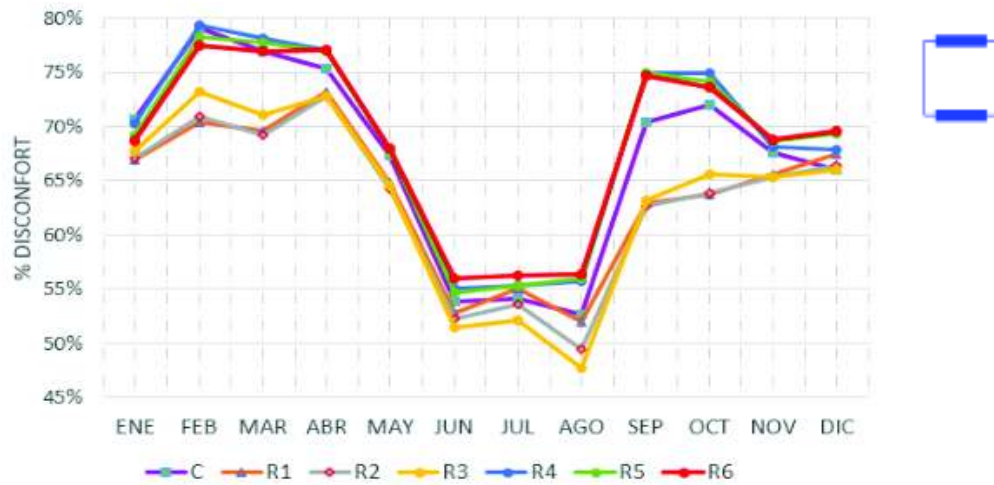


Gráfico 3.62. Comportamiento mensual con la configuración de mayor disconfort (MTB-l2-V1).

Con una configuración de mayor disconfort, en las curvas mensuales se visualiza que las edificaciones de formas R1, R2 y R3 son las que presentan menor porcentaje de disconfort con respecto a las otras formas. El rango anual del disconfort en esta configuración se encuentra del 50% al 80%.

- **Medio disconfort**, se establece con WW10, masa térmica media, infiltración de 1 ACH y la orientación de acristalamiento V4 (Sur-Este). El comportamiento mensual de disconfort de las siete edificaciones se presenta en el Gráfico 3.63.

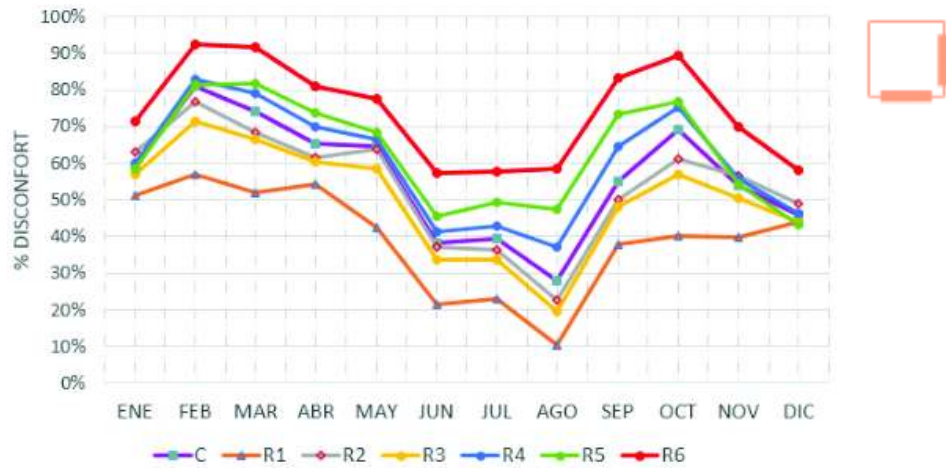


Gráfico 3.63. Comportamiento mensual con la configuración de medio confort (MTM-I₁-V4).

La curva mensual de la edificación de forma R1 presenta el mejor comportamiento en el confort térmico y la forma R6 el de mayor porcentaje de desconfort. El comportamiento del desconfort mensual, aunque mantiene una curva de tendencia semejante con todas las configuraciones de edificaciones, éstas difieren en su valor. Las curvas tienden a dar un mejor porcentaje de confort en el mes de agosto, por presentar más temperaturas operativas horarias dentro del rango de temperatura de confort.

- **Menor desconfort**, definido por WWR10, masa térmica alta, infiltración de 0 ACH y la orientación de acristalamiento V2 (Este-Oeste). En el Gráfico 3.64 se muestra el comportamiento mensual de desconfort de las siete edificaciones.

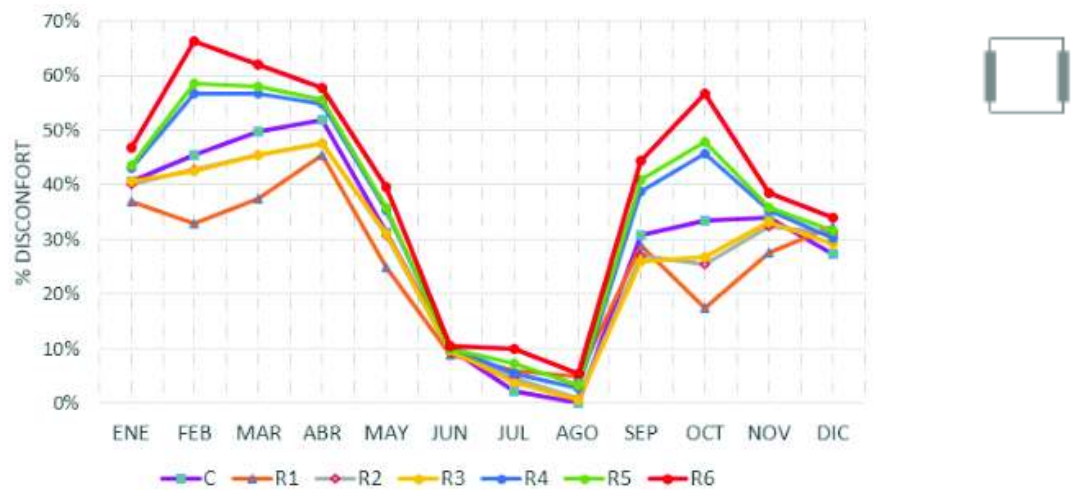


Gráfico 3.64. Comportamiento mensual con la configuración de menor desconfort (MTA-I₀-V2).

En los meses de verano de junio, julio y agosto, las temperaturas operativas de las edificaciones presentan el menor desconfort térmico del año. La edificación de la forma R1 mantiene el menor desconfort con respecto a las otras formas evaluadas. El rango de

disconfort se encuentra de 0% al 60% en las formas de edificaciones analizadas que dan como resultante un valor promedio de 31% de disconfort.

3.2.2.2. Disconfort global de las edificaciones del segundo análisis monoazona

En el Gráfico 3.65 se presenta un resultado global de la función objetivo de disconfort y confort correspondiente en las edificaciones C, R1, R2, R3, R4, R5 y R6.

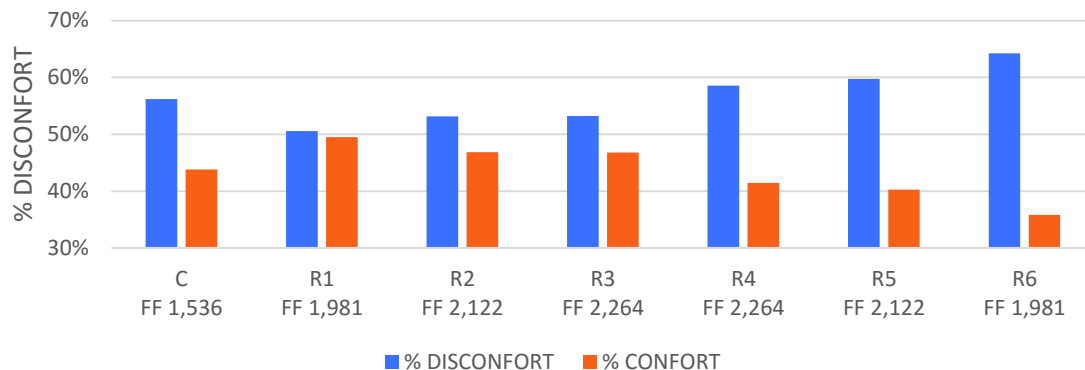


Gráfico 3.65. Disconfort y confort global de las edificaciones.

La forma R1 presenta el menor disconfort con respecto a las otras formas evaluadas en el segundo análisis, alcanzando un 50% de confort y un 46% en disconfort de sobre enfriamiento y un 4 % en disconfort de sobre calentamiento como se muestra en el Gráfico 3.66.

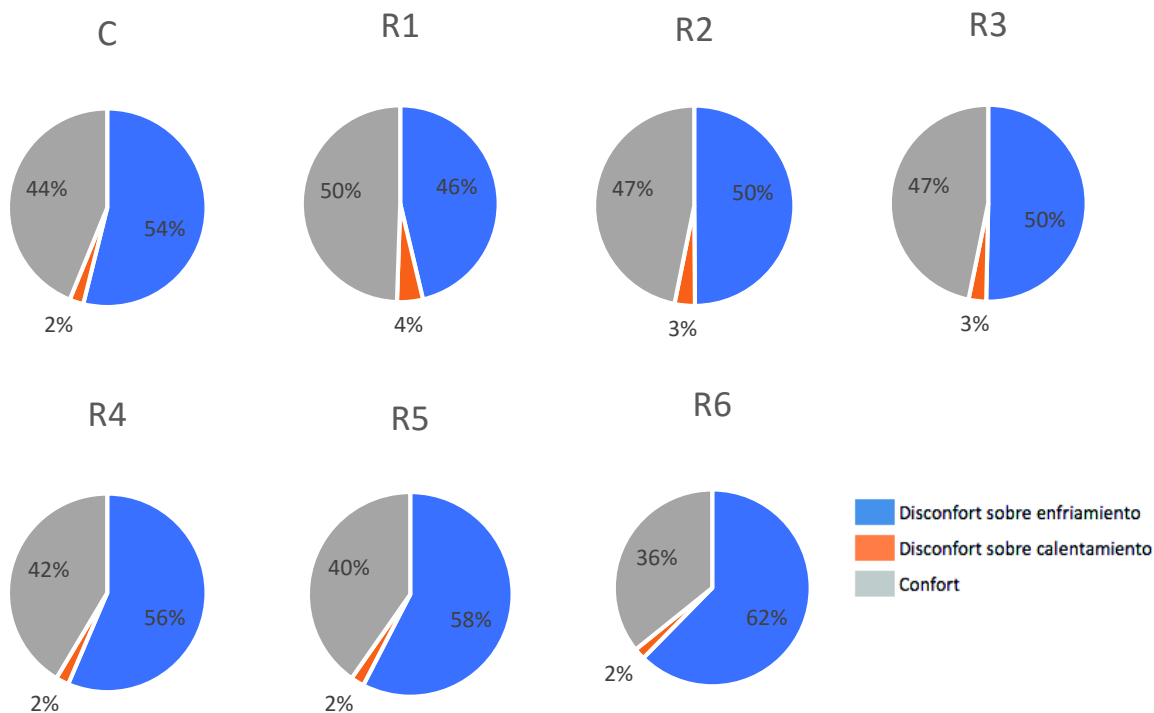


Gráfico 3.66. Disconfort y confort en las edificaciones segundo análisis monoazona.

Al considerar como la forma base la edificación cuadrada (C), se establece una evaluación comparativa de las otras formas en función del disconfort térmico. Se determina que la configuración R1 presenta un 10,2% menos de disconfort con respecto a la forma base.

El factor de forma de R1 y R6 es de 1,981, pero el parámetro influyente en este caso es la orientación de la edificación, donde la R1 al tener las caras de la edificación con mayor superficie expuesta a la radiación solar ubicadas en el Este y Oeste, posee menor disconfort térmico. La forma R6 con sus caras de mayor superficie ubicadas en el Norte y Sur tiene mayor disconfort, llegando a un 14,7% más con respecto a la forma base de la forma cuadrada, esto se observa en el Gráfico 3.67.

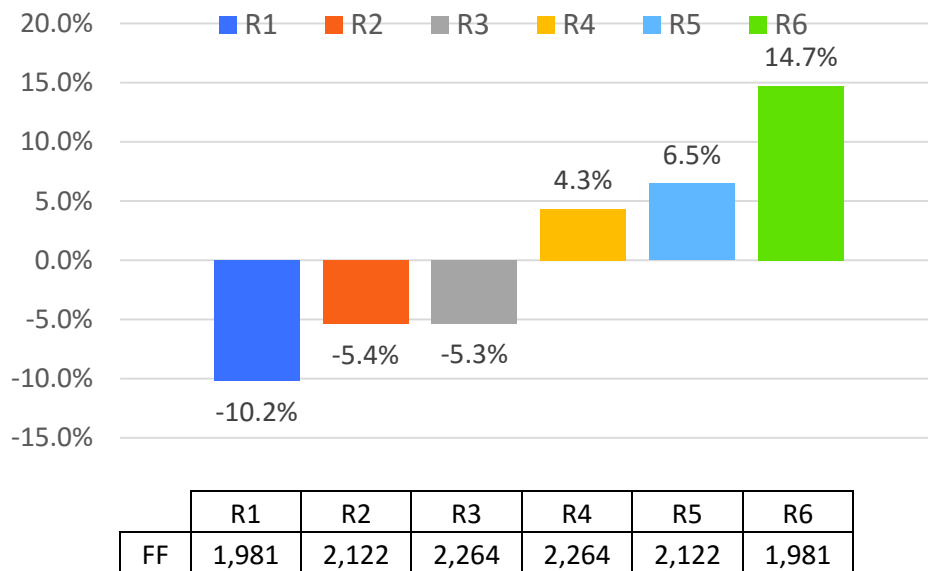


Gráfico 3.67. Variación del disconfort con respecto a la forma de edificación cuadrada en segundo análisis monoazona.

3.2.2.3. Comparación del disconfort en dos rangos de temperatura de confort en segundo análisis monozonas

En la sección 2.6.1 se estable el rango de temperaturas de confort, para este caso se realiza una variación de 2 (°C) en el extremo inferior, y con un rango de temperatura $T_{conf_{i(2)}}$ de 16,76 (°C) y manteniendo $T_{conf_{s(2)}}$ de 25,76 (°C) se presenta en la Tabla 3.11 donde se compara el disconfort en los dos rangos de temperatura.

Tabla 3.11. Comparación de disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

	Rango de temp de confort (°C)	C	R1	R2	R3	R4	R5	R6
% DISCONFORT 1	18,76 – 25,76	56,2%	50,5%	53,2%	53,2%	58,6%	59,7%	64,2%
% DISCONFORT 2	16,76 – 25,76	30,8%	30,3%	31,0%	30,1%	32,7%	33,8%	37,4%

En el Gráfico 3.68 se evidencia un 24% en promedio de diferencia en el disconfort al variar 2 °C de temperatura, en el rango de temperaturas de confort en las siete edificaciones.

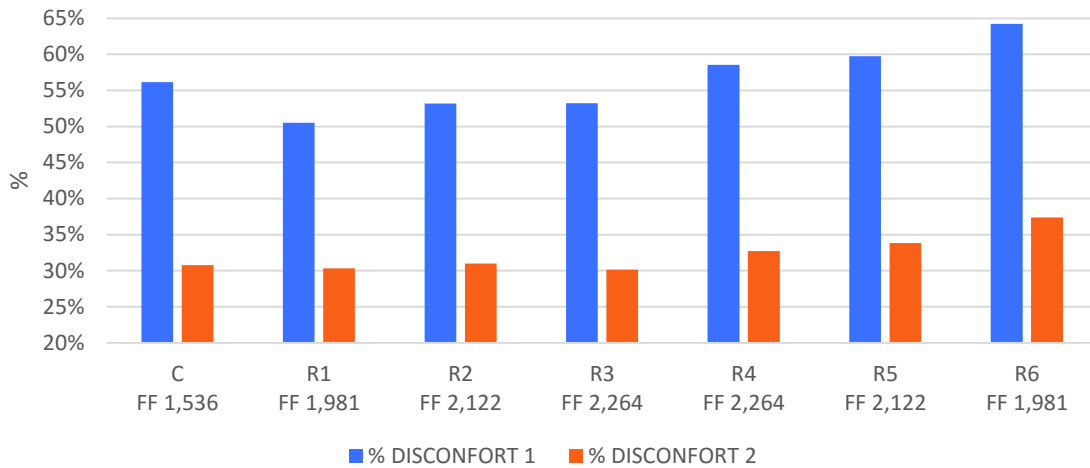


Gráfico 3.68. Comparación disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

En el Gráfico 3.69 se muestra el comportamiento mensual de las curvas de disconfort de las edificaciones de las formas estudiadas en los dos rangos de temperaturas de confort, la configuración de medio disconfort definida por un WWR10, masa térmica media, infiltración de 1 ACH y la orientación de acristalamiento V4. Las curvas con línea entrecortada corresponden a los del rango de temperatura de confort 1 (18,76 °C a 25,76 °C) y las de línea continua a los del rango 2 (16,76 °C a 25,76 °C). En los dos rangos se evidencia que la forma R1 tiene el menor disconfort y la forma R6 el de mayor disconfort. En los meses de junio, julio y agosto todas las formas presentan menor porcentaje de disconfort.

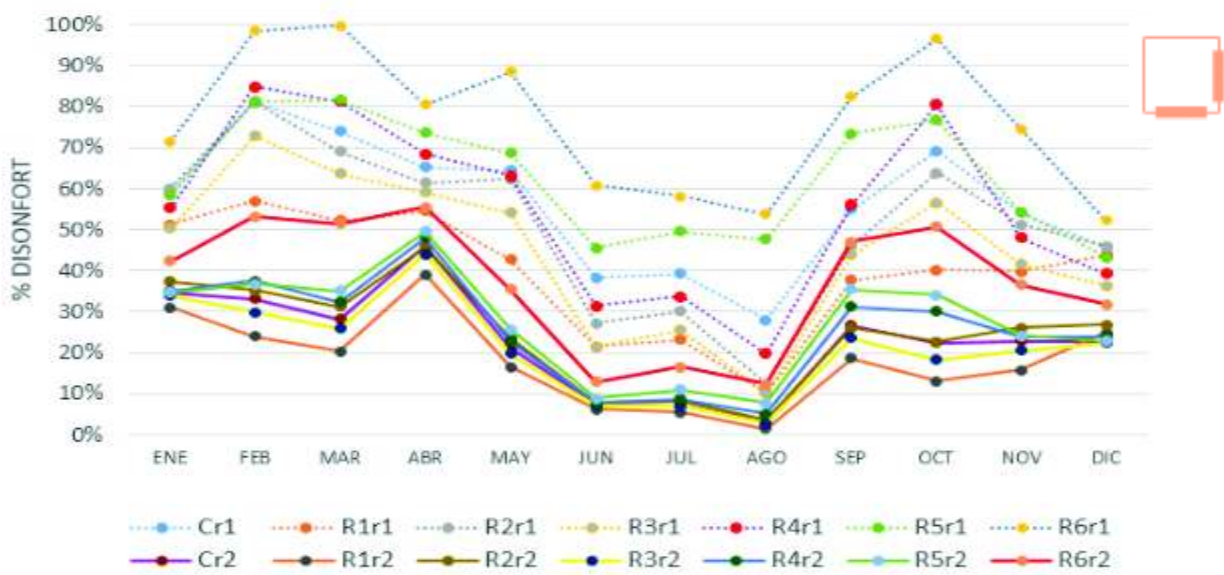


Gráfico 3.69. Comparación curva de disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

3.2.3. Análisis multizona.

El análisis de multizonas complementa al estudio realizado de monozonas, aquí se enfoca a la evaluación de una edificación con una forma geométrica rectangular con cinco zonas internas (Z1, Z2, Z3, Z4 y Z5) que conforma una edificación multizona. El factor de forma de esta edificación se presenta en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12. Factor de forma de la edificación con multizonas.

FORMA EDIFICACIÓN	R
FACTOR DE FORMA	1,592

El porcentaje de acristalamiento (WWR) evaluado en el análisis de multizonas es analizado en WWR20 con respecto a la superficie de la envolvente vertical.

Las condiciones de borde establecen que el contar con un techo expuesto en las edificaciones con multizonas evaluadas son más confortables térmicamente en cada zona analizada, como se muestra en el Gráfico 3.70. Debido a que con esta condición la radiación solar incide directamente en el techo y por la transferencia de calor permite que las temperaturas operativas internas de cada zona tiendan a estar en el rango de temperatura de confort.

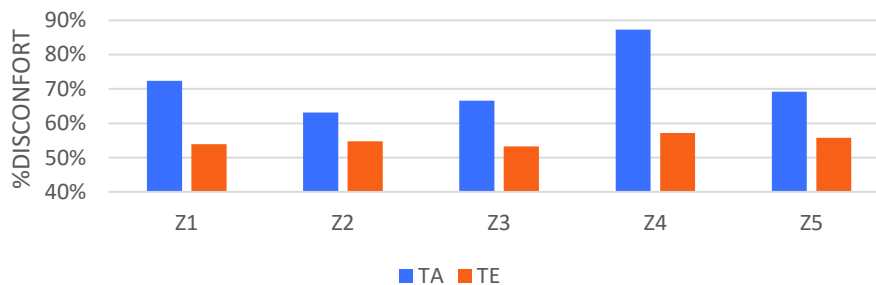


Gráfico 3.70. Porcentaje de disconfort en multizonas con respecto a la condición de borde.

La condición de borde de paredes de las edificaciones (A1 y A2) no presenta una diferencia significativa entre las dos condiciones, con excepción en la zona Z1 que es donde existe una diferencia de disconfort del 15% tal como se observa en el Gráfico 3.71. Debido a que en A1 la zona Z1 posee dos superficies con aislamiento adiabático que impide la incidencia de radiación solar, por lo que el porcentaje de disconfort térmico aumenta.

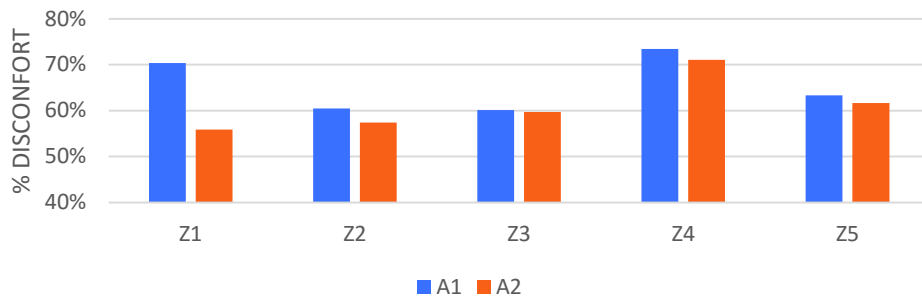


Gráfico 3.71. Porcentaje de disconfort en multizonas con respecto a la condición de borde de paredes.

Un menor disconfort en las zonas internas se presenta en las edificaciones con la orientación O1, aquí la edificación presenta el mayor alargamiento en el eje Norte-Sur, lo que permite aprovechar la radiación solar en mayor superficie envolvente de la edificación. La zona con menor disconfort es la Z5 con 54%, como se muestra en el Gráfico 3.72.

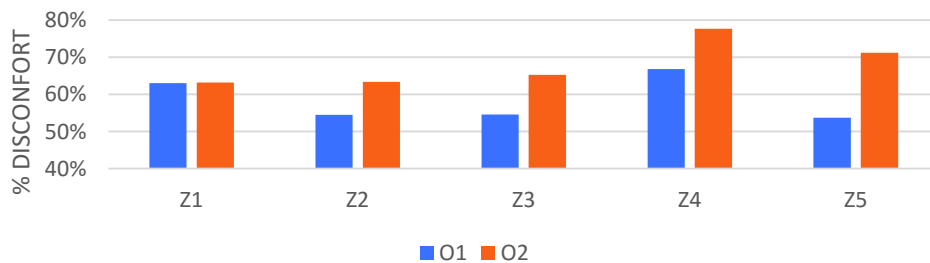


Gráfico 3.72. Porcentaje de disconfort en multizonas con respecto a la orientación de la edificación.

La orientación y dimensionamiento del acristalamiento en cada zona influye en el comportamiento térmico. El menor porcentaje de disconfort se presenta en la zona Z3 con las configuraciones de acristalamiento VZ2 y VZ5, debido a que en estas configuraciones existe una ventana que permite el ingreso de radiación solar en la zona. Este comportamiento se presenta en el Gráfico 3.73.

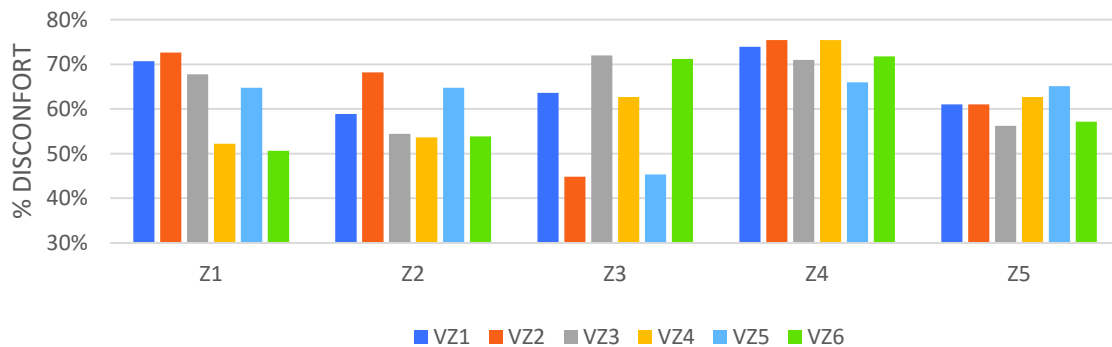


Gráfico 3.73. Porcentaje de disconfort en multizonas con respecto a la orientación del acristalamiento.

3.2.3.1. Configuraciones relevantes de disconfort en el análisis multizona

Con el análisis del apartado 3.1.4.4 se determina las configuraciones con las cuales el disconfort puede ser de menor, medio y mayor porcentaje en cada zona interna de la edificación evaluada, las cuales dependen de sus parámetros y restricciones de diseño y son diferenciadas de acuerdo a las condiciones de borde de techo expuesto y techo adiabático.

3.2.3.1.1. Techo expuesto en análisis multizona

Las configuraciones de menor, medio y mayor disconfort en multizonas de acuerdo a sus parámetros y restricciones de diseño de las edificaciones de condiciones de borde de techo expuesto se presenta en la Tabla 3.13.

Tabla 3.13. Configuraciones relevantes de disconfort en multizonas con techo expuesto.



% Disconfort	Condición de borde paredes	Orientación edificio	Orientación acristalamiento
MAYOR	A2	O2	VZ5
MEDIO	A2	O2	VZ6
MENOR	A1	O1	VZ3

Definido las configuraciones de las edificaciones para los diferentes tipos de disconfort se presenta su análisis individual en el Gráfico 3.74.

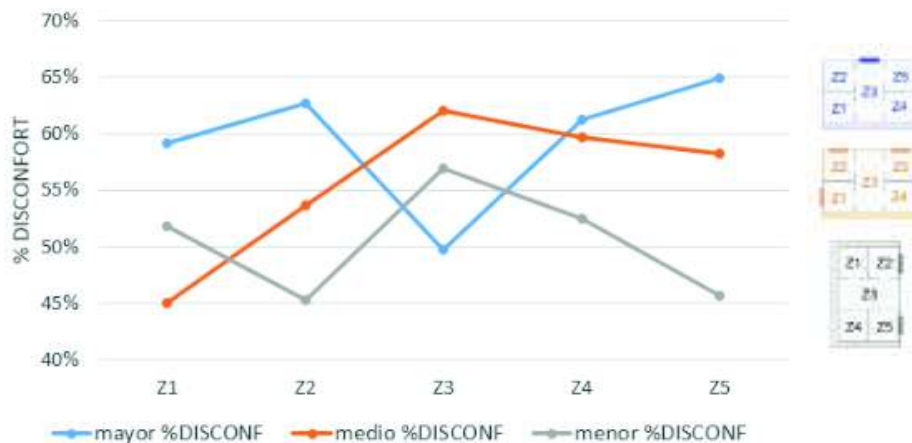


Gráfico 3.74. Configuraciones del comportamiento de disconfort en TE.

En la curva de la configuración de mayor porcentaje de disconfort (A2-O2-VZ5), la zona Z3 tienen el más bajo disconfort (50%), a consecuencia que con VZ5 el acristamiento incide en ésta zona, lo que permite el paso de la radiación solar obteniendo mayor número de temperaturas horarias operativas dentro del rango de confort térmico. Las otras zonas se encuentran en un rango de disconfort del 60% al 65%. La curva de menor disconfort (A1-O1-

VZ3) presenta en las zonas Z2 y Z5 un bajo disconfort de 45%, debido a que con la configuración VZ3 presentan ventanas en las paredes que las constituyen.

La Tabla 3.14 contiene los valores de porcentaje promedio anual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación estudiada en el análisis de multizonas con respecto a las configuraciones relevantes de menor, medio y mayor valor de disconfort.

Tabla 3.14. Disconfort promedio anual de las edificaciones del análisis multizona con TE.

Edificio	% DISCONFORT		
	Mayor	Medio	Menor
	A2-O2-VZ5	A2-O2-VZ6	A1-O1-VZ3
Z1	59,11%	45,03%	51,87%
Z2	62,72%	53,63%	45,24%
Z3	49,75%	62,05%	56,91%
Z4	61,23%	59,68%	52,51%
Z5	64,94%	58,21%	45,70%

Análisis mensuales del disconfort para cada forma de las edificaciones se presenta a continuación, las cuales están definidos por:

- **Mayor disconfort**, definido por la configuración con un WWR20, masa térmica media, infiltración de 1 ACH, condición de borde paredes A2, orientación del edificio O2 y la orientación de acristalamiento VZ5. El comportamiento mensual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación son mostradas en el Gráfico 3.75.

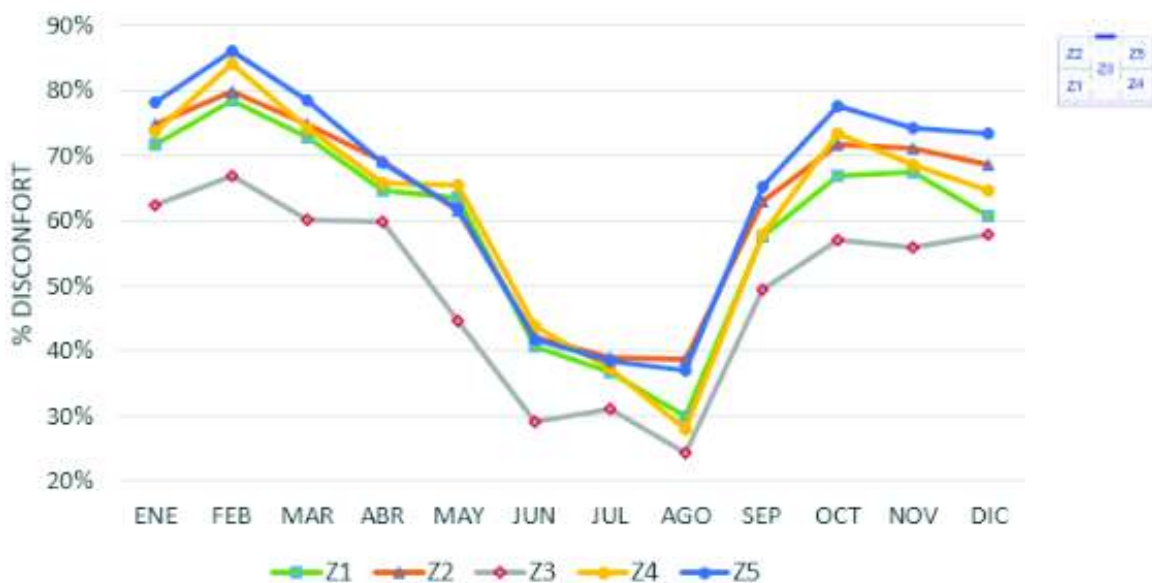


Gráfico 3.75. Comportamiento mensual con la configuración mayor disconfort en TE (A2-O2-VZ5).

Con una configuración de mayor disconfort, en las curvas mensuales de disconfort se visualiza que la zona Z3 presenta menor porcentaje de disconfort con respecto a las otras zonas, al contar con la ventana de acuerdo a la configuración VZ5. El rango anual del porcentaje de disconfort en esta configuración se encuentra entre el 50% al 65%.

- **Medio disconfort**, definido por la configuración con un WWR20, masa térmica media, infiltración de 1 ACH, condición de borde paredes A2, orientación del edificio O2 y la orientación de acristalamiento VZ6. El comportamiento mensual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación son mostradas en el Gráfico 3.76.



Gráfico 3.76. Comportamiento mensual con la configuración medio disconfort en TE (A2-O2-VZ6).

La curva mensual de disconfort de la zona Z1 presenta el mejor comportamiento en el confort térmico y la zona Z3 es el de mayor porcentaje de disconfort. El comportamiento del disconfort mensual, aunque mantiene una curva de tendencia semejante con todas las configuraciones de edificaciones, estas difieren en su valor. El rango se encuentra entre el 20% y 80% de disconfort.

- **Menor disconfort**, establecido por la configuración con un WWR20, masa térmica media, infiltración de 1 ACH, condición de borde paredes A1, orientación del edificio O1 y la orientación de acristalamiento VZ3. El comportamiento mensual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación son mostradas en el Gráfico 3.77.

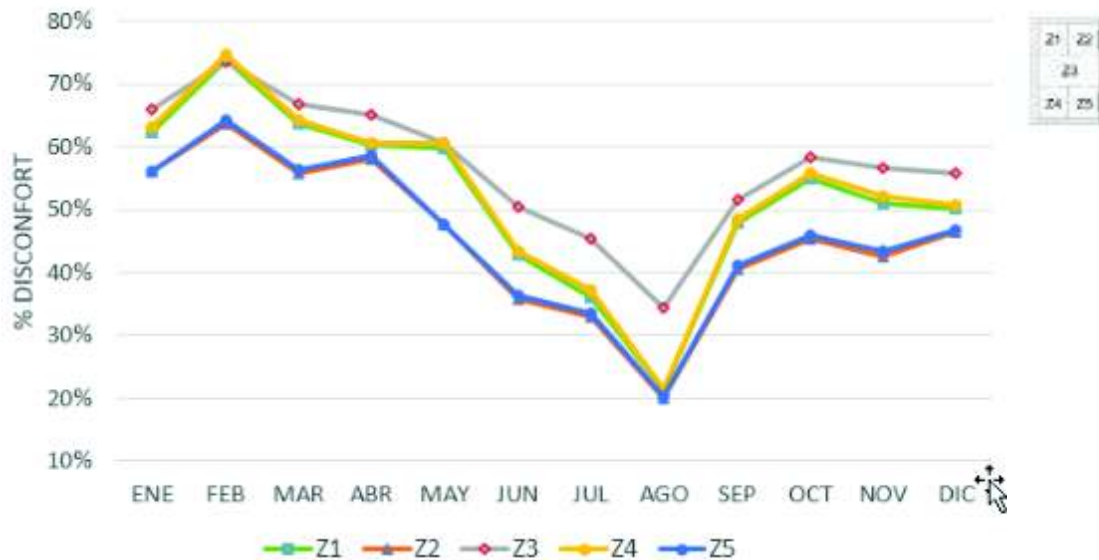


Gráfico 3.77. Comportamiento mensual con la configuración menor disconfort en TE (A1-O1-VZ3).

Las curvas de las zonas Z2 y Z5 tienen el mismo comportamiento y son las que presentan el menor porcentaje de disconfort mensualmente. Un comportamiento semejante se presenta entre las curvas de las zonas Z1 y Z4. La curva de la zona Z3 es la que presenta mayor disconfort. Las zonas que tienen similar comportamiento de disconfort se debe a que poseen las mismas condiciones de borde. El rango de disconfort mensual se encuentra entre el 20% al 75% en las zonas internas de la edificación analizada que dan como resultante un valor promedio de 50% de disconfort.

3.2.3.2.1. Techo adiabático en análisis multizona

Las configuraciones de menor, medio y mayor disconfort en multizonas de acuerdo a sus parámetros y restricciones de diseño de las edificaciones de condiciones de borde de techo adiabático de acuerdo a lo revisado en el apartado 3.1.4.4. se presenta en la Tabla 3.15.

Tabla 3.15. Configuraciones relevantes de disconfort en multizonas con techo adiabático.

	% Disconfort	Condición de borde paredes	Orientación edificio	Orientación acristalamiento
↑	MAYOR	A1	O2	VZ2
DISCONFORT	MEDIO	A2	O2	VZ6
↓	MENOR	A2	O1	VZ5

Definido las configuraciones de las edificaciones para los diferentes tipos de disconfort se presenta su análisis individual en el Gráfico 3.78.

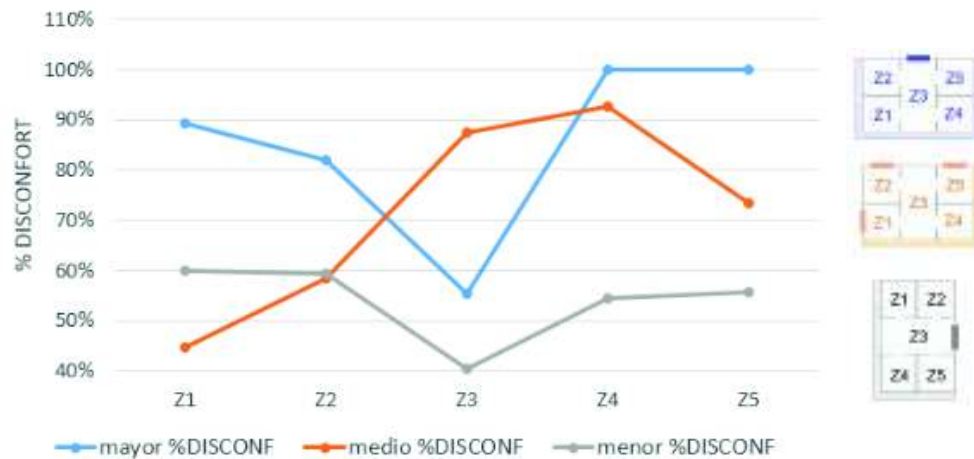


Gráfico 3.78. Configuraciones del comportamiento de disconfort en TA.

En la curva de configuración de menor porcentaje de disconfort (A2-O1-VZ5), presenta el más bajo disconfort de 40% en la zona Z3, ya que con VZ5 la ventana se encuentra en la superficie Oeste de esta zona, lo que permite el ingreso de la radiación solar y un aumento en la temperatura operativa que mejora el confort térmico. La curva con la configuración de mayor disconfort (A1-O2-VZ2) presenta en las zonas Z4 y Z5 un disconfort del 100%, ya que estas zonas por su ubicación y aislamiento no interactúa con la radiación solar. En la configuración de medio disconfort las zonas que contienen acristalamientos en sus superficies verticales tienen menor disconfort con respecto a las zonas que no las posee.

La Tabla 3.16 contiene los valores de porcentaje promedio anual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación estudiada en el análisis de multizonas con respecto a las configuraciones relevantes de menor, medio y mayor valor de disconfort.

Tabla 3.16. Disconfort promedio anual de las edificaciones del análisis multizona con TA.

Edificio	% DISCONFORT		
	Mayor	Medio	Menor
	A1-O2-VZ2	A2-O2-VZ6	A2-O1-VZ5
Z1	89,20%	44,69%	59,81%
Z2	81,89%	58,28%	59,34%
Z3	55,31%	87,33%	40,29%
Z4	100,00%	92,49%	54,47%
Z5	99,82%	73,31%	55,64%

A continuación se presenta el análisis individual para cada configuración de mayor, medio y menor disconfort:

- **Mayor disconfort**, definido por la configuración con un WWR20, masa térmica media, infiltración de 1 ACH, condición de borde paredes A1, orientación del edificio O2 y la

orientación de acristalamiento VZ2. El comportamiento mensual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación son mostradas en el Gráfico 3.79.



Gráfico 3.79. Comportamiento mensual con la configuración de mayor disconfort en TA (A1-O2-VZ2).

Con la configuración de mayor disconfort (A1-O2-VZ2) el comportamiento de las temperaturas operativas de cada zona interna de la edificación está regido por la ubicación del acristalamiento y la radiación solar incidente. Es por ello que las zonas Z4 y Z5 al contar con un aislamiento adiabático en la cara Este, sus temperaturas operativas no llegan al rango de temperaturas de confort, por lo que su porcentaje de disconfort durante todo el año es 100%. La zona Z3 es la que posee mejor comportamiento de confort térmico debido a que la ventana de esta configuración se encuentra en una de sus superficies, llegando a un porcentaje de disconfort del 20% y 30% en los meses de verano de junio, julio y agosto.

- **Medio disconfort**, definido por la configuración con un WWR20, masa térmica media, infiltración de 1 ACH, condición de borde paredes A2, orientación del edificio O2 y la orientación de acristalamiento VZ6. El comportamiento mensual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación son mostradas en el Gráfico 3.80.



Gráfico 3.80. Comportamiento mensual con la configuración de medio disconfort en TA.

La curva mensual de la zona Z1 presenta el mejor comportamiento en el confort térmico, a consecuencia de que una de sus superficies verticales no está aislada adiabáticamente, posee acristalamiento en la cara Oeste, lo que permite que las temperaturas operativas de la zona Z1 estén en un 55% en promedio anual en el rango de temperaturas de confort. La zona Z4 refleja el mayor disconfort con un promedio anual de 92%, debido a que dos de sus superficies verticales están aisladas adiabáticamente y las dos restantes tienen una baja interacción entre las otras zonas.

- **Menor disconfort**, establecido por la configuración con un WWR20, masa térmica media, infiltración de 1 ACH, condición de borde paredes A2, orientación del edificio O1 y la orientación de acristalamiento VZ5. El comportamiento mensual de disconfort de las cinco zonas internas de la edificación son mostradas en el Gráfico 3.81.

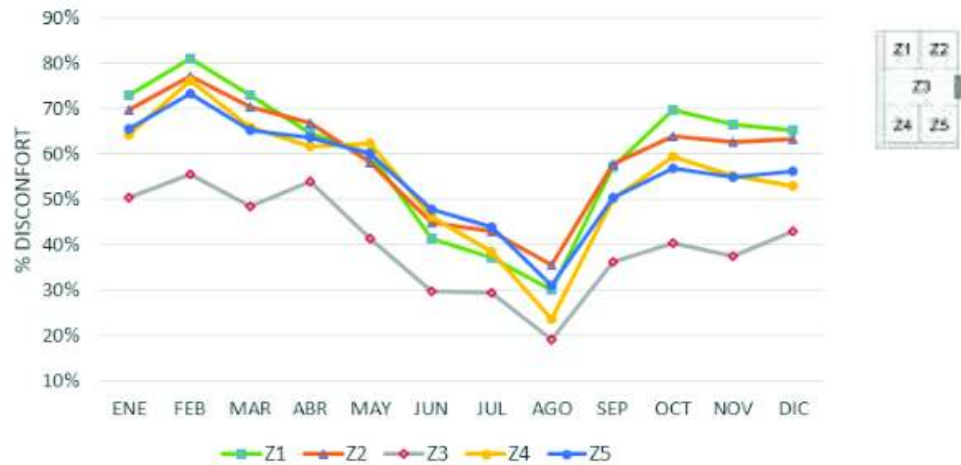


Gráfico 3.81. Comportamiento mensual con la configuración de menor disconfort en TA.

La incidencia de la radiación solar en el acristalamiento de la zona Z3 la define como la zona de mejor comportamiento de confort térmico. Las curvas de las zonas Z1, Z2, Z4 y Z5 tienen un comportamiento similar durante el año evaluado.

3.2.3.2. Disconfort global de las zonas de las edificaciones multizonales

En el Gráfico 3.82 se presenta un resultado global de la función objetivo de disconfort y su correspondiente confort en las zonas internas del análisis de multizonas.

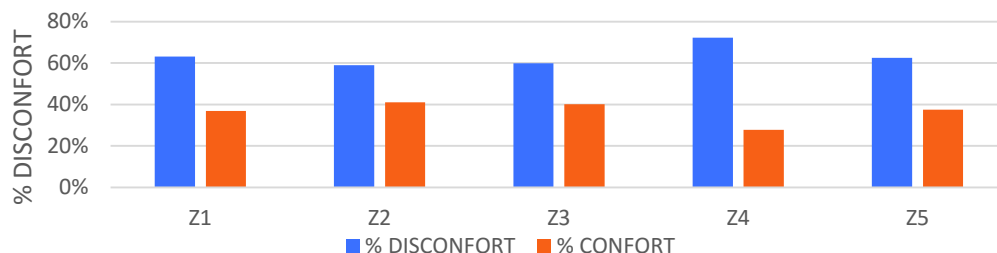


Gráfico 3.82. Disconfort y confort global de las zonas.

En la zona Z2 presenta el menor disconfort con respecto a las otras zonas evaluadas, la zona con mayor disconfort es la Z4 con un 72%. En el Gráfico 3.83 el disconfort por sobrecalentamiento es mínimo, casi nulo en todas las zonas analizadas.

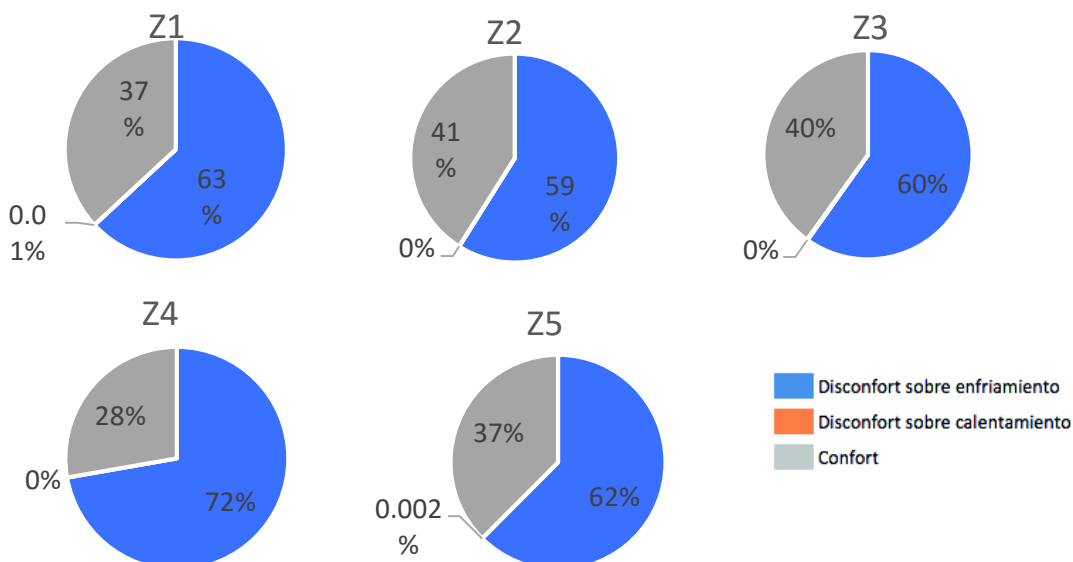


Gráfico 3.83. Disconfort y confort en las zonas.

3.2.3.3. Comparación del disconfort en dos rangos de temperatura de confort en el análisis multizonas

Como análisis adicional se establece una comparación con el comportamiento del disconfort entre un nuevo rango de temperaturas de confort, (2 °C menos en el límite inferior, 16,76 °C) y el rango de confort definido en la sección 2.6.1. En la Tabla 3.17 se compara el disconfort en los dos rangos de temperatura.

Tabla 3.17. Comparación de disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

	Rango de temp de confort (°C)	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
% DISCONFORT 1	18,76 – 25,76	63,1%	59,0%	59,9%	72,2%	62,5%
% DISCONFORT 2	16,76 – 25,76	11,7%	19,1%	14,6%	11,9%	21,2%

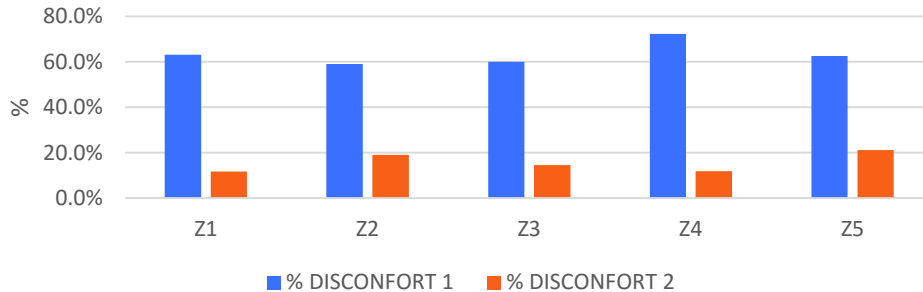


Gráfico 3.84. Comparación de disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

Se evidencia un 48% de diferencia en el disconfort al variar 2 °C de temperatura en el rango de temperaturas de confort en el límite inferior.

En el Gráfico 3.85 se muestra el comportamiento mensual de las curvas de disconfort de las edificaciones de las formas estudiadas en los dos rangos de temperaturas de confort. La configuración corresponde de medio disconfort de WWR10, masa térmica media, infiltración de 1 ACH, techo expuesto, aislamiento A1, orientación de edificación O1 y la orientación de acristalamiento VZ3. Las curvas con línea entrecortada corresponden a los del rango de temperatura de confort 1 (18,76 a 25,76 °C) y las de línea continua a los del rango 2 (16,76 a 25,76 °C). En el primer rango las zonas con menor disconfort son las Z2 y Z5 y en el segundo rango las curvas con menor disconfort son las zonas Z1 y Z4.

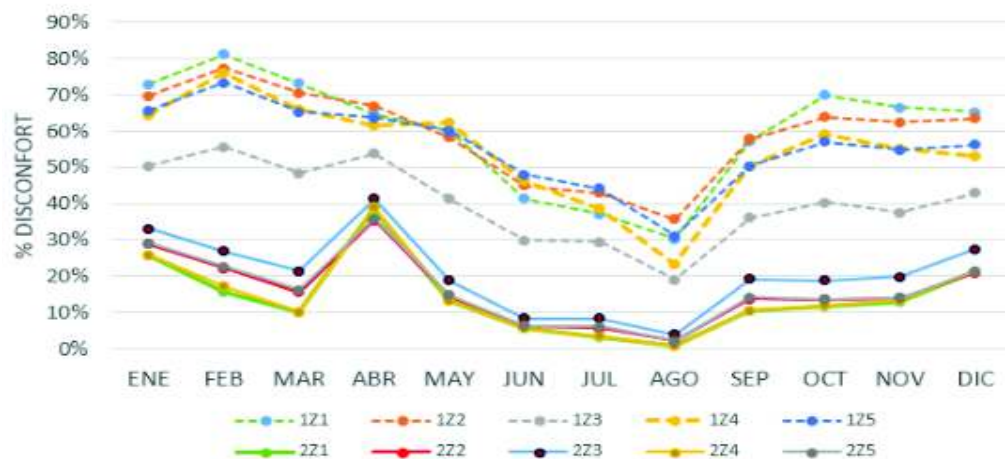


Gráfico 3.85. Comparación curva de disconfort con diferente rango de temperatura de confort.

4. CONCLUSIONES

- La normativa ASHRAE 55 en su apartado de edificaciones residenciales no acondicionadas permitió definir mediante cálculo el rango de temperaturas de confort para la ciudad de Quito (18,76 °C a 25,76 °C) y con ello la descripción de la función objetivo del estudio “disconfort” sobre las temperaturas operativas de edificaciones con diferente factor de forma analizadas.
- Con la evaluación del factor de forma para el escenario monozonal del primer y segundo análisis, se identificó que existen parámetros de diseño que determinan una mayor incidencia en el comportamiento térmico de las edificaciones, como son, masa térmica, porcentaje de acristalamiento, infiltraciones y orientación.
- El análisis de disconfort en los distintos parámetros de diseño para los escenarios monozonales, determinó que, debido a las temperaturas exteriores de Quito, considerado como clima frío, se tiene un mayor porcentaje de disconfort en sobre enfriamiento en las edificaciones evaluadas. Para el primer análisis de monozona el 48,5% se encuentra en disconfort de sobre enfriamiento y el 3,25% al disconfort de sobre calentamiento, mientras que para el segundo análisis de monozona se obtiene el 53,71% de disconfort en sobre enfriamiento y el 2,57% corresponde al disconfort en sobre calentamiento.
- El disconfort analizado en el escenario multizonal, permitió identificar que se obtiene un menor disconfort en las zonas internas de las edificaciones con la orientación O1, es decir, cuando la edificación presenta el mayor alargamiento en el eje Norte-Sur, debido a la ganancia de calor a través de la mayor superficie de la envolvente que intercambia calor con el exterior.
- Con el desarrollo de los mapas de porcentajes de disconfort de las simulaciones, permitió identificar la influencia de las configuraciones de los parámetros de diseño para que el valor del disconfort sea menor, medio o mayor. Con ello permitió analizar los comportamientos del disconfort para cada factor de forma. Dando como resultado que en el análisis monozonal con una infiltración cero (I0), masa térmica alta (MTA), techo adiabático (TA) y la orientación de acristalamiento V2 (ventanas orientadas Este – Oeste) presentan un menor disconfort.
- En base a los resultados obtenidos de las 576 simulaciones realizadas para el primer análisis de monozona, se identificó que no existe una diferencia significativa sobre la influencia del factor de forma y el disconfort térmico para las cuatro edificaciones

evaluadas. El factor de forma de 1,703, correspondiente a la forma L, presenta el mejor comportamiento térmico de confort, debido a que se encuentra orientado a lo largo del eje Norte y su mayor superficie envolvente se encuentra en el Este-Oeste aprovechando la incidencia de radiación solar, esto permite que aumente el porcentaje de temperaturas operativas internas que se encuentren dentro del rango de temperaturas de confort.

- La evaluación del disconfort anual para cada factor de forma no presenta una mayor relevancia, pero al ser analizado bajo periodos mensuales, el comportamiento del disconfort en cada factor forma varía dependiendo de las temperaturas entre los meses fríos y calientes, llegando a variar el disconfort de una edificación con un factor de forma en 40 puntos porcentuales de un mes a otro.
- En el segundo análisis monozonal con 504 simulaciones, se determina que el factor de forma que presentan menor disconfort es 1,981 de la configuración R1, con un 10,2% menos de disconfort con respecto a la forma base cuadrada. R6 que posee el mismo valor del factor de forma, pero una orientación opuesta a R1 presenta un mayor disconfort, esto se debe a que el parámetro influyente del comportamiento de las temperaturas operativas es la incidencia de radiación solar y la edificación R1 posee su mayor superficie envolvente en la orientación Este y Oeste, donde dicha radiación presenta mayor incidencia.
- Realizar la comparación de disconfort entre dos rangos de temperaturas de confort al reducir 2(°C) en el límite inferior (rango 1 de 18,76 - 25,76 (°C) y rango 2 de 16,76 – 25,76 (°C)) presenta una diferencia de 23% de disconfort en el análisis de monozona y 47% en el análisis de multizonas en promedio, por lo que la definición del rango de temperatura de confort es muy sensible para los resultados que se analicen con respecto al disconfort para las condiciones del clima de Quito.
- En condiciones de borde de techo adiabático en el escenario monozonal, se obtuvieron mejores condiciones de confort térmico. Para el escenario multizonal, el comportamiento térmico para cada zona interna de la edificación presenta un menor disconfort y menor desviación estándar en condiciones de borde con techo expuesto, debido a la incidencia de la radiación solar en las superficies de la envolvente.
- En el análisis multizonal el comportamiento térmico de cada zona es muy sensible con respecto a la incidencia de la radiación solar por medio del acristalamiento, por lo que

un estudio precedente de sombras ayudará a entender el comportamiento de las temperaturas operativas de las zonas internas de una edificación.

- Se recomienda realizar un estudio para la determinación del rango de confort térmico para la ciudad de Quito bajo la metodología de PMV (predicted mean vote) y la PPD (predicted percentage of dissatisfied) presentados en la normativa ASHRAE 55, el cual permitirá ajustar los resultados del comportamiento de disconfort para cada factor de forma evaluado.

Referencias Bibliográficas

- [1] M. Castro, “Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador,” *Ceda*, 2011.
- [2] M. Premrov, V. Žegarac Leskovar, and K. Mihalič, “Influence of the building shape on the energy performance of timber-glass buildings in different climatic conditions,” *Energy*, pp. 1–11, 2015.
- [3] I. Danielski, “Energy variations in apartment buildings due to different shape factors and relative size of common areas,” vol. 46, no. 0, pp. 1000–1007, 2005.
- [4] J. P. den Hartog, “DESIGNING INDOOR CLIMATE: a thesis on the integration of indoor climate analysis in architectural design,” p. 221, 2004.
- [5] B. Garzón, *Arquitectura bioclimática*. Nobuko, 2007.
- [6] W. S. S. W. M. Rashdi and M. R. Embi, “Analysing Optimum Building form in Relation to Lower Cooling Load,” *Procedia - Soc. Behav. Sci.*, vol. 222, pp. 782–790, 2016.
- [7] I. Miño, A. Lobato, and J. Labus, “Simulaciones energéticas como herramienta para evaluación térmica de las viviendas sociales del Ecuador: Caso Yachay,” *Investig. Sosten. Energías Renov. y Efic. Energética*, no. 2012, pp. 1–8, 2013.
- [8] P. Álvarez and D. Proaño, “La vivienda económica : aproximación desde la arquitectura,” 2010.
- [9] NEC, “Nec-11-Cap. 13. Eficiencia energética en la construcción en Ecuador,” *Norma Ecuatoriana La Construcción*, 2011.
- [10] P. McKeen and A. Fung, “The Effect of Building Aspect Ratio on Energy Efficiency: A Case Study for Multi-Unit Residential Buildings in Canada,” *Buildings*, vol. 4, no. 3, pp. 336–354, 2014.
- [11] Green Building Requirements, “Sustainable Design,” *Perceived Use Defin. Concept Wheather*.
- [12] V. Geletka and A. Sedláková, “Shape of buildings and energy consumption,” 2012.
- [13] V. Olgyay, “Protecciones solares y su implicancia en la demanda energética: caso edificio público en Concepción, Chile.” p. 203, 1963.
- [14] J. D. Balcomb, “Passive Solar Buildings,” p. 554, 1992.
- [15] B. M. Ross, “Design with Energy in Mind,” 2009.
- [16] US Department of Energy, “EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations,” *US Dep. Energy*, no. c, pp. 1–847, 2010.
- [17] A. Ioannou and L. C. M. Itard, “Energy performance and comfort in residential

- buildings: Sensitivity for building parameters and occupancy,” *Energy Build.*, vol. 92, pp. 216–233, 2015.
- [18] T. Catalina, J. Virgone, and V. Iordache, “Study on the Impact of the Building Form on the Energy Consumption,” *Proc. Build. Simul.*, pp. 1726–1729, 2011.
- [19] “El factor de forma como estrategia de diseño. | Huellas de arquitectura.” [Online]. Available: <https://huellasdearquitectura.wordpress.com/2013/05/24/el-factor-de-forma-como-estrategia-de-diseno/>. [Accessed: 09-Apr-2017].
- [20] P. Depecker, C. Menezzo, J. Virgone, and S. Lepers, “Design of buildings shape and energetic consumption,” *Build. Environ.*, vol. 36, no. 5, pp. 627–635, 2001.
- [21] D. E. Industria and Y. Comercio, “Reglamento de instalaciones,” 2007.
- [22] A. Joelsson and M. Fröling, “The Impact of the Shape Factor on Final Energy Demand in,” *World Renew. Energy Forum*, vol. 7, pp. 1–5, 2012.
- [23] I. M. S.-G. B. I. (2014) Francis D. K. Ching, *Introduction of Sustainability Parameter*. .
- [24] F. H. Abanda and L. Byers, “An investigation of the impact of building orientation on energy consumption in a domestic building using emerging BIM (Building Information Modelling),” *Energy*, vol. 97, pp. 517–527, 2016.
- [25] L. Zhang, L. Zhang, and Y. Wang, “Shape optimization of free-form buildings based on solar radiation gain and space efficiency using a multi-objective genetic algorithm in the severe cold zones of China,” *Sol. Energy*, vol. 132, pp. 38–50, 2016.
- [26] T. Østergård, R. L. Jensen, and S. E. Maagaard, “Building simulations supporting decision making in early design - A review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 61, pp. 187–201, 2016.
- [27] S. M. and L. C. Croitoro C., Nastate I., “Multi-criteria Design and Impact on Energy Consumption of a Residential House - A Parametric Study,” *Energy Procedia*, vol. 85, pp. 141–148, 2016.
- [28] A. AlAnzi, D. Seo, and M. Krarti, “Impact of building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 50, no. 3, pp. 822–828, 2009.
- [29] CONALEP, “Envolventes Arquitectónicas: Fachadas,” p. 51.
- [30] H. Samuelson, S. Claussnitzer, A. Goyal, Y. Chen, and A. Romo-Castillo, “Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts,” *Build. Environ.*, vol. 101, pp. 19–31, 2016.
- [31] X. Chen, H. Yang, and Y. Wang, “Parametric study of passive design strategies for high-rise residential buildings in hot and humid climates: miscellaneous impact

- factors,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 69, no. November 2015, pp. 442–460, 2017.
- [32] X. Chen, H. Yang, and K. Sun, “A holistic passive design approach to optimize indoor environmental quality of a typical residential building in Hong Kong,” *Energy*, vol. 113, pp. 267–281, 2016.
- [33] R.-M. Fallahtafti and Mahdavinejad, “Optimisation of building shape and orientation for better energy efficient architecture,” *Int. J. Energy Sect. Manag.*, vol. 9, no. 4 pp, pp. 593–618, 2013.
- [34] Carrier Air Conditioning Company, *HANDBOOK OF AIR CONDITIONING SYSTEM DESIGN*, 2012th ed. New York, 2012.
- [35] M. Castilla, J. D. Álvarez, M. Berenguel, M. Pérez, F. Rodríguez, and J. L. Guzmán, “Técnicas de Control del Confort en Edificios,” *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind. RIAI*, vol. 7, no. 3, pp. 5–24, 2010.
- [36] R. Maricinc, “RESPUESTAS TÉRMICAS DINÁMICAS EN EDIFICIOS,” UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CATALUÑA BARCELONA, 1999.
- [37] ASHRAE, “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy Standard 55,” vol. 2004, 2004.
- [38] D. Hawkes and O. Janet, *The Architecture of Energy*. New York, 1981.
- [39] S. Wang and Y. Chen, “Novel and simple building load calculation model for building and system dynamic simulation,” *Appl. Therm. Eng.*, vol. 21, no. 6, pp. 683–702, 2001.
- [40] U.S. Department of Energy, “Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output,” *Encycl. Ref. to EnergyPlus Input Output*, no. c, pp. 1996–2015, 2012.
- [41] P. R. Castro Da Silva, “ESTUDIO DE SENSIBILIDAD DE LAS CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS PARA EDIFICIOS RESIDENCIALES EN QUITO MEDIANTE SIMULACIÓN,” Escuela Politécnica Nacional, 2017.
- [42] Municipio Metropolitano de Quito, “Ordenanza No. 3746.” p. 178, 2008.
- [43] INEC, “Anuario de estadísticas de edificaciones 2014,” *Inec*, 2014.
- [44] A. Martín Alcalde, “Estudio Y Simulación De Un Edificio Con Energy Plus,” *ETS Ing. U. Rovira y Virgili*, 2010.
- [45] G. Manioğlu and G. Koçlar Oral, “Effect of courtyard shape factor on heating and cooling energy loads in hot-dry climatic zone,” *Energy Procedia*, vol. 78, pp. 2100–2105, 2015.

- [46] EnergyPlus, “Engineering Reference,” *US Dep. Energy*, no. c, pp. 1–847, 2010.
- [47] R. J. De Dear and G. S. Brager, “Thermal comfort in naturally ventilated buildings : revisions to ASHRAE Standard 55,” vol. 34, pp. 549–561, 2002.
- [48] ASHRAE, “Thermal Environmental Condition for Human Occupancy Standard 55,” vol. 2004, 2004.
- [49] “Elementos para el confort higrotérmico en edificios.” [Online]. Available: <http://www.hildebrandt.cl/elementos-que-definen-el-confort-higrotermico-en-un-edificio/>. [Accessed: 30-Aug-2017].
- [50] “Masa térmica y aislamiento de un cerramiento ¿Es lo mismo?” [Online]. Available: <http://www.certificadosenergeticos.com/masa-termica-aislamiento-cerramiento-mismo>. [Accessed: 09-Apr-2017].
- [51] C. Vásquez, “EL DISEÑO DEL SISTEMA DE CERRAMIENTO,” *ARQ*, no. 82, pp. 102–107, Dec. 2012.

Anexos

ANEXO I. SIMULACIONES EN EL PRIMER ANÁLISIS MONOZONAS

Tabla A.1. Combinaciones de parámetros a simular para primer análisis monoazona.

		WWR 10%					
			C	R	L	U	
PISO ADIABATICO	MTBaja	10	V1				
			V2				
			V3				
			V4				
	11	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
	12	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
MTMedia	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
MTAlta	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
PISO Y TECHO ADIABATICO	MTBaja	10	V1				
			V2				
			V3				
			V4				
	11	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
	12	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
MTMedia	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
MTAlta	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
		WWR 20%					
			C	R	L	U	
PISO ADIABATICO	MTBaja	10	V1				
			V2				
			V3				
			V4				
	11	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
	12	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
MTMedia	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
MTAlta	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
PISO Y TECHO ADIABATICO	MTBaja	10	V1				
			V2				
			V3				
			V4				
	11	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
	12	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
MTMedia	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
MTAlta	10	V1					
		V2					
		V3					
		V4					
11	V1						
	V2						
	V3						
	V4						
12	V1						
	V2						
	V3						
	V4						

ANEXO II. SIMULACIONES EN EL SEGUNDO ANÁLISIS MONOZONAS

Tabla A.2. Combinaciones de parámetros a simular para segundo análisis monoizona.

SIMULACIONES										
WWR 10%										
No. Simulaciones:		504								
No. Archivos idf:		C	R1	R2	R3	R4	R5	R6		
		4	4	4	4	4	4	4		
		C	R1	R2	R3	R4	R5	R6		
PISO ADIABATICO	MTBaja	I0	V1							
			V2							
			V3							
			V4							
		I1	V1							
			V2							
	MTMedia	I0	V1							
			V2							
			V3							
			V4							
		I1	V1							
			V2							
PISO Y TECHO ADIABATICO	MTBaja	I0	V1							
			V2							
			V3							
			V4							
		I1	V1							
			V2							
	MTMedia	I0	V1							
			V2							
			V3							
			V4							
		I1	V1							
			V2							
MTAlta	I0	V1								
		V2								
		V3								
		V4								
	I1	V1								
		V2								

ANEXO III. SIMULACIONES EN ANÁLISIS MULTIZONAS

Tabla A.3. Combinaciones de parámetros a simular para multizona.

SIMULACIONES				
WWR 20% -MTMEDIA- I1				
No. Simulaciones:				24
				MZ1
TECHO EXPUESTO	A1	O1	VZ1	1
			VZ2	1
			VZ3	1
		O2	VZ1	1
			VZ2	1
			VZ3	1
	A2	O1	VZ4	1
			VZ5	1
			VZ6	1
		O2	VZ4	1
			VZ5	1
			VZ6	1
TECHO ADIABATICO	A1	O1	VZ1	1
			VZ2	1
			VZ3	1
		O2	VZ1	1
			VZ2	1
			VZ3	1
	A2	O1	VZ4	1
			VZ5	1
			VZ6	1
		O2	VZ4	1
			VZ5	1
			VZ6	1

ANEXO IV. MAPA DEL PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIÓN MONOZONAS PRIMER ANÁLISIS CON WWR10

Tabla A.4. Porcentaje de disconfort en las simulaciones del primer análisis monozona con WWR10.

PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIONES MONOZONAS PRIMER ANÁLISIS CON WWR10																		
No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES				No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES				
					C	R	L	U						C	R	L	U	
					FF-1,536	FF-1,592	FF-1,703	FF-1,808						FF-1,536	FF-1,592	FF-1,703	FF-1,808	
1	TE	MTB	I0	V1	69,26%	69,58%	69,62%	70,13%	37	TA	MTB	I0	V1	57,61%	60,11%	58,54%	61,19%	
2				V2	69,00%	69,43%	69,46%	69,78%	38				V2	54,59%	56,72%	56,77%	59,27%	
3				V3	69,41%	69,74%	69,53%	70,31%	39				V3	56,54%	58,95%	58,18%	60,65%	
4				V4	68,94%	69,21%	69,47%	69,79%	40				V4	55,39%	57,85%	56,99%	59,85%	
5				I1	V1	70,10%	70,43%	70,43%	70,76%				41	V1	62,72%	64,79%	61,89%	64,42%
6					V2	69,84%	70,05%	70,06%	70,50%				42	V2	59,71%	61,07%	59,99%	62,12%
7					V3	70,17%	70,48%	70,38%	70,97%				43	V3	61,52%	63,20%	61,51%	63,47%
8				V4	69,70%	70,07%	70,01%	70,26%	44				V4	61,05%	62,85%	60,47%	62,72%	
9				I2	V1	70,71%	70,98%	70,87%	71,40%				45	V1	67,08%	68,44%	64,74%	66,97%
10					V2	70,42%	70,80%	70,56%	70,89%				46	V2	63,57%	64,85%	62,64%	64,38%
11					V3	70,83%	71,02%	71,08%	71,34%				47	V3	65,61%	66,92%	64,17%	66,06%
12					V4	70,59%	70,88%	70,53%	71,02%				48	V4	65,10%	66,56%	63,29%	65,47%
13			I0	V1	47,51%	49,39%	47,91%	50,78%	49			V1	47,02%	51,02%	46,35%	52,64%		
14				V2	45,56%	46,24%	45,97%	47,67%	50			V2	45,56%	41,03%	38,57%	43,38%		
15				V3	47,48%	48,45%	48,00%	49,94%	51			V3	43,57%	46,82%	43,47%	48,24%		
16				V4	45,61%	46,60%	45,75%	48,13%	52			V4	41,66%	45,23%	41,39%	47,52%		
17				I1	V1	54,17%	55,59%	53,60%	56,31%			53	V1	61,20%	64,24%	57,69%	62,52%	
18					V2	50,80%	51,80%	50,49%	52,29%			54	V2	51,93%	54,02%	48,95%	53,03%	
19					V3	52,93%	54,27%	52,64%	54,63%			55	V3	56,84%	59,28%	54,01%	57,90%	
20					V4	52,03%	53,30%	51,10%	53,74%			56	V4	55,91%	58,73%	52,40%	57,56%	
21				I2	V1	59,53%	60,90%	58,63%	60,84%			57	V1	70,63%	72,49%	66,15%	69,58%	
22					V2	55,92%	56,88%	54,50%	56,56%			58	V2	62,00%	63,66%	57,45%	60,83%	
23					V3	57,92%	59,27%	56,89%	59,08%			59	V3	66,44%	68,16%	62,17%	65,19%	
24					V4	57,37%	58,63%	56,14%	58,44%			60	V4	66,35%	68,14%	61,04%	65,08%	
25			I0	V1	40,30%	42,27%	40,06%	43,74%	61			V1	40,97%	45,05%	40,01%	46,60%		
26				V2	35,16%	36,28%	34,91%	37,43%	62			V2	29,59%	32,44%	29,86%	34,68%		
27				V3	38,33%	40,08%	38,36%	41,48%	63			V3	37,11%	40,76%	37,12%	41,96%		
28				V4	37,25%	38,79%	36,71%	40,06%	64			V4	33,36%	36,76%	32,92%	39,00%		
29				I1	V1	50,43%	52,00%	49,18%	52,35%			65	V1	59,25%	61,86%	55,38%	59,83%	
30					V2	44,75%	45,82%	43,17%	45,66%			66	V2	46,86%	48,58%	43,06%	47,15%	
31					V3	48,31%	49,69%	47,25%	49,49%			67	V3	54,87%	56,74%	51,02%	54,81%	
32					V4	46,84%	48,20%	45,00%	48,45%			68	V4	52,12%	54,51%	47,13%	53,06%	
33				I2	V1	58,57%	59,92%	56,48%	59,41%			69	V1	72,67%	74,08%	66,46%	70,23%	
34					V2	53,01%	53,80%	50,29%	52,55%			70	V2	61,02%	61,83%	54,39%	57,75%	
35					V3	56,29%	57,40%	54,38%	56,36%			71	V3	66,79%	67,90%	61,59%	63,86%	
36					V4	55,34%	56,52%	52,87%	55,86%			72	V4	66,94%	68,45%	59,81%	64,26%	

Tabla A.5. Rangos de porcentaje de disconfort para primer análisis monozona con WWR10.

RANGOS DE % DISCONFORT			
RANGO 1	30%	39%	
RANGO 2	39%	48%	
RANGO 3	48%	57%	
RANGO 4	57%	66%	
RANGO 5	66%	75%	

ANEXO V. MAPA DEL PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIÓN MONOZONAS PRIMER ANÁLISIS CON WWR20

Tabla A.6. Porcentaje de disconfort en las simulaciones del primer análisis monozona con WWR20.

PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIONES MONOZONAS PRIMER ANÁLISIS CON WWR20																		
No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES				No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES				
					C	R	L	U						C	R	L	U	
					FF-1,536	FF-1,592	FF-1,703	FF-1,808						FF-1,536	FF-1,592	FF-1,703	FF-1,808	
1	TE	MTB	I0	V1	69,41%	69,59%	69,93%	70,29%	37	TA	MTB	I0	V1	51,64%	54,17%	54,70%	57,82%	
2				V2	69,11%	69,36%	69,81%	69,93%	38				V2	48,88%	50,49%	53,26%	55,39%	
3				V3	69,43%	69,67%	70,03%	70,21%	39				V3	50,75%	53,12%	54,87%	57,40%	
4				V4	68,98%	69,24%	69,58%	69,97%	40				V4	49,39%	51,58%	53,55%	56,02%	
5				I1	V1	70,02%	70,05%	70,41%	70,65%				41	V1	56,50%	58,45%	58,09%	60,45%
6					V2	69,69%	69,63%	70,11%	70,25%				42	V2	53,15%	55,01%	56,27%	57,81%
7					V3	69,87%	70,01%	70,29%	70,73%				43	V3	55,64%	57,49%	57,74%	60,09%
8					V4	69,71%	69,82%	70,09%	70,21%				44	V4	54,10%	55,24%	56,35%	58,16%
9				I2	V1	70,46%	70,72%	70,89%	71,20%				45	V1	60,15%	61,91%	60,38%	62,49%
10					V2	70,06%	70,24%	70,63%	70,76%				46	V2	56,68%	57,97%	58,58%	60,08%
11					V3	70,76%	70,86%	71,02%	71,34%				47	V3	59,28%	60,70%	60,41%	62,00%
12					V4	70,05%	70,33%	70,68%	70,75%				48	V4	57,41%	58,61%	58,37%	60,15%
13			MTM	I0	V1	43,31%	44,70%	44,16%	46,24%			49	V1	31,67%	35,16%	33,56%	38,79%	
14					V2	42,07%	42,00%	43,08%	44,01%			50	V2	27,61%	28,28%	30,74%	32,20%	
15					V3	44,22%	45,02%	45,71%	46,87%			51	V3	31,39%	33,55%	34,25%	37,29%	
16					V4	40,94%	41,31%	41,67%	42,96%			52	V4	26,78%	28,95%	28,90%	33,36%	
17				I1	V1	48,65%	50,16%	48,41%	50,83%			53	V1	43,32%	46,27%	42,95%	47,90%	
18					V2	45,78%	45,96%	46,23%	47,00%			54	V2	33,71%	35,09%	35,33%	38,00%	
19					V3	48,70%	49,50%	49,22%	50,57%			55	V3	40,10%	41,97%	41,04%	43,76%	
20					V4	45,13%	45,99%	45,25%	47,15%			56	V4	36,89%	39,12%	36,96%	41,61%	
21				I2	V1	53,37%	54,63%	52,72%	54,84%			57	V1	33,71%	35,09%	35,33%	38,00%	
22					V2	49,14%	49,46%	49,17%	49,87%			58	V2	33,71%	35,09%	35,33%	38,00%	
23					V3	52,39%	53,31%	52,32%	53,76%			59	V3	40,10%	41,97%	41,04%	43,76%	
24					V4	49,93%	50,67%	48,72%	51,03%			60	V4	46,46%	48,04%	44,33%	48,52%	
25			MTA	I0	V1	32,29%	33,98%	32,32%	35,78%			61	V1	22,19%	25,64%	24,05%	29,61%	
26					V2	28,82%	28,88%	29,70%	30,45%			62	V2	18,80%	18,64%	21,78%	22,40%	
27					V3	31,87%	32,87%	32,52%	34,32%			63	V3	21,69%	23,37%	24,26%	26,99%	
28					V4	28,60%	29,42%	28,46%	31,30%			64	V4	17,02%	19,09%	19,24%	23,62%	
29				I1	V1	40,94%	42,23%	39,94%	42,82%			65	V1	36,47%	39,18%	35,24%	40,68%	
30					V2	33,84%	34,25%	33,81%	34,89%			66	V2	24,21%	25,19%	25,70%	27,96%	
31					V3	38,63%	39,60%	38,22%	39,86%			67	V3	32,32%	34,08%	32,69%	35,48%	
32					V4	36,46%	37,23%	35,27%	38,01%			68	V4	28,03%	29,78%	27,68%	32,44%	
33				I2	V1	48,22%	49,27%	46,59%	49,14%			69	V1	49,21%	51,11%	46,10%	50,07%	
34					V2	40,21%	40,42%	38,79%	39,97%			70	V2	34,11%	34,73%	32,74%	35,10%	
35					V3	45,42%	45,91%	44,17%	45,40%			71	V3	43,12%	44,38%	41,10%	43,17%	
36					V4	43,30%	44,00%	41,36%	44,05%			72	V4	39,60%	41,07%	36,92%	41,42%	

Tabla A.7. Rangos de porcentaje de disconfort para primer análisis monozona con WWR20.

RANGOS DE % DISCONFORT			
RANGO 1	24%	36%	
RANGO 2	36%	49%	
RANGO 3	49%	61%	
RANGO 4	61%	73%	
RANGO 5	73%	85%	

ANEXO VI. MAPA DEL PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIÓN MONOZONAS SEGUNDO ANÁLISIS CON WWR10 Y TE

Tabla A.8. Porcentaje de disconfort en las simulaciones del segundo análisis monoazona (WWR10 y TE).

% DISCONFORT EN SIMULACIONES MONOZONAS SEGUNDO ANÁLISIS											
No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES						
					C	R1	R2	R3	R4	R5	R6
					FF:1,536	FF:1,981	FF:2,122	FF:2,264	FF:2,264	FF:2,122	FF:1,981
1	TE	MTB	I0	V1	69,26%	70,43%	70,10%	69,75%	70,19%	70,43%	71,00%
2				V2	69,00%	70,48%	69,94%	69,57%	69,69%	70,08%	70,64%
3				V3	69,41%	70,42%	70,41%	69,66%	70,05%	70,58%	70,80%
4				V4	68,94%	70,51%	69,77%	69,46%	69,76%	70,24%	70,64%
5			I1	V1	70,10%	70,78%	70,46%	70,21%	70,70%	71,07%	71,28%
6				V2	69,84%	70,89%	70,38%	69,94%	70,42%	70,74%	70,98%
7				V3	70,17%	70,75%	70,64%	70,29%	70,82%	71,06%	71,40%
8				V4	69,70%	70,80%	70,17%	69,92%	70,37%	70,68%	71,24%
9			I2	V1	70,71%	71,20%	70,91%	70,71%	71,32%	71,52%	71,77%
10				V2	70,42%	71,10%	70,88%	70,73%	70,92%	71,27%	71,52%
11				V3	70,83%	71,39%	71,40%	70,87%	71,22%	71,68%	71,89%
12				V4	70,59%	71,06%	70,68%	70,57%	70,98%	71,26%	71,60%
13		MTM	I0	V1	47,51%	47,52%	46,85%	46,75%	50,96%	52,59%	53,82%
14				V2	45,56%	45,29%	45,71%	45,53%	46,99%	47,72%	49,33%
15				V3	47,48%	48,25%	48,21%	47,11%	49,73%	51,44%	56,96%
16				V4	45,61%	42,90%	47,01%	45,07%	47,84%	50,83%	56,61%
17			I1	V1	54,17%	51,99%	51,31%	51,96%	56,95%	57,98%	58,84%
18				V2	50,80%	47,88%	49,30%	49,62%	52,32%	53,03%	54,32%
19				V3	52,93%	51,39%	51,63%	51,74%	55,17%	56,71%	62,37%
20				V4	52,03%	45,59%	51,64%	49,90%	54,03%	56,78%	62,08%
21			I2	V1	59,53%	55,87%	55,67%	56,74%	61,58%	62,16%	62,48%
22				V2	55,92%	50,68%	52,90%	53,56%	57,29%	57,27%	58,85%
23				V3	57,92%	54,46%	54,60%	55,70%	59,91%	61,00%	66,52%
24				V4	57,37%	48,71%	56,24%	54,74%	59,27%	61,13%	66,08%
25		MTA	I0	V1	40,30%	38,37%	37,41%	37,98%	43,77%	45,23%	46,60%
26				V2	35,16%	31,69%	33,64%	34,04%	36,97%	37,49%	39,79%
27				V3	38,33%	35,34%	35,65%	36,70%	41,45%	43,86%	53,01%
28				V4	37,25%	30,35%	38,29%	35,21%	39,97%	42,81%	51,91%
29			I1	V1	50,43%	46,02%	45,54%	46,91%	53,06%	53,93%	54,55%
30				V2	44,75%	36,28%	40,47%	41,75%	46,12%	46,02%	47,72%
31				V3	48,31%	41,97%	42,68%	45,35%	50,30%	51,95%	61,40%
32				V4	46,84%	35,37%	46,45%	43,53%	48,84%	51,21%	61,15%
33			I2	V1	58,57%	52,37%	52,26%	54,44%	60,53%	60,72%	60,81%
34				V2	53,01%	41,39%	47,13%	49,02%	53,62%	52,80%	54,30%
35				V3	56,29%	48,04%	48,79%	52,39%	57,61%	58,84%	68,18%
36				V4	55,34%	40,53%	54,09%	51,31%	56,63%	58,70%	67,93%

Tabla A.9. Rangos de porcentaje de disconfort para segundo análisis monoazona (WWR10 y TE).

RANGOS DE % DISCONFORT			
RANGO 1	24%	36%	
RANGO 2	36%	49%	
RANGO 3	49%	61%	
RANGO 4	61%	73%	
RANGO 5	73%	85%	

ANEXO VII. MAPA DEL PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIÓN MONOZONAS SEGUNDO ANÁLISIS CON WWR10 Y TA

Tabla A.10. Porcentaje de disconfort en las simulaciones del segundo análisis monozona (WWR10 y TA).

% DISCONFORT EN SIMULACIONES MONOZONAS SEGUNDO ANÁLISIS											
No	CONDICIÓN BORDE	MASA TÉRMICA	INFILTRACIÓN	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES						
					C	R1	R2	R3	R4	R5	R6
					FF-1,536	FF-1,981	FF-2,122	FF-2,264	FF-2,264	FF-2,122	FF-1,981
37	TA	MTB	I0	V1	57,61%	60,02%	58,40%	57,27%	61,93%	63,21%	64,42%
38				V2	54,59%	58,73%	57,41%	55,70%	58,57%	60,42%	62,32%
39				V3	56,54%	59,73%	59,47%	56,86%	60,55%	62,91%	67,24%
40				V4	55,39%	58,77%	58,64%	55,90%	59,90%	61,87%	66,61%
41			I1	V1	62,72%	61,92%	60,91%	60,68%	65,70%	66,16%	66,70%
42				V2	59,71%	60,32%	60,06%	59,14%	62,29%	63,17%	64,83%
43				V3	61,52%	61,35%	61,30%	60,43%	64,12%	65,58%	69,57%
44				V4	61,05%	60,40%	61,39%	59,34%	63,65%	65,08%	69,18%
45			I2	V1	67,08%	63,65%	63,08%	63,31%	68,64%	68,50%	68,54%
46				V2	63,57%	62,00%	61,89%	61,64%	65,29%	65,61%	66,62%
47				V3	65,61%	63,06%	63,00%	62,89%	67,26%	68,04%	71,46%
48				V4	65,10%	61,60%	63,50%	62,08%	66,89%	67,55%	71,36%
49		MTM	I0	V1	47,02%	44,09%	42,23%	42,63%	54,00%	56,03%	57,49%
50				V2	38,21%	35,70%	37,11%	36,62%	43,13%	44,78%	48,60%
51				V3	43,57%	40,70%	40,81%	40,61%	48,79%	52,74%	66,62%
52				V4	41,66%	33,46%	44,05%	38,53%	47,75%	52,81%	66,13%
53			I1	V1	61,20%	52,36%	51,77%	54,03%	65,39%	65,51%	65,34%
54				V2	51,93%	40,94%	45,51%	46,82%	54,66%	54,59%	57,21%
55				V3	56,84%	47,33%	47,88%	50,92%	60,35%	62,68%	74,10%
56				V4	55,91%	39,35%	53,68%	49,79%	59,92%	62,65%	73,87%
57			I2	V1	70,63%	59,26%	59,59%	62,89%	72,63%	71,88%	71,12%
58				V2	62,00%	45,83%	52,39%	55,16%	63,47%	62,56%	64,24%
59				V3	66,44%	52,93%	54,03%	59,37%	68,55%	69,29%	79,06%
60				V4	66,35%	44,97%	61,31%	58,54%	68,17%	69,17%	79,02%
61		MTA	I0	V1	40,97%	37,16%	35,15%	36,12%	47,97%	49,84%	50,99%
62				V2	29,59%	25,21%	28,03%	27,89%	34,36%	35,53%	39,16%
63				V3	37,11%	30,82%	31,23%	33,22%	42,82%	48,18%	63,93%
64				V4	33,36%	24,01%	36,96%	30,31%	38,89%	43,74%	62,99%
65	I1		V1	59,25%	48,49%	47,81%	51,11%	62,77%	62,66%	62,28%	
66			V2	46,86%	31,37%	38,66%	40,99%	48,77%	48,06%	51,22%	
67			V3	54,87%	40,39%	41,60%	47,44%	56,99%	59,16%	75,11%	
68			V4	52,12%	30,39%	50,64%	44,39%	54,93%	58,32%	76,29%	
69	I2		V1	72,67%	58,03%	58,24%	62,98%	73,62%	72,23%	70,90%	
70			V2	61,02%	38,56%	48,45%	52,16%	60,81%	58,58%	60,35%	
71			V3	66,79%	49,41%	50,89%	58,44%	67,29%	68,26%	83,12%	
72			V4	66,94%	37,90%	61,69%	56,96%	67,71%	69,85%	84,99%	

Tabla A.11. Combinaciones de parámetros a simular para multizona.

RANGOS DE % DISCONFORT			
RANGO 1	24%	36%	
RANGO 2	36%	49%	
RANGO 3	49%	61%	
RANGO 4	61%	73%	
RANGO 5	73%	85%	

ANEXO VIII. MAPA DEL PORCENTAJE DE DISCONFORT EN SIMULACIÓN MONOZONAS PRIMER ANÁLISIS CON WWR20

Tabla A.12. Combinaciones de parámetros a simular para multizona.

% DISCONFORT EN SIMULACIONES MULTIZONAS WWR20 - MTM - I ₁									
No	CONDICIÓN BORDE	CONDICIÓN FRONTERA PAREDES	ORIENTACIÓN EDIFICIO	ORIENTACION ACRISTALAMIENTO	EDIFICACIONES				
					Z1	Z2	Z3	Z4	Z5
1	TE	A1	O1	VZ1	53,29%	48,38%	51,27%	53,86%	48,79%
2				VZ2	59,81%	59,34%	40,29%	54,47%	55,64%
3				VZ3	51,87%	45,24%	56,91%	52,51%	45,70%
4			O2	VZ1	56,22%	57,19%	59,46%	60,76%	60,78%
5				VZ2	56,70%	61,71%	49,70%	61,22%	64,98%
6				VZ3	54,91%	54,66%	62,72%	59,37%	57,31%
7		A2	O1	VZ4	50,80%	50,70%	51,54%	54,74%	50,09%
8				VZ5	59,81%	59,34%	40,29%	54,47%	55,64%
9				VZ6	51,54%	50,13%	56,76%	52,77%	45,92%
10			O2	VZ4	47,71%	53,82%	58,38%	61,32%	61,74%
11				VZ5	59,11%	62,72%	49,75%	61,23%	64,94%
12				VZ6	45,03%	53,63%	62,05%	59,68%	58,21%
13	TA	A1	O1	VZ1	85,05%	55,83%	62,72%	86,15%	56,56%
14				VZ2	84,89%	69,86%	34,01%	86,02%	70,46%
15				VZ3	79,30%	49,65%	80,11%	81,15%	50,41%
16			O2	VZ1	88,29%	74,05%	81,03%	94,98%	78,03%
17				VZ2	89,20%	81,89%	55,31%	100,00%	99,82%
18				VZ3	84,83%	68,14%	88,26%	90,88%	71,34%
19		A2	O1	VZ4	58,70%	53,26%	62,07%	89,29%	59,29%
20				VZ5	59,81%	59,34%	40,29%	54,47%	55,64%
21				VZ6	61,19%	53,53%	78,62%	82,07%	51,06%
22			O2	VZ4	51,53%	56,72%	78,64%	96,22%	79,54%
23				VZ5	80,29%	77,50%	50,92%	93,73%	84,29%
24				VZ6	44,69%	58,28%	87,33%	92,49%	73,31%

Tabla A.13. Combinaciones de parámetros a simular para multizona.

RANGOS DE % DISCONFORT			
RANGO 1	34%	47%	
RANGO 2	47%	61%	
RANGO 3	61%	74%	
RANGO 4	74%	87%	
RANGO 5	87%	101%	

ANEXO IX. USOS DE EDIFICACIONES EN EL ECUADOR

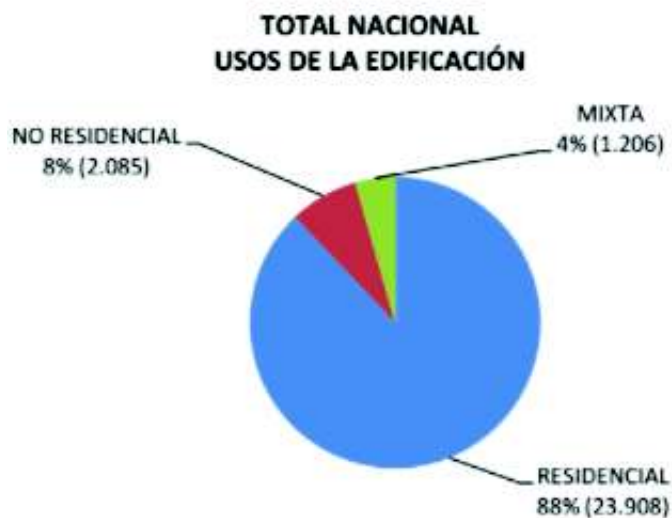


Gráfico A.1. Uso de edificación, total nacional [43].



Gráfico A.2. Tipo de residencia, total nacional [43].