



**Técnicas bioclimáticas para optimizar la
envolvente constructiva en viviendas ubicadas en
zonas de clima continental templado en la sierra
ecuatoriana.**

Autor

Diego Mancheno Ricaurte

Directoras

Dra. Carmen Galán Marín
Dra. Jessica Fernández-Agüera

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ciudad y Arquitectura Sostenibles
Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla
Curso 2021/2022

Agradecimientos

Quiero agradecer:

A la Universidad de Sevilla por haberme brindado la oportunidad de participar en el Máster en Ciudad y Arquitectura Sostenibles.

A mis directoras Jessica y Carmen, por su direccionamiento, enseñanzas, apoyo y paciencia en el desarrollo de este trabajo.

A mi esposa y mis hijos que han sido un apoyo incondicional en este trayecto de aprendizaje.

*"El hombre nunca sabe de lo que es capaz,
hasta que lo intenta."*

Charles Dickens

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. OBJETIVOS	2
2. RESUMEN METODOLÓGICO	4
3. MARCO TEÓRICO	7
3.1. LA VIVIENDA EN ECUADOR	8
3.2. CLIMA Y ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS	10
3.2.1. Clima en el cantón Chambo	12
3.2.2. Estrategias de diseño bioclimático	13
3.3. FACTORES INFLUYENTES EN EL CONSUMO DE ENERGÍA	15
3.3.1. Envoltente Térmica	15
3.3.2. Eficiencia Energética.....	17
3.3.3. Fuentes Energéticas.....	19
3.3.4. Comportamiento de los usuarios.....	19
3.4. SIMULACIONES	20
4. METODOLOGÍA	23
4.1. FASE 1 - POBLACIÓN Y SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	23
4.1.1. Climatología.....	23
4.1.2. Tipología y características constructivas de las viviendas	26
4.1.2.1. Elaboración de ladrillo artesanal en el cantón Chambo	28
4.1.3. Selección de la muestra	30
4.2. FASE 2 - DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO	30
4.2.1. Descripción de la envoltente constructiva del caso de estudio	32
4.3. FASE 3 - MONITORIZACIÓN AMBIENTAL	34
4.4. FASE 4 - MODELADO Y SIMULACIÓN ENERGÉTICA	36
4.4.1. Justificación	36
4.4.2. Creación del archivo climático	37
4.4.3. Calibración del modelo simulado	37
4.4.4. Extracción de resultados	39
4.5. FASE 5 - PROPUESTAS DE MEJORA MEDIANTE ESTRATEGIAS PASIVAS	39
4.5.1. Fachada	40
4.5.2. Ventanas	40

4.5.3. Cubierta.....	41
4.5.4. Combinación de las propuestas	41
4.6. FASE 6 - ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	43
4.6.1. Análisis de costos	43
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
5.1. ANÁLISIS EN FACHADA.....	45
5.2.- ANÁLISIS EN VENTANAS.....	50
5.3.- ANÁLISIS EN CUBIERTA.....	55
5.4. ANÁLISIS EN COMBINACIONES	60
6. CONCLUSIONES	128
6.1. INVESTIGACIONES A FUTURO.....	129
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	130
ANEXOS	135

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo propone optimizar la envolvente constructiva para mejorar las condiciones de confort térmico en viviendas ubicadas en el cantón Chambo en la sierra ecuatoriana. Para conseguir este fin se utiliza una metodología con enfoque cuantitativo, por cuanto es la que mejor se adapta a las características y necesidades de esta investigación. Como caso de estudio se selecciona una vivienda del sitio, la cual es monitorizada para obtener datos de las temperaturas internas y externas.

Se utiliza el programa Design Builder para realizar las simulaciones en la envolvente constructiva. Luego de las pruebas, se determina que los materiales pertenecientes a los Sistemas de Aislamiento Térmico por el Exterior - SATE son los más adecuados. Con estos sistemas se consigue ubicar la oscilación de temperaturas internas promedio iniciales de 17 - 26°C en 20 - 26.02°C. Por lo tanto, se consigue el rango de confort permisible de Givoni ubicado en 20 - 27°C.

PALABRAS CLAVE: Bioclimática, Envolvente, Confort, Simulaciones, Clima.

ABSTRACT

The objective of this work is to optimize the constructive envelope to improve the conditions of thermal comfort in homes located in the Chambo canton in the Ecuadorian highlands. To achieve this end, a methodology with a quantitative approach is used, since it is the one that best adapts to the characteristics and needs of this research. As a case study, a house is selected from the site which is monitored to obtain data on internal and external temperatures..

The Design Builder program is used to perform the simulations in the construction envelope. After the tests, it is determined that the materials belonging to the Thermal Insulation Systems for the Exterior - SATE are the most suitable. With these systems it is possible to locate the oscillation of initial average internal temperatures of 17 - 26°C in 20 - 26.02°C. Therefore, the permissible comfort range of Givoni located at 20 - 27°C is achieved.

KEY WORDS: Bioclimatic, Envelope, Comfort, Simulations, Climate.

1. OBJETIVOS

La presente investigación surge de la necesidad de estudiar las variaciones de temperatura y humedad relativa que se dan al interior y exterior de una vivienda, con el propósito de analizar las técnicas bioclimáticas para optimizar la envolvente constructiva sin tener que derribar paredes, ni tener impactos económicos fuertes al momento de conseguir las mejoras.

Ante las variaciones mundiales de temperaturas debido al cambio climático [1][2] muchas de las viviendas construidas en el cantón Chambo provincia de Chimborazo no han adoptado medidas de mejoramiento para brindar confort en su interior. [2]

En el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) 2019-2023 del Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Chambo [2], en la Matriz de Programas y Proyectos del PDOT se menciona el: "Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático e impulsar las mismas en el ámbito global."

Resulta de mucho interés conocer cuál sería la estrategia pasiva óptima para a partir de ahí tomar acciones de recuperación de las viviendas sin tener un mayor consumo energético para obtener un confort térmico adecuado.

Este trabajo de investigación busca brindar información que será de mucha utilidad a todas las viviendas de la localidad para mejorar sus condiciones de habitabilidad dentro de un clima continental-templado.

El proyecto presentado cuenta con una utilidad metodológica adaptable y actualizable debido a que al ser realizado con un software de alta tecnología y a la vez modular, pueden realizarse futuras investigaciones que utilizarán metodologías compatibles y así se abre la opción de realizar análisis y comparaciones con viviendas de otro sector e incluso con climas diferentes.

Por todo ello el **objetivo general** del presente trabajo de investigación será:

Analizar técnicas bioclimáticas para optimizar la envolvente constructiva en viviendas ubicadas en zonas de clima continental templado en la sierra ecuatoriana, para lo cual se recurrirá al uso de estrategias pasivas simuladas a través de software con el fin de reducir la demanda energética y mejorar las condiciones de confort térmico al interior de las viviendas.

Para alcanzar este objetivo general se definen una serie de **objetivos específicos** que se detallan a continuación:

1.- **Describir** la caracterización constructiva de condiciones de confort térmico y demanda energética en viviendas localizadas en el cantón Chambo de la provincia de Chimborazo en la sierra ecuatoriana.

2.- **Utilizar** una vivienda local como caso de estudio, para determinar los elementos constructivos de su envolvente.

3.- **Dibujar y calibrar** la vivienda escogida como caso de estudio a través de las herramientas de software Autodesk Revit ^[1] y Design Builder ^[2] respectivamente.

4.- **Reconocer** las estrategias pasivas aplicables a través de simulaciones en la vivienda de estudio con la herramienta informática Design Builder.

5.- **Exponer** un manual de buenas prácticas de rehabilitación y mejora de envolvente constructiva de viviendas localizadas en el cantón Chambo de la provincia de Chimborazo en la sierra ecuatoriana.

¹ Autodesk Revit es un software de Modelado de información de construcción, para Microsoft Windows, desarrollado actualmente por Autodesk. Permite al usuario diseñar con elementos de modelación y dibujo paramétrico.

² Design Builder posee un módulo de simulación que representa el acceso al motor de cálculo de EnergyPlus, uno de los programas de simulación más avanzados del mundo.

2. RESUMEN METODOLÓGICO

Para realizar la presente investigación se elegirá el planteamiento metodológico del enfoque cuantitativo, debido a que es el que mejor se adapta a las características y necesidades de este estudio, el cual pretende demostrar a través de simulaciones la mejor opción de aislamiento en la envolvente constructiva, el mismo que incluye algunas opciones de acondicionamiento tanto interno como externo, en los valores que se obtendrán de las simulaciones.

El trabajo de simulaciones se lo realizará a través de la herramienta de software Design Builder, cuya eficacia en este campo se ha considerado la más adecuada. [3] [4], y teniendo en cuenta que el módulo de Simulación de Design Builder representa el acceso al motor de cálculo de EnergyPlus, el cual es uno de los programas de simulación más avanzados en la actualidad, lo que nos permitirá realizar evaluaciones de gran precisión a los diferentes factores que influyen en el desempeño ambiental de una vivienda como los elementos de la envolvente constructiva así como los sistemas mecánicos.

La sección de Simulaciones de Design Builder, nos permitirá evaluar el desempeño ambiental y energético de viviendas, a través de simulaciones dinámicas en tiempo real con base en el archivo de datos climáticos (.EPW); así como también podremos evaluar diversas estrategias pasivas de bioclimática [5], como la ventilación natural, el aislamiento, el aprovechamiento de las ganancias solares activas y pasivas, el sombreado y el uso de masa térmica.

Adicionalmente entre las características más importantes mencionadas en la página web www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/modulo-simulacion [6], y que se relacionan con nuestro trabajo de investigación tenemos las siguientes:

- El motor de cálculo de EnergyPlus ofrece, entre otras cosas, una solución integrada de todos los procesos energéticos, el manejo de etapas de simulación menores a una hora y el cálculo simultáneo de los fenómenos radiantes y convectivos en las superficies de los cerramientos.
- Las simulaciones dinámicas con EnergyPlus ofrecen una comprensión detallada del desempeño ambiental y energético de los edificios en "tiempo real", empleando archivos de datos climáticos horarios.
- Es posible obtener resultados detallados en cada superficie del modelo, incluyendo la radiación solar incidente, las temperaturas superficiales y los intercambios radiantes-convectivos.

También se ha tenido en cuenta la compatibilidad que existe entre el software Autodesk Revit y Design Builder, por cuanto los dos programas pertenecen al grupo de herramientas informáticas BIM (Building Information Modeling).^[3]

Con la finalidad de alcanzar los objetivos de este trabajo se emplearán las siguientes fases:

Fase 1. Población y selección del caso de estudio.

El caso de estudio está ubicado en la sierra ecuatoriana en el cantón Chambo perteneciente a la provincia de Chimborazo en Ecuador, su clima es de tipo 4C continental-templado de acuerdo a la norma ASHRAE 90.1^[4], la tipología de vivienda que predomina en el lugar está conformada por un piso de madera, paredes de ladrillo y una cubierta de losa aligerada, teja o fibrocemento (eternit). Seleccionamos una vivienda prototipo unifamiliar como caso de estudio, construida con elementos propios de la región en el año 2018.

Fase 2. Descripción del caso de estudio.

En esta fase se obtendrá la información básica relativa a la implantación de la vivienda, datos climatológicos, planimétricos y fotográficos que servirán de base para el estudio. Además de la descripción de los materiales constructivos que forman parte de su envolvente.

Fase 3. Monitorización ambiental y de consumo.

Para realizar este análisis se han ubicado dos data loggers, uno en el interior y otro en el exterior de la vivienda, los cuales nos proporcionarán datos de temperaturas así como de las humedades relativas.

Fase 4. Modelado / Simulación Energética.

Se ha modelado en 3D la vivienda experimental usando como software Autodesk Revit, este modelo se ha exportado a Design Builder para realizar las simulaciones energéticas del estado actual y de las distintas propuestas de mejora.

Fase 5. Propuestas de mejora mediante estrategias pasivas.

En esta fase se realizarán simulaciones de propuestas de mejoras usando estrategias pasivas como el aislamiento a través de la adaptación de elementos con diferentes transmitancias térmicas en la envolvente constructiva, para de esta manera obtener nuevos datos relacionados al confort térmico y demanda energética, y los cuales se puedan implementar en viviendas con las características similares a las del caso de estudio.

³ BIM.- Building Information Modeling, el Modelado de información para la construcción (BIM) es el proceso holístico de creación y administración de la información de un activo construido.

⁴ Norma ASHRAE 90.1.- "Requisitos Energéticos para Edificios excepto los Residenciales de Baja Altura"

Fase 6. Análisis de resultados de las simulaciones.

Se realizará el análisis de las mejoras obtenidas de las diferentes simulaciones realizadas aplicando estrategias pasivas con el caso de estudio para evaluar su eficacia con respecto al confort térmico y demanda energética inicial.

3. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presentan algunas investigaciones que se han desarrollado sobre como las estrategias pasivas han aportado de manera eficiente al resolver problemas relacionados con el confort térmico y la demanda energética en la actualidad y como en particular las propiedades térmicas de los elementos de la envolvente constructiva son parte fundamental para mantener los niveles de confortabilidad en las viviendas ubicadas en la sierra ecuatoriana.

La misión de la arquitectura siempre ha sido la protección del hombre del entorno exterior y en este caso, la arquitectura bioclimática intenta lograr el confort térmico humano interactuando con el clima exterior. [5]. La arquitectura siempre ha tenido el objetivo del confort térmico y esto ha sido inherente a la misma desde sus orígenes, a lo largo de la historia y en todos los lugares y climas, se han producido evoluciones arquitectónicas para lograr los mejores niveles de confort en los espacios interiores, la arquitectura se encuentra en un proceso de desarrollo destinado a recuperar la protección contra las severidades del clima exterior de acuerdo con el objetivo de un consumo mínimo (a casi cero si es posible).

El confort térmico humano se puede definir de acuerdo a la teoría de Fanger [7], como una condición en donde la persona prefiere un entorno donde no tenga ni frío ni calor.

Para aplicar la arquitectura bioclimática, es necesario considerar en primera instancia el clima de la ubicación de la vivienda, el siguiente paso incluiría la piel arquitectónica (envolvente constructiva), para lo que se debe tener en cuenta la temperatura, la humedad relativa, la radiación solar, así como la velocidad y dirección del viento.

A nivel internacional, todos los países se están volviendo más conscientes sobre lo que conlleva el cambio climático, es así que la arquitectura sostenible se ha vuelto muy común hoy en día y su presencia ha dado fuerza para que se creen asociaciones como la Passive and Low Architecture - PLEA. [8].

Dustin Mulvaney en su libro *Solar Power* pone de manifiesto el *Green new deal*. [9] que propone esencialmente un esfuerzo por parte de algunas naciones entre ellas, Estados Unidos de Norteamérica, España, Rusia, entre otros para reemplazar la mayoría de energía convencional, particularmente en los sectores de energía eléctrica y transporte con energía renovable, lo que significa anteponer la energía eólica y solar para el primer sector y baterías para el segundo. De esta manera se busca dar un impulso a través de políticas para el uso de energías no tradicionales.

Estas asociaciones están creándose en todo el mundo y a la vez están haciendo presión en los países para que los gobiernos dicten nuevas ordenanzas o leyes que contemplen a las estrategias pasivas como obligación al momento de diseñar y

construir nuevas edificaciones, actualmente hay países más avanzados en este tema que otros, a manera de ejemplo la Unión Europea - UE a través de la Directiva 2010/31 establece utilizar estrategias a largo plazo para apoyar la renovación de sus edificios, transformándolos en edificios de consumo de energía cercano a cero (nZEB) para el año 2050 [10][11].

El Parlamento Europeo (PE) promulgó la *Directiva (UE) 2018/844 del 30 de mayo de 2018* [12], como refuerzo a la Directiva 2010/31, realizando modificaciones enfocadas al uso de estrategias pasivas como lo menciona en el numeral 17:

"Las soluciones de tipo natural, como una vegetación urbana bien diseñada, tejados verdes y muros que aportan aislamiento y sombra a los edificios, contribuyen a reducir la demanda de energía limitando la necesidad de calefacción y refrigeración y mejorando la eficiencia energética de un edificio."

3.1. LA VIVIENDA EN ECUADOR

En la Constitución de la República del Ecuador [13], en la sección cuarta del Título VII, el artículo 375 menciona:

"El Estado, en todos sus niveles de gobierno, garantizará el derecho al hábitat y a la vivienda digna, para lo cual:

- 1. Generará la información necesaria para el diseño de estrategias y programas que comprendan las relaciones entre vivienda, servicios, espacio y transporte públicos, equipamiento y gestión del suelo urbano.*
- 2. Mantendrá un catastro nacional integrado georeferenciado, de hábitat y vivienda.*
- 3. Elaborará, implementará y evaluará políticas, planes y programas de hábitat y de acceso universal a la vivienda, a partir de los principios de universalidad, equidad e interculturalidad, con enfoque en la gestión de riesgos.*
- 4. Mejorará la vivienda precaria, dotará de albergues, espacios públicos y áreas verdes, y promoverá el alquiler en régimen especial.*
- 5. Desarrollará planes y programas de financiamiento para vivienda de interés social, a través de la banca pública y de las instituciones de finanzas populares, con énfasis para las personas de escasos recursos económicos y las mujeres jefas de hogar....."*

Mediante estos numerales el Estado Ecuatoriano busca solucionar mediante disposiciones la infraestructura actual y nueva de viviendas en el país.

El organismo que se encarga de ejecutar las disposiciones de la Constitución del Ecuador en el área de la Construcción es el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda - MIDUVI, a través de las Normas Ecuatorianas de la Construcción. [14].

La Norma Ecuatoriana NEC-SE-VIVIENDA [15], describe las características básicas que debe tener una vivienda de tipo residencial de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m, la Norma indica requisitos como el espesor mínimo de las paredes, así como otros elementos que deben ser tomados en cuenta como espaciado entre columnas. (Figura 3.1).

Adicionalmente la Norma Ecuatoriana NEC-HS-EE [16], establece los criterios y las condiciones mínimas en la construcción de nuevas edificaciones así como también las remodelaciones de uso residencial, esta norma tiene como objetivo optimizar el consumo energético.

La Norma NEC-HS-EE fue añadida al grupo de las Normas Ecuatorianas de la Construcción y publicada en Febrero de 2018 como resultado de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible: Hábitat III [17], la cual se llevo a cabo entre el 17 al 20 de octubre de 2016 en la ciudad de Quito; en la reunión mencionada los estados miembros de las Naciones Unidas reconocieron la función rectora de los Gobiernos Nacionales para la aplicación de políticas urbanas inclusivas y eficaces y leyes para el desarrollo urbano sostenible.

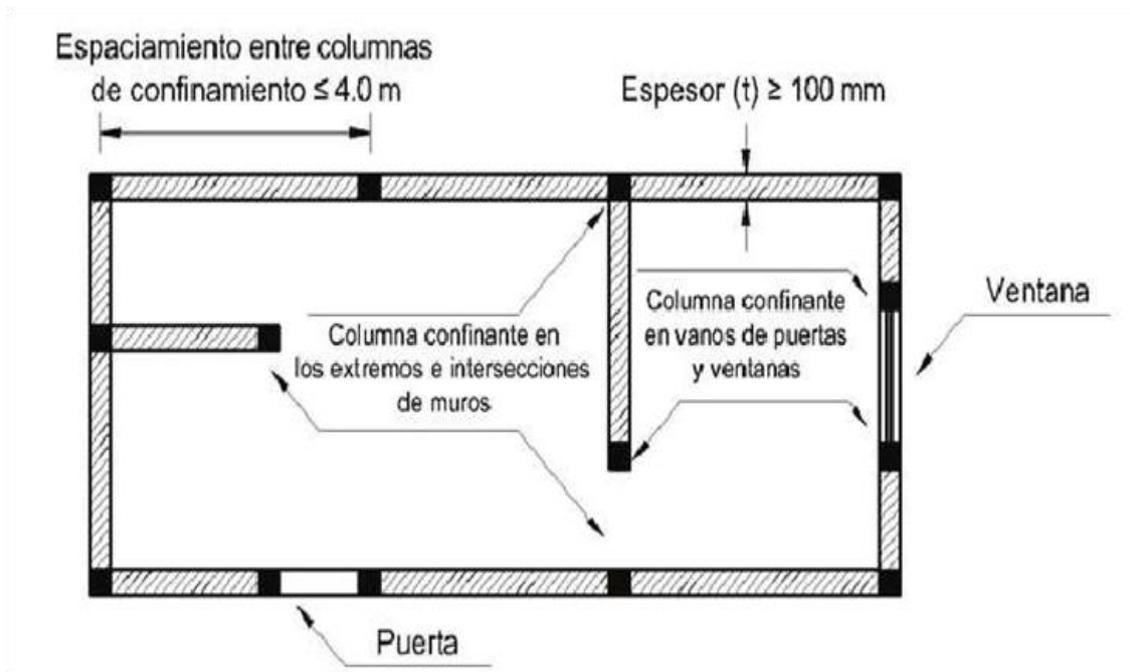


Figura 3.1. Requisitos básicos de mampostería confinada en viviendas de tipo residencial de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m. Fuente: [15]

En la cumbre realizada en Quito se analizó cómo se planifican y administran las ciudades, los pueblos y las aldeas para cumplir su función como promotores del desarrollo urbano sostenible y, cómo las estrategias que han implementado ha ayudado a cumplir los objetivos de desarrollo sostenible y del cambio climático

3.2. CLIMA Y ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS

El conocer el clima de una zona es muy importante al momento de diseñar y rehabilitar una vivienda, puesto que el mismo incide de manera directa en el acondicionamiento de una construcción, es así que el confort térmico y la demanda energética caminan junto al conocimiento del clima específico de un lugar.

Haciendo énfasis en lo expresado por los autores Manzano-Agugliaro et. al. [5] quienes en su artículo *"Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort"*, concluyen que al aplicar ciertos tipos de estrategias de bioclimática en países específicos, las mismas pueden ser adoptadas en otros lugares con condiciones climáticas similares las cuales derivan en ahorros energéticos.

Las estrategias bioclimáticas que aplicaron los autores antes mencionados para alcanzar el confort térmico en las 14 zonas descritas en el diagrama de Baruc Givoni (Figura 3.2) teniendo en cuenta que las zonas 1 y 2 están dentro de las zonas de confort, fueron las siguientes:

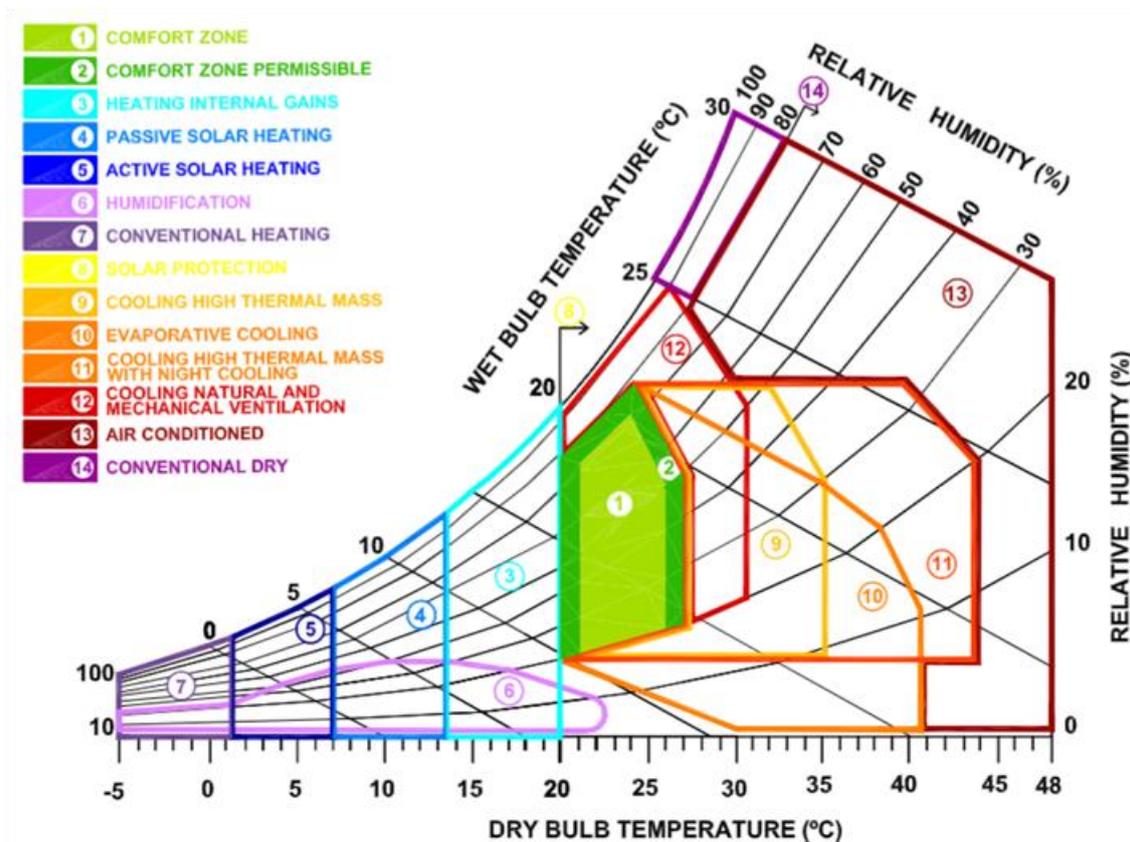


Figura 3.2.- Carta psicrométrica adaptada de Baruc Givoni, en donde define 14 zonas a las que puede estar sometido el cuerpo humano con respecto a temperatura y humedad. Fuente: [20]

- Ganancias de calentamiento interno.- se aplica a la zona 3.
- Calentamiento solar pasivo.- se aplica a la zona 4.
- Calentamiento solar activo.- se aplica a la zona 5.
- Humidificación.- se aplica a la zona 6.
- Calentamiento convencional.- se aplica a la zona 7.
- Protecciones solares.- se aplica a la zona 8.
- Enfriamiento a través de una gran masa térmica.- se aplica a la zona 9.
- Enfriamiento evaporativo.- se aplica a la zona 10.
- Refrigeración por alta masa térmica con renovación nocturna.- se aplica a la zona 11.
- Refrigeración por ventilación natural y mecánica.- se aplica a la zona 12.
- Aire acondicionado.- se aplica a la zona 13.
- Deshumidificación convencional.- se aplica a la zona 14.
- Climatización del hogar. Esta solución la usaron cuando no es posible alcanzar el confort mediante estrategias pasivas.

De acuerdo a los estudios realizados por Victor Olgyay [18] y Baruc Givonni [19] sobre el clima, es que en la actualidad podemos trabajar con graficas de rangos e intervalos en donde el concepto de diseño pasivo es enfriar, calentar o iluminar viviendas utilizando medidas de diseño ingenioso que permita reducir o incluso no depender de sistemas de calentamiento o enfriamiento mecánico, estas medidas incluyen la forma de la vivienda, su orientación con respecto al sol, su aislamiento, su masa térmica, su ventilación natural y su sombreado.

El diagrama de Givoni, mostrado en la Figura 3.2, es un diagrama bioclimático que se ha dividido en diferentes zonas para las que es necesario utilizar estrategias para lograr el confort humano dentro de una vivienda. El eje "X" representa la temperatura del bulbo seco y el eje "Y" muestra la humedad del aire fresco; Las curvas psicométricas en el gráfico representan la humedad relativa. Como se indica en la figura mencionada anteriormente, se han clasificado 14 zonas en función de las definiciones anteriores de temperatura del bulbo y humedad del aire fresco. De estas, las zonas 1 y 2 son las de confort térmico ideales. Por lo tanto, podemos definir las condiciones climáticas y las estrategias arquitectónicas asociadas para trasladar las condiciones ambientales del hogar a la zona de confort.

La zona de confort, etiquetada como zona 1 presenta las condiciones ideales para el cuerpo humano. Representa el área en la que el cuerpo humano no requiere gastos energéticos para mantenerse cómodo. Esta zona está limitada por rangos de temperatura entre 21 y 26 °C y rangos de humedad relativa entre 20% y 70%. No es necesario implementar estrategias pasivas en esta zona.

La zona de confort permisible es una zona de confort más grande en la que una persona puede adaptarse con un gasto mínimo aceptable. Las condiciones de temperatura y humedad también son aceptables para ciertos cuerpos humanos dependiendo del sexo, el metabolismo interno, el tamaño y el rendimiento de la actividad. Como se muestra en la Figura 3.2, esta área está etiquetada como zona 2 y está limitada por rangos de temperatura entre 20 y 27 °C, y rangos de humedad relativa entre 20% y 80%, y una línea entre la intersección de 24 °C de

temperatura y 80% de humedad relativa y la intersección de 27 °C de temperatura y 50% de humedad relativa.

En la zona 3 las ganancias internas son importantes para variar la temperatura y moverla más cerca de la zona de confort. Esta zona está definida por valores de temperatura entre 13,5 °C y 20 °C. Las ganancias internas son proporcionadas por personas que ocupan el mismo espacio, iluminación artificial, cualquier equipo que genere energía térmica y cualquier proceso que también pueda generar calor. Esta ganancia interna solo se debe a las diferencias de temperatura.

Llegando a la zona 4 que va a ser la ubicación de nuestra investigación, está definida por temperaturas entre 7 °C y 13,5 °C, para avanzar hacia la zona de confort, es necesario contar con una estrategia de absorción solar que permita ganar energía calorífica dentro del espacio. La intención es aumentar la temperatura de 7 °C a más de 13,5 °C. Para ello, el objetivo es que el diseño del edificio favorezca a la acumulación de radiación solar y posteriormente distribuya esta energía a otras dependencias o la devuelva a la vivienda a un tiempo prolongado, se proporcionan diferentes soluciones en esta zona porque la energía puede ser capturada por cualquier parte de la envolvente del edificio, incluido el suelo, las paredes, el techo y especialmente las aberturas, esta última puede permitir la entrada de radiación durante los momentos en que se necesita y evitar que esta radiación escape de la vivienda mediante el uso, por ejemplo, de carpintería y ventanas de vidrio apropiadas.

Primordialmente se propondrán estrategias pasivas, que ayuden a reducir el uso de dispositivos que consumen energía a los niveles más bajos que se puedan llegar, para estudiar las posibles estrategias arquitectónicas bioclimáticas, primero se debe evaluar las condiciones en las que se encuentra una vivienda. Las condiciones ambientales nos situarán dentro de una zona en el diagrama de Givoni.

Si estamos en la zona de confort, no se tendrá que realizar ninguna corrección térmica pero si estamos fuera de la misma, se pueden implementar estrategias arquitectónicas para llegar a la zona de confort.

3.2.1. Clima en el cantón Chambo

Chambo es un cantón de la Provincia de Chimborazo en el Ecuador. Está ubicado el noroeste de la provincia, posee una superficie de 163 km², que representan el 2.5% de la superficie de la provincia de Chimborazo. [2].

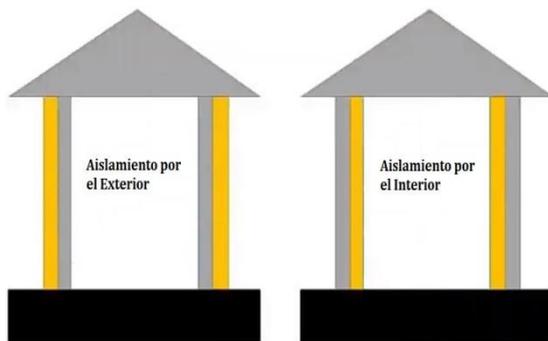
Situada a 8 km de la Ciudad de Riobamba hacia el este, se extiende en las faldas de los montes Quilimas y Cubillín de la Cordillera Oriental. Chambo está ubicado en una franja altitudinal que inicia en los 2.600 m.s.n.m. y finaliza en los 4.711 m.sn.m., dentro de este rango superando los 3.400 m.s.n.m. no es apto para viviendas y ello representa el 65% del territorio cantonal, La altura promedio del cantón está por los 2.780 m s. n. m.

Las precipitaciones alcanzan un promedio anual de 714 mm, teniendo en cuenta su altitud sobre el nivel del mar y las precipitaciones su temperatura va desde los 3.8°C hasta los 13.6°C con una temperatura promedio de 10 °C aproximadamente. Los meses de junio, julio, agosto y septiembre son los que presentan el menor valor de temperatura entre 3.8°C y 4.5°C y los meses de octubre y noviembre representan a los valores mayores de temperatura alrededor de los 13.6 °C. Las variaciones mensuales de las temperaturas no son muy significativas y por lo tanto su espectro es menor a los dos grados centígrados.

Chambo presenta cinco ecosistemas que son el bosque húmedo montano con una superficie de 978,52 Has, el bosque húmedo montano bajo con una superficie de 144,70 Has, el bosque muy húmedo montano con una superficie de 4.326,24 Has, el bosque pluvial subalpino con una superficie de 8.327,76 Has y el bosque seco montano bajo con una superficie de 2.139,64 Has.; los bosques pluviales y húmedos ocupan el 85% [2] del territorio cantonal debido a esto la humedad relativa en el cantón se mantiene sobre el 75% todo el año.

3.2.2. Estrategias de diseño bioclimático

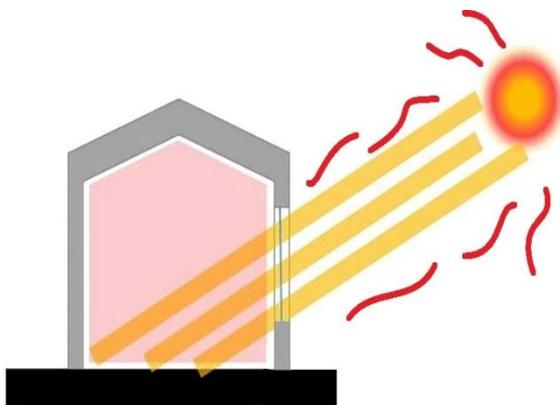
Existen las siguientes estrategias de diseño bioclimático [21](Figura 3.3):



a

Aislamiento.-

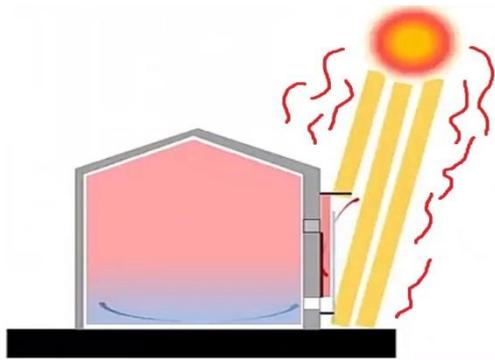
Puede ser interno o externo y su objetivo es mejorar la calidad térmica de la envolvente, esta estrategia se puede aplicar a las fachadas, techos y aberturas. El aislamiento es una estrategia que ayuda tanto para la calefacción como para la refrigeración de una construcción.



b

Ganancia solar directa.-

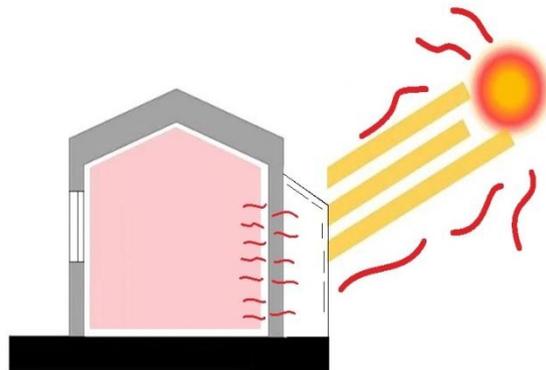
Se trata de una estrategia que busca captar la mayor cantidad de radiación solar, permitiendo el ingreso de la radiación a los espacios habitables, está ligada directamente a la proporción del tamaño de los huecos.



c

Ganancia solar indirecta por acumulación.-

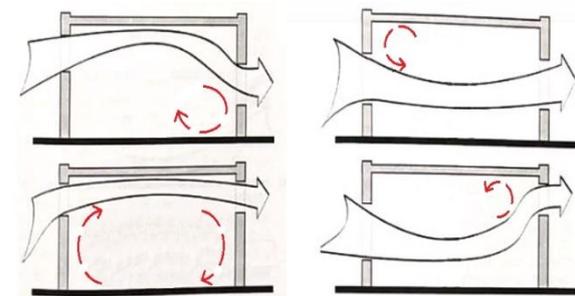
De igual manera que la estrategia anterior busca aprovechar la radiación solar pero a través de la absorción térmica en superficies externas de los espacios habitables.



d

Invernadero adosado.-

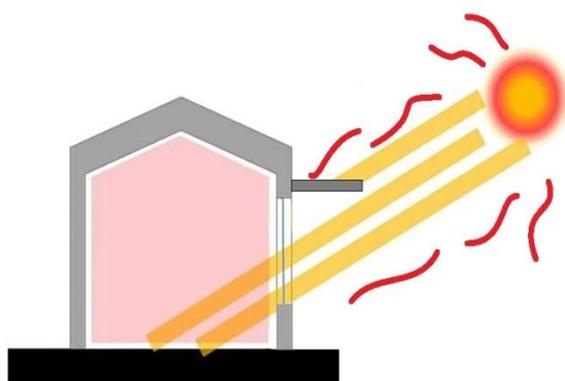
El invernadero adosado es un espacio cerrado y totalmente transparente el cual se construye junto a una vivienda para alcanzar condiciones de confort higrotémico, se debe considerar el control de la temperatura y humedad en este espacio.



e

Ventilación selectiva.-

La ventilación selectiva tiene muy en cuenta las condiciones del clima y algunos recursos disponibles como la vegetación, la dirección de los vientos, la radiación solar incluso la lluvia.



f

Protecciones solares.-

El objetivo de esta estrategia bioclimática es controlar el ingreso de la radiación solar a las viviendas, entre las opciones están los voladizos, los toldos, los porticones, las persianas y lamas, las cortinas y el color de la fachada.

Figura 3.3.- Estrategias bioclimáticas: a) Aislamiento; b) Ganancia solar directa; c) Ganancia solar indirecta; d) Invernadero adosado; e) ventilación selectiva y f) Protecciones solares. Fuente: Archivo del autor.

Las estrategias bioclimáticas descritas son aprovechadas en función del clima en donde se necesita mejorar la estancia en la vivienda, teniendo en cuenta que el clima del Cantón Chambo en promedio es de 10 °C aproximadamente con una humedad relativa entre el 80 y 90%, [2], se consideró utilizar la estrategia de aislamiento, de ganancia solar directa y ganancia solar indirecta por cuanto la necesidad es obtener y mantener el calor al interior de la vivienda. Sin embargo si usáramos la estrategia de ganancia solar directa por sí sola no podría conseguir el efecto que deseamos por cuanto está ligada por el tamaño de las ventanas, las cuales en la mayoría de veces son responsables de la pérdida de calor, de igual manera si utilizamos la estrategia de ganancia solar indirecta se necesitaría trabajar en los elementos de masa que acumulan energía y una opción sería reforzar la cubierta.

Considerando las opciones y el clima del lugar en donde realizaremos el estudio de este trabajo de investigación, hemos decidido utilizar la estrategia de aislamiento debido a que la misma se enfoca en mejorar las condiciones de la envolvente térmica en viviendas ya existentes y a la vez abarca a los elementos constructivos sobre los cuales también actúan las otras opciones: la ganancia solar directa y la ganancia solar indirecta.

3.3. FACTORES INFLUYENTES EN EL CONSUMO DE ENERGÍA

En base al estudio realizado por Manuel Hernández Sánchez, J. (2012) [22] confirma que los factores que influyen directamente en el consumo energético y en las emisiones asociadas a los edificios residenciales son:

- La envolvente térmica,
- La eficiencia energética,
- Las fuentes energéticas utilizadas; y
- El comportamiento de los usuarios.

3.3.1. Envoltente Térmica

Las mejoras en la envolvente térmica incluyen el aumento del aislamiento de la fachada y de la cubierta, el cambio de aberturas por otras más eficientes y la reducción de la infiltración de aire mejorando la estanqueidad. El aislamiento de la fachada y el cambio de aberturas (carpintería y vidrios) se recomiendan para todo tipo de edificios, mientras que el aislamiento de la cubierta sólo se recomienda para casas unifamiliares, ya que la aportación de la mejora en términos relativos a un edificio plurifamiliar es baja.

3.3.1.1. Fachada

De acuerdo a los estudios realizados por Celis Damico et.(2012) [23] en viviendas en el centro sur de Chile, desde el campo de eficiencia energética demostraron que se puede mejorar el desempeño térmico de las mismas haciendo cambios en el diseño arquitectónico desde su emplazamiento hasta cambios en su envolvente, es así que como resultado de los problemas de ganancia de calor en las viviendas de la zona central y andina se pueden resolver a través de estrategias de ganancias solares directas y acumulación inercial de las mismas.

Otra medida utilizada fue la de B.P. Jelle [24] para reducir las pérdidas de calor al interior de una vivienda y consistió en utilizar el sistema de aislamiento térmico por el exterior conocido como SATE que no es más que la adición de capas de aislamiento con lo que se ayuda a reducir la demanda de calefacción y en general, da como resultado temperaturas interiores más altas .

Con la colocación de un Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) (Figuras 3.4 y 3.5) se logró alcanzar un 50% de ahorro energético mejorando sustancialmente la envolvente térmica de la vivienda.



Figura 3.4.- Opción 1 de aislamiento térmico aplicado por el interior. Fuente: [24]

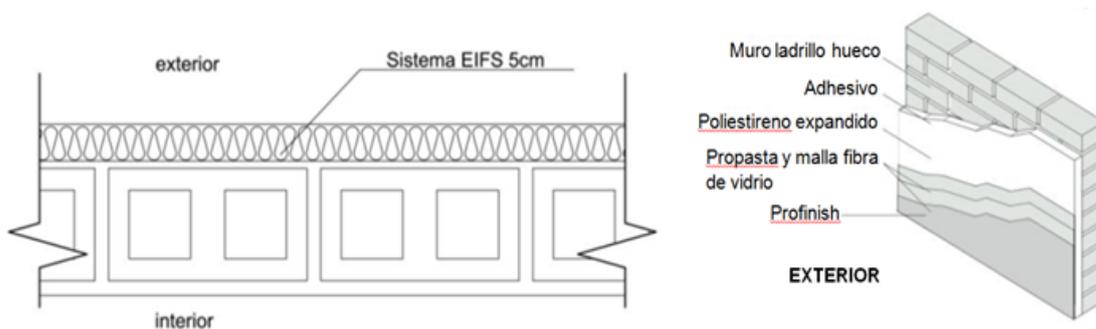


Figura 3.5.- Opción 2 de aislamiento térmico aplicada al exterior. Fuente: [24]

3.3.1.2. Huecos

Los huecos forman parte importante de la envolvente de las viviendas, es así que los mismos pueden volverse aliados o enemigos al momento de aislar, todo depende del tipo de carpintería utilizado así como la combinación de cristalería instalada, si es buena la combinación se logrará retener el calor en la vivienda caso contrario se convertirá en una fuente de pérdida de calor.

De acuerdo al estudio realizado por Larsson, Moshfegh, & Sandberg [25], una de las medidas pasivas que usaron fue el uso de doble acristalamiento, provisto de corte térmico y relleno con un gas inerte, puesto que el mismo disminuye en gran medida la salida de calor de las ventanas evitando puentes térmicos. En climas particularmente fríos, se puede aplicar una capa de baja emisividad al panel interior y de ese modo se podría aumentar las capacidades de aislamiento de la ventana.

Actualmente en el mercado de materiales de construcción encontramos algunas variedades de cristalería para ventanas, desde grosores que pueden ir desde 1 mm. hasta 15 mm., también los vidrios pueden adquirirse de colores como bronce, verde, azul, café, negro o transparente e incluso en los sistemas de doble y triple vidrio puede variar el tipo de gas entre capas el cual puede ser oxígeno o argón entre otros; dependiendo de las necesidades y posibilidades de aislamiento podemos elegir entre las opciones descritas.

Adicionalmente B.P. Jelle [24] utilizó otra medida para reducir las pérdidas de calor al interior de una vivienda, cambiando las ventanas a doble vidrio y su carpintería a PVC, con lo que alcanzó un 20% de ahorro energético.

La carpintería de una ventana también es muy importante a la hora de retener el calor en una vivienda, al igual que la cristalería los marcos de las ventanas vienen en algunas opciones, iniciando con la más usual que es la de aluminio sin rotura de puente térmico, seguimos con la de aluminio con rotura de puente térmico, también existen las de PVC y las de madera.

En el cantón Chambo, lo usual es colocar ventanas con carpintería de aluminio sin rotura de puente térmico y la cristalería se compone de un solo vidrio de 6 mm.

3.3.2. Eficiencia Energética

Las medidas que mejoran la eficiencia energética están clasificadas en 4 categorías: las que tienen que ver con el factor demanda, con el factor rendimiento, con el factor gestión y con la normativa [22].

Como se puede apreciar en la Tabla 3.1, las medidas que se relacionan con el factor demanda, influyen directamente sobre las estrategias pasivas de bioclimática,

como el aislamiento de la fachada y cubierta así como el cambio de carpinterías y cristalerías en ventanas, entre otras estrategias.

Categoría	Medida
Envolvente térmica	Aumento del aislamiento de la fachada
	Aumento del aislamiento de la cubierta
	Cambio de aberturas (carpinterías y vidrios)
	Reducción de la infiltración de aire
Protección solar	Lamas, cornisas, viseras, retranqueo
	Pintar fachadas y cubiertas
Iluminación natural	Iluminación natural
Ventilación natural	Ventilación natural
Materiales	Materiales

Tabla. 3.1.- Medidas de mejora relacionadas con el factor demanda. Fuente: [22].

En la Tabla 3.2, se indican las medidas que se aplican sobre el factor rendimiento, estas medidas actúan sobre los equipos y fuentes de energía utilizadas en una vivienda, siendo las mejores opciones obtener equipos eficientes.

Categoría	Medida
Equipos	Equipos eficientes
	Sistemas de recuperación de calor
	Cambio a otras tecnologías
	Centralización de equipos
Fuentes de energía	Cambio a gas natural
	Cambio a energía renovable

Tabla. 3.2.- Medidas de mejora relacionadas con el factor rendimiento. Fuente: [22].

La Tabla 3.3 nos indica las medidas aplicadas sobre el factor gestión, las cuales influyen directamente sobre la manera como se usan las instalaciones, su mantenimiento y el comportamiento de los usuarios de la vivienda.

Categoría	Medida
Gestión	Gestión
Mantenimiento	Mantenimiento
Comportamiento del usuario	Comportamiento del usuario

Tabla. 3.3.- Medidas de mejora relacionadas con el factor gestión. Fuente: [22].

Por último la Tabla 3.4 nos enseña las medidas que se aplican a través de la normativa dentro del marco regulatorio que rige al sector de la construcción.

Categoría	Medida
Normativas	Marco regulatorio coordinado y estable
	Requisitos más restrictivos
	Incentivación y seguimiento de la implantación de requisitos
	Nuevos modelos de financiación
	Incentivos fiscales y subvenciones
	Definición de condiciones contractuales
	Mejores prácticas
	Auditorias energéticas

Tabla. 3.4.- Medidas de mejora relacionadas con el factor normativa. Fuente: [22].

3.3.3. Fuentes Energéticas

El origen de la energía que se consume en las viviendas de la provincia de Chimborazo y sus cantones, lo maneja el Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC, la cual es una entidad que se encarga de normar y regular las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización.

La empresa eléctrica de la ciudad de Riobamba es el organismo que suministra la energía al cantón Chambo, la cual en función de su consumo puede ser de tipo residencial, comercial e industrial, el abastecimiento del servicio de energía eléctrica en el cantón Chambo cubre al 93% de las viviendas. [2].

3.3.4. Comportamiento de los usuarios

El comportamiento de los usuarios en una vivienda también es importante al momento de estudiar el confort térmico y el consumo energético, Debido a que la misma interacción de los habitantes de una vivienda puede elevar o disminuir los niveles de confort cuando se comparten las mismas zonas.

Una vivienda común en el cantón Chambo es usada básicamente para estancia de sus ocupantes, sin embargo el uso de la misma varía en función del trabajo que desempeñen sus habitantes. Si es habitada por hijos en edad escolar y sus progenitores trabajan la casa estará vacía las mañanas en horario de 07:00 a 13:00 que es el horario escolar, mientras que el horario de oficina es desde las 08:00 hasta las 17:00, es decir que la casa pasará la tarde ocupada desde las 13:00 hasta las 17:00 en un 50% y a partir de las 17:00 hasta las 07:00 un 100%.

Si la vivienda es ocupada por una familia con actividades del campo o de fabricación de ladrillos artesanales cambia la ocupación de la misma, los hijos que asistan a la escuela seguirán en el horario de 08:00 a 13:00 sin embargo los padres dejarán la vivienda a las 03:00 debido a sus tareas de agricultura, ganadería o trabajo en ladrilleras luego vuelven a sus hogares a las 08:00, a las 14:00 vuelven a salir y regresan a las 19:00, lo que significa que la vivienda es ocupada un 100% desde las 19:00 hasta las 03:00, el resto del día es ocupada en un 50%.

3.4. SIMULACIONES

Actualmente en el mundo del diseño digital los arquitectos se están apoyando en herramientas de software para realizar diseños en 2D y en 3D. Al momento de diseñar existen varias opciones en el mercado del software, algunas más avanzadas que otras y algunas usadas para situaciones específicas, entre las más comunes podemos mencionar AutoCAD, ArchiCAD, SketchUP, Revit, Civil3D, 3d Studio, entre otros.

En las viviendas construidas algunas décadas atrás cuando aún no había la tecnología que existe actualmente, el confort térmico y la demanda energética de la misma estaba basada en la buena proyección e imaginación del arquitecto al usar estrategias pasivas para mejorar la calidad de habitabilidad de los interiores.

Una de las maneras más eficientes para comprobar hipótesis y alcanzar objetivos en base a parámetros es utilizar herramientas de software que permitan realizar simulaciones enfocadas a nuestras líneas de investigación. Debemos tener en cuenta que la tecnología está avanzando a pasos acelerados y cada vez se está haciendo más presente en el apoyo y asistencia técnica al momento de diseñar nuevos proyectos o mejorar los que ya están realizados, para resaltar aún más su utilización muchas de estas herramientas incorporan técnicas de aplicación enfocadas en estrategias pasivas.

Con la finalidad de comprobar teorías hoy en día a nivel mundial se están usando herramientas de software muy sofisticadas como las herramientas de modelado de información de construcción (BIM) [26] dentro de las cuales podemos destacar a REVIT debido a que nos brinda algunas opciones que están ligadas con este trabajo de investigación.

Entre los muchos trabajos ya realizados con el apoyo de herramientas informáticas podemos mencionar el realizado por Melgar, Martínez y Marquéz (nd) [27] en donde su objetivo fue demostrar que se puede conseguir una rehabilitación energética en viviendas construidas antes de las normativas de ahorro, mejorando la eficiencia de su envolvente térmica siempre y cuando su caracterización sea lo más confiable.

Resulta de mucho interés el trabajo realizado debido a que a través de la herramienta informática de BIM (Figura 3.6), se pudo parametrizar los valores de la transmitancia térmica (U) de los elementos constructivos que son parte de la envolvente y con esos resultados se pudo encontrar la mejor opción a implementar.

En los últimos años las herramientas BIM han ido tomando más terreno dentro del campo profesional relacionado a la construcción, es así que los programas que se venían utilizando para realizar dibujos en 2D están siendo reemplazados debido a que la nueva tecnología presenta algunas ventajas como son la rapidez de elaborar un modelado, la calidad del dibujo, la amplia gama de materiales que se pueden escoger debido a que muchos de los proveedores ya incluyen archivos BIM de sus materiales o productos que pueden usarse en los diseños. [28]

Siendo la tendencia utilizar estos programas, muchas empresas desarrolladoras han puesto en el mercado informático una amplia gama de herramientas, las cuales se ajustan a las necesidades del trabajo demandado, habiendo herramientas que van desde las más básicas hasta verdaderos sistemas informáticos más complejos.

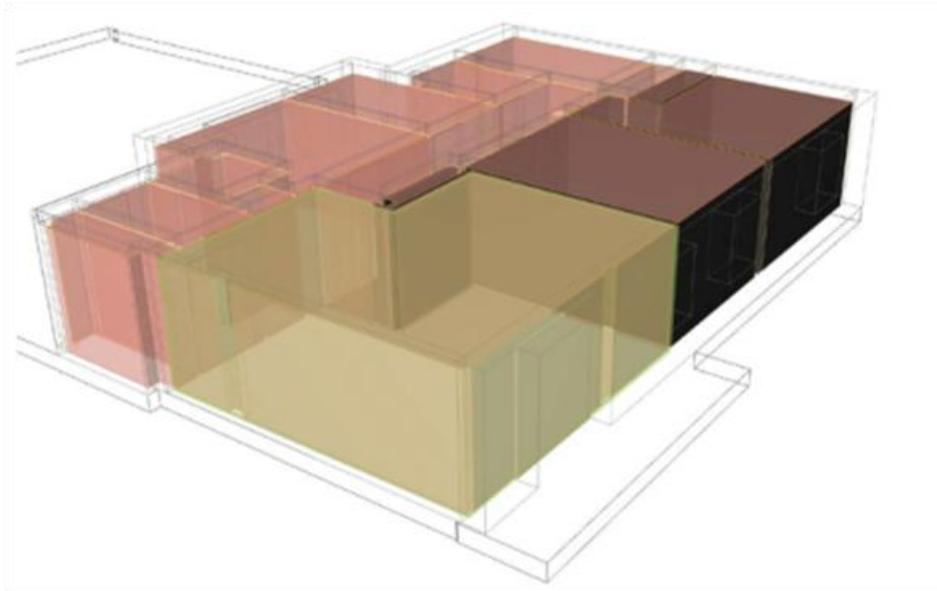


Figura. 3.6.- Modelado de una vivienda en el programa Autodesk Revit. Fuente: [27].

Los programas informáticos que trabajan de manera conjunta en la metodología BIM se alinean en función de la necesidad del consumidor, debido a esto se han conformado las siguientes dimensiones:

- 2D.- Diseño 2D (AutoCAD, ArchiCAD)
- 3D.- Modelado 3D (Autodesk Civil3, SketchUp, Revit, Cadsoft)
- 4D.- Programación (Vico Software, Autodesk Navisworks)
- 5D.- Costos y Presupuestos (Nevaris)
- 6D.- Orientados a la Sostenibilidad (Green Building Studio, Sefaira, Design Builder)
- 7D.- Mantenimiento y Operaciones (CREM Solutions, Autodesk BIM 360, Solibri)

En vista de que el presente trabajo de investigación está orientado a la sostenibilidad para obtener un mejor confort térmico al interior de viviendas, se ha buscado programas afines, siendo los más idóneos Green Building Studio y Design Builder. Entre las dos herramientas informáticas se ha optado por utilizar Design Builder debido a su facilidad de manejo, total integración con el modelo diseñado en Revit y parametrización detallada en las simulaciones. Por otro lado Green Building Studio requiere para su manejo un conocimiento más complejo para que las simulaciones de eficiencia energética sean las óptimas.

El BIM es descrito desde el punto de vista sostenible de acuerdo a Levy [29] en “BIM in Small Scale Sustainable Design”, como un software que está orientado a la arquitectura y al entorno del cual se pueden obtener algunas vistas gráficas, así como resúmenes e informes coherentes, todo ello a partir del ingreso de la información de los modelos de las edificaciones.

Siendo Autodesk Revit un software BIM por ser uno de los más utilizados en el mundo profesional según lo describen Eastman et al [30], debido a su fácil manejo de interface y su gran librería de componentes.

Para realizar el trabajo de simulaciones se ha escogido la herramienta de software Design Builder, cuya eficacia en este campo se ha considerado la más adecuada. [3] [4]. Tomando en consideración que el módulo de Simulación de Design Builder representa el acceso al motor de cálculo de EnergyPlus [6], el cual es uno de los programas de simulación más avanzados en la actualidad, con éste programa se puede realizar evaluaciones de gran precisión a los factores que se relacionan directamente al desempeño ambiental de una vivienda.

El módulo de Simulaciones de Design Builder, nos permitirá evaluar el desempeño ambiental y energético de viviendas, a través de simulaciones dinámicas en tiempo real con base en el archivo de datos climáticos (.EPW) [6]; así como también podremos evaluar diversas estrategias pasivas de bioclimática [5], como la ventilación natural, el aislamiento, el aprovechamiento de las ganancias solares activas y pasivas, el sombreado y el uso de masa térmica.

Otro factor importante al momento de optar por la herramienta informática Design Builder que se tomó en consideración es que el motor de datos de EnergyPlus permite el acceso completo al código fuente, y si se requiere realizar algún modelado especial a los elementos constructivos se pueden personalizar los modelos para que se consiga un modelo real más efectivo.

4. METODOLOGÍA

4.1. FASE 1 - POBLACIÓN Y SELECCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Cuando la incidencia de casos infectados por covid19 comenzó a disminuir en la provincia de Chimborazo, muchas personas comenzaron a desplazarse a sectores rurales (cantones) cercanos a la ciudad de Riobamba.

Uno de los cantones más cercanos es el cantón Chambo, el cual se encuentra ubicado a 8 kilómetros de la ciudad de Riobamba. Su clima es continental-templado y está ubicado en la sierra ecuatoriana.

Según consta en el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial [2] de acuerdo al Instituto Nacional de Estadística y Censo el número de habitantes en el Cantón Chambo es de 13.500 personas aproximadamente y la cantidad de viviendas en el sector urbano es de 2.313 y en el sector rural de 2.056.

4.1.1. Climatología

El clima en el Cantón Chambo es de tipo continental templado de tipo Cfb de acuerdo a la clasificación climática de Koppen, tiene precipitaciones significativas e incluso en el mes más seco existe mucha lluvia.

Los datos referentes a la climatología expuestos en este trabajo de investigación fueron obtenidos de la página web perteneciente a Weather Atlas. [31].

La temperatura alta en promedio anual es de 12.6°C, siendo los meses de octubre y noviembre en donde se registran las temperaturas promedio más altas alrededor de 13.6°C, mientras que el mes de julio registra la temperatura alta promedio más baja alrededor de 11.8°C. (Figura 4.1).

La temperatura baja más alta se registra en los meses de febrero y marzo con 6.4°C, mientras que el mes más frío con la temperatura baja más baja es agosto con 3.8°C.

La humedad relativa más alta se mide en el mes de abril con el 88% y la más baja se ubica en el mes de septiembre con el 81%. (Figura 4.2).

La precipitación aproximada anual es de 1706 mm, el mes de marzo tiene los días más lluviosos por mes en promedio con 30,8 días y una precipitación promedio de 223 mm y la menor cantidad de días lluviosos se ubican en el mes de agosto con 20,9 días y una precipitación promedio de 46 mm. (Figura 4.3)

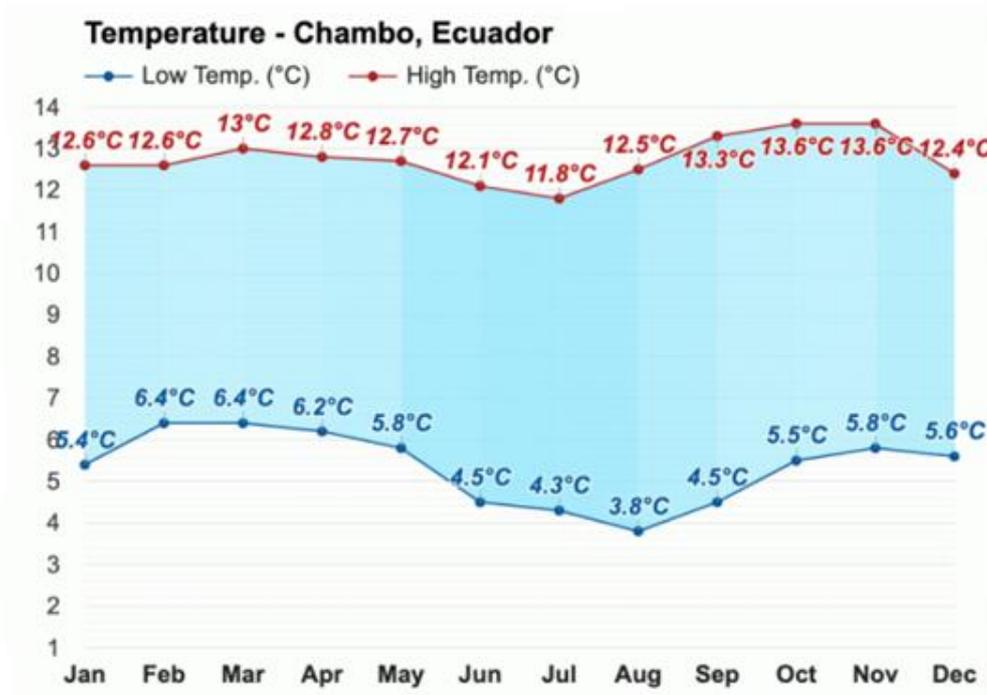


Figura 4.1. Gráfica que muestra las temperaturas exteriores promedio mínimas y máximas en el cantón Chambo. Fuente: [31]

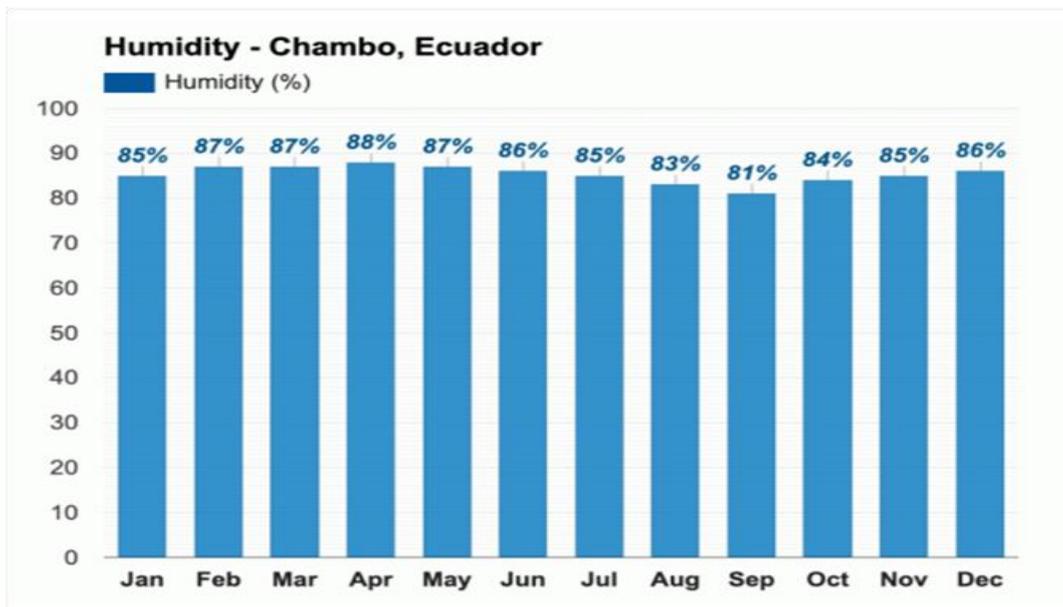


Figura 4.2. Gráfica que indica la Humedad relativa en el cantón Chambo. Fuente: [31]

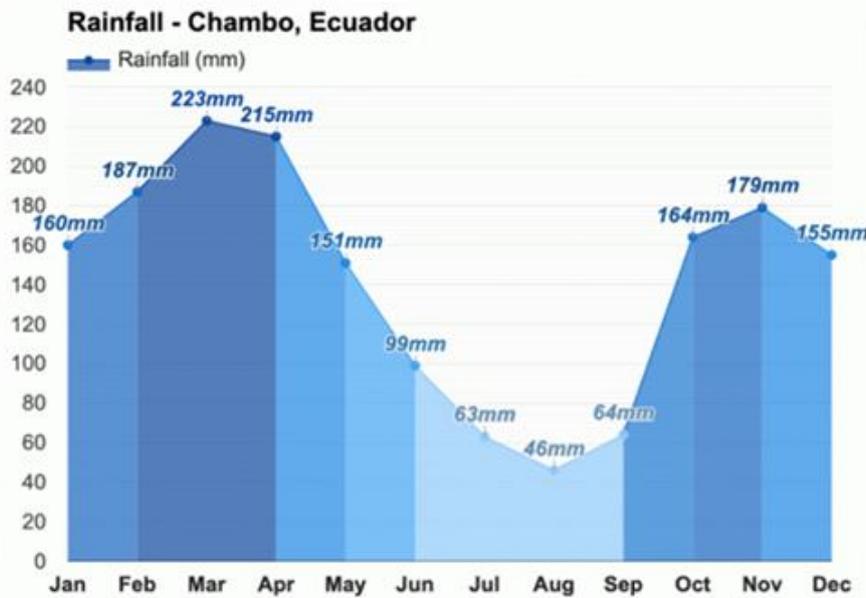


Figura 4.3. Gráfica en donde se aprecia las precipitaciones en el cantón Chambo. Fuente: [31]

Los meses que tienen los días más largos con enero, febrero, octubre, noviembre y diciembre con una media de luz diurna de 12,2 horas, mientras que los meses con días más cortos son mayo, junio y julio con una media de luz diurna de 12 horas.

El mes con más luz solar es octubre con un promedio de insolación de 9,5 horas, mientras que el mes con menos luz solar es abril con un promedio de insolación de 6,6 horas. (Figura 4.4).

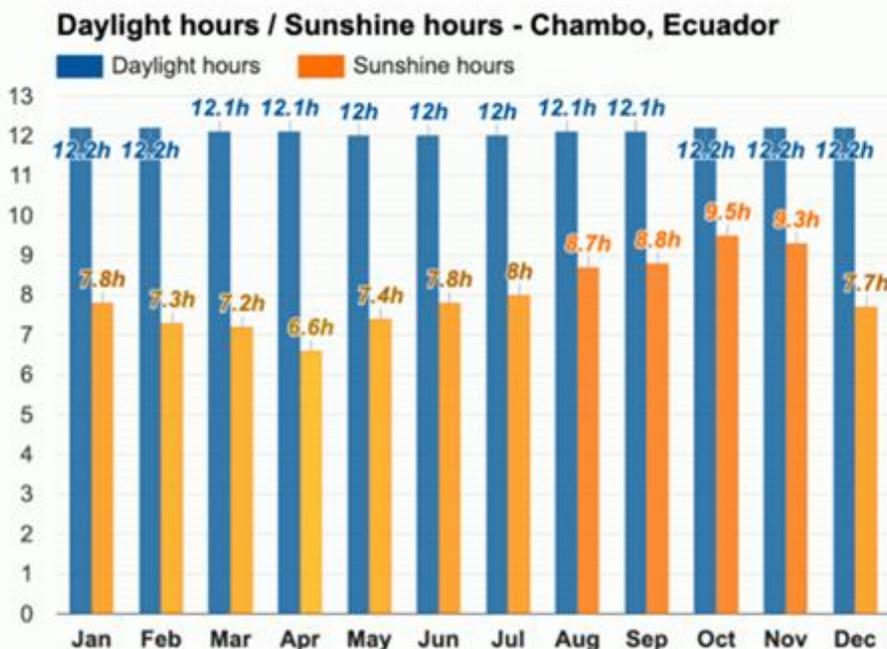


Figura 4.4. Gráfica que muestra las horas de luz en el día y la cantidad de horas de luz solar promedio en cada mes del año en el cantón Chambo. Fuente: [31]

4.1.2. Tipología y características constructivas de las viviendas

En general la tipología de viviendas en el cantón Chambo es bastante regular por ende la mayoría corresponde a una arquitectura popular que conservan en gran parte su estructura original, son construcciones de una y dos plantas de carácter privado que datan de los siglos XIX y XX, de forma general se encuentran en regular estado de conservación con serios problemas de humedad.[2]

Las construcciones contemporáneas que predominan en el sector presentan una estructura de hormigón armado, paredes de ladrillo y cubiertas de hormigón armado o asbesto cemento, con acabados en arena cemento. Estas viviendas han sido construidas sin mucho criterio técnico ni diseño arquitectónico presentando un modelo rectangular en su mayoría con una losa de hormigón armado circundada por un antepecho de ladrillo de 1,20 metros.

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Chambo a través de su Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023 ha podido determinar cuatro tipologías de vivienda de acuerdo a los materiales predominantes en la construcción de acuerdo a la tabla 4.1:

Tipo de Vivienda	Características		
	Piso	Paredes	Techo o Cubierta
Tipo A	Duela, parquet, tablón, piso flotante, cerámica, baldosa, vinil o mármol	Hormigón, ladrillo o bloque	Hormigón, losa plana o inclinada
Tipo B	Tablas sin tratar	Adobe, tapial o madera	Asbestos, eternit, eurolit, zinc o teja
Tipo C	Ladrillo, tabla o cemento	Bareque o caña	Zinc, palma, paja u hoja
Tipo D	Caña, tierra u otros materiales	Otros materiales	Otros materiales

Tabla 4.1. Clasificación de las diferentes Tipología de viviendas que existen en el cantón Chambo. Fuente: [2]

De la información obtenida se determinó que el 80 % de las viviendas pertenecen a la tipología A.

Al ser la elaboración del ladrillo de manera artesanal parte fundamental del desarrollo económico del cantón, este material constructivo predomina en la gran mayoría de las paredes de las viviendas de tipología A. (Figuras 4.5- 4.6)



Figura 4.5. Fotografía del exterior de una vivienda con Tipología tipo A, ubicada en el sector rural del Cantón Chambo. Fuente: Archivo del autor.



Figura 4.6. Fotografía del interior de una viviendas con Tipología tipo A, se aprecia principalmente el uso del ladrillo en los muros y la madera en la cubierta. Fuente: Archivo del autor.

4.1.2.1. Elaboración de ladrillo artesanal en el cantón Chambo

De acuerdo a Moreno y Polo (2012) [32] en su tesis de fin de grado "Análisis y elaboración de un ladrillo de barro producido con los materiales del cantón Chambo que cumplan con las especificaciones de calidad necesarias." menciona el siguiente proceso de elaboración del ladrillo:

- a) Se extrae tierra negra y blanca en igual proporción.*
- b) Se mezclan con aserrín en proporción de 10 sacos de 30 kg, para 1000 ladrillos.*
- c) Se proceden a humedecer, durante la noche.*
- d) Luego, se amasan estos dos materiales, con azadón y se lo hace pisar con ganado vacuno durante dos horas.*
- e) Se procede a la elaboración utilizando moldes de madera, que tienen compartimientos para ocho ladrillos a cada lada, de 20cm de largo, 9 cm de alto y 10 cm de ancho.*
- f) Se dejan secar en los tendales para, inmediatamente, colocar en pilluas o bancos, en los que se colocan 20 filas de ladrillos durante un tiempo aproximado de 15 a 20 días, transcurridos los cuales se los lleva a los hornos.*
- g) La „quema“ dura entre 24 y 48 horas, dependiendo de la calidad del combustible, en este caso la leña, y se enfrían durante cinco días."*

El tiempo de duración de la "quema" no es constante debido a que al tratarse de un horno elaborado de manera artesanal no se tiene un control industrializado sobre la variación de temperatura. Sin embargo de acuerdo al estudio realizado por María Isabel González Escobar [33] en su trabajo de investigación denominado "Determinar los perfiles de temperatura de un horno para ladrillos del sector Chambo", determina que la temperatura interior del horno alcanza los 1000 °C.

Las figuras 4.7 a 4.15 muestran una descripción visual del proceso de la elaboración artesanal del ladrillo en el cantón Chambo.



Figura 4.7. Tierra negra y blanca.



Figura 4.8. Mezcla de tierras y aserrín.



Figura 4.9. Colocando mezcla.



Figura 4.10. Retirando molde.



Figura 4.11. Secado al aire libre.



Figura 4.12. Apilado en bancos.



Figura 4.13. Apilado en el horno.



Figura 4.14. Sellado del horno.



Figura 4.15. Sellado del horno.

4.1.3. Selección de la muestra

Debido a que la tipología de vivienda A es predominante en el cantón Chambo con una presencia del 80%, se ha procedido a seleccionar una vivienda del lugar que reúna las características de construcción de esta clase de tipología.

La muestra ha sido seleccionada por conveniencia debido a que disponemos de facilidad para el acceso a los datos de la misma y podemos utilizar la vivienda del caso de estudio para obtener resultados generales que puedan beneficiar a las demás edificaciones del cantón Chambo.

4.2. FASE 2 - DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

Para la descripción del caso de estudio se revisará en primer lugar la información que nos aportará el propietario, dentro de la información se solicitarán las medidas, ubicación y el plano de la vivienda

El acceso a la planta de la vivienda utilizada (Figura 4.16) para este trabajo de investigación se lo realiza directamente desde el exterior al área de la sala, la planta está conformada por dos áreas, una social que abarca la sala, el comedor, la cocina y un baño social; y una área privada que contiene dos dormitorios y un baño completo.

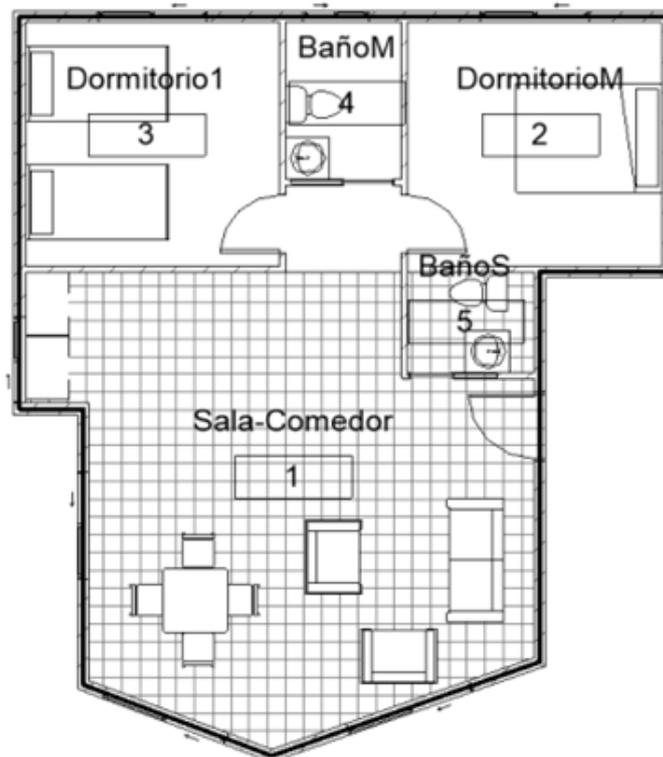


Figura 4.16. Planta de la vivienda que es caso de estudio elaborada con Autodesk Revit.
Fuente Archivo del autor

La sección constructiva de la vivienda, nos permitirá conocer las capas de composición de su envolvente, las cuales se replican en el 80% de la tipología de vivienda del cantón Chambo. (Figuras 4.17 - 4.18)

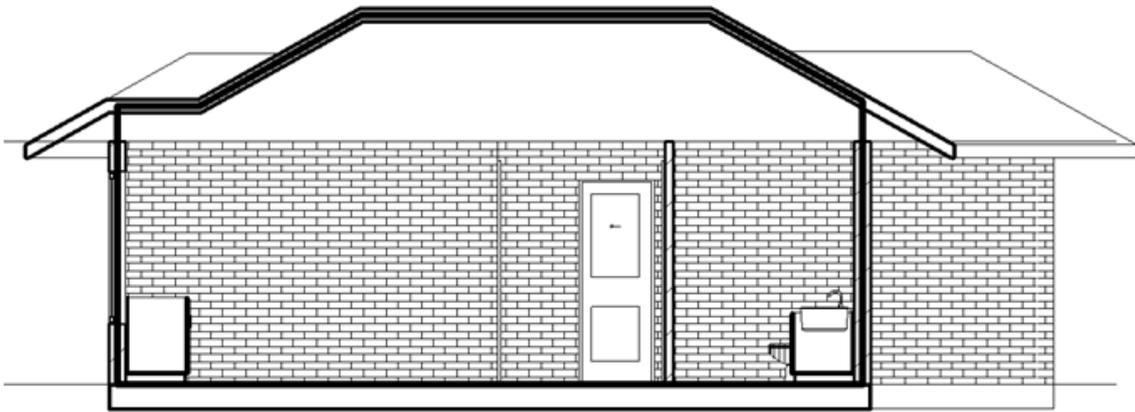


Figura 4.17. Sección vertical de la vivienda como caso de estudio. Fuente: Archivo del autor.



Figura 4.18. Sección horizontal de la vivienda como caso de estudio. Fuente: Archivo del autor.

4.2.1. Descripción de la envolvente constructiva del caso de estudio

Los elementos constructivos de la vivienda seleccionada como caso de estudio se detallan a continuación:

Fachada.-

La fachada es de ladrillo macizo elaborado de manera artesanal, sus medidas son 25 cm de largo, 8 cm de alto y 16 cm de ancho.

(Figuras 4.19 - 4.20)



Figura 4.19. Ingreso de materiales de la fachada por capas y medidas en Design Builder.
Fuente. Archivo del autor.



Figura 4.20. Fotografía del levantamiento de un muro con ladrillo en la vivienda de caso de estudio.
Fuente: Archivo del autor.



Figura 4.21. Detalle de ventana con cristal simple.

Ventanas.-

La carpintería de las ventanas es de aluminio y la vidriería está compuesta por vidrios simples de 6 mm.

(Figura 4.21)

Cubierta.-

La cubierta por el exterior tiene placas de eternit (asbesto) de 1.83x1.10 metros y por el interior tiene planchas de madera OSB con medidas de 1.22x2.44 metros y un espesor de 1.5 cm.

(Figuras 4.22 - 4.24)



Figura 4.23. Fotografía de la colocación de la cubierta de la vivienda como caso de estudio.
Fuente: Archivo del autor.



Figura 4.22. Planchas de OSB como detalle de cubierta interior.
Fuente: Archivo del autor.

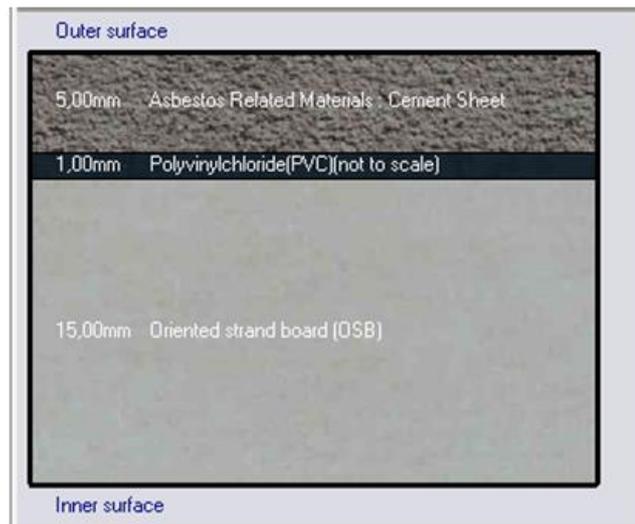


Figura 4.24. Ingreso de materiales de la cubierta por capas y medidas en Design Builder..
Fuente: Archivo del autor.

Para obtener el modelo base sobre el cual realizaremos las fases posteriores, se tomarán los siguientes valores de conductividad y transmitancia térmica de los elementos que forman la envolvente constructiva, dichos valores se parametrizarán en Design Builder cuando se elabore el modelo base. (Tabla 4.2).

Material instalado Caso de estudio	Espesor (mm)	Resistencia (R)	Transmitancia Térmica (W/m ² K)	Ubicación en la Envolvente
Ladrillo	160	0,401	2,493	muros
Aluminio sin rotura PT	20	0,170	5,881	perfil ventana
Vidrio simple	6	0,173	5,778	cristalería ventana
Eternit (fibrocemento)	5	0,588	1,700	cubierta exterior
Madera OSB	15	0,952	1,050	cubierta interior

Tabla 4.2. Especificaciones materiales - vivienda experimental. Fuente: Archivo del autor.

4.3. FASE 3 - MONITORIZACIÓN AMBIENTAL

En esta fase nos apoyaremos en equipos electrónicos para la obtención de medidas tanto de temperaturas como de humedades relativas.

Siguiendo las indicaciones de la norma ASHRAE 55 7.2.1 ^[5], en donde constan las indicaciones de las mejores ubicaciones para colocar los sensores electrónicos para la toma de datos, se ha dispuesto ubicar un sensor al interior de la vivienda en el punto central de la misma a una altura de 1,80 metros y se ubicará un sensor al exterior para tomar medidas del entorno inmediato a la vivienda a una distancia de 2 metros de su acceso principal.

Las características de los tipos de sensores ubicados al interior y exterior de la vivienda son las siguientes:

En el interior se cuenta con un sensor electrónico de la marca Elitech y modelo RC-51H, el cual nos permitirá monitorizar la temperatura y humedad relativa internas.

Este dispositivo cuenta con un margen de medición de temperatura desde -40°C hasta 85°C con un margen de error de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ y el rango para humedad va desde el 10 al 90% con un margen de error de $\pm 3\%$ (Figura 4.25).

En el exterior se cuenta con un sensor electrónico de la marca Oria y modelo WS07, el cual nos permitirá monitorizar la temperatura y humedad relativa externas.

Este dispositivo cuenta con un margen de medición de temperatura desde -20°C hasta 60°C con un margen de error de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ y el rango para humedad va desde 0 a 99% con un margen de error de $\pm 3\%$ (Figura 4.26).

Las medidas de temperatura y humedad relativa tanto internas como externas que se usarán en el presente trabajo de investigación, han sido tomadas en el período comprendido entre el 23 de enero hasta el 23 de junio de 2022.

⁵ Norma ASHRAE 55 7.2.1.- "Indicaciones de donde colocar los instrumentos de medición".



Figura 4.25. Imagen datalogger interno utilizado en el presente trabajo de investigación.



Figura 4.26. Imagen datalogger externo utilizado en el presente trabajo de investigación.

Debido a que la variación a lo largo del año es mínima, los datos recogidos serán suficientes para determinar los resultados que se aplicarán en las conclusiones.

Los data loggers han sido configurados para registrar las medidas de temperatura y humedad relativa tanto internas como externas cada 30 minutos en sus memorias.

Los datos almacenados en las memorias de los data loggers se descargarán de manera manual cada 30 días, adicionalmente en cada descarga de datos se obtendrá un informe de cada equipo.

4.4. FASE 4 - MODELADO Y SIMULACIÓN ENERGÉTICA

En esta fase para realizar el modelado de la vivienda utilizaremos la herramienta de software Autodesk Revit y para la simulación energética usaremos el programa Design Builder los cuales son totalmente compatibles y son parte de la familia de programas BIM.

La combinación de un programa de simulación con otros programas de modelado se ha vuelto popular desde finales de la década de 2000 [34], para los diferentes análisis de implementación de mejoras en las edificaciones

4.4.1. Justificación

Para realizar el trabajo de simulaciones se ha escogido la herramienta de software Design Builder V7.0.1.006, cuya eficacia en este campo se ha considerado la más adecuada. [3] [4].

Teniendo en cuenta que el módulo de Simulación de Design Builder representa el acceso al motor de cálculo de EnergyPlus, el cual es uno de los programas de simulación más avanzados en la actualidad, con éste programa se puede realizar evaluaciones de gran precisión a los diferentes factores que influyen en el desempeño ambiental de una vivienda como los elementos de la envolvente constructiva así como los sistemas mecánicos. [6]

La sección de Simulaciones de Design Builder, nos permitirá evaluar el desempeño ambiental y energético de viviendas, a través de simulaciones dinámicas en tiempo real con base en el archivo de datos climáticos (.EPW); así como también podremos evaluar diversas estrategias pasivas de bioclimática [5], como la ventilación natural, el aislamiento, el aprovechamiento de las ganancias solares activas y pasivas, el sombreado y el uso de masa térmica.

4.4.2. Creación del archivo climático

Para la simulación del edificio en una ubicación determinada, es necesario disponer del archivo climático para exportarlo al programa utilizada. En este caso se ha generado un archivo climático requerido, en EPW, con los datos de la monitorización ambiental exterior, utilizando como base el archivo EPW de la región más cercana a la ubicación que estamos estudiando, en nuestro caso dicho archivo corresponde a la ciudad de Quito.

El proceso de creación del archivo climático se lo puede seguir en detalle en el Anexo I.

4.4.3. Calibración del modelo simulado

Una vez que se ha establecido el trabajo a realizar y la herramienta de simulación que se ha seleccionado, hemos procedido a realizar la calibración del modelo a utilizar como base, comparando el caso de estudio (vivienda sin ocupación) el mismo que ha sido medido con instrumentos para conocer la temperatura interna real versus el modelo simulado en Design Builder.

Los datos reales térmicos que se usaron para la calibración se crearon extrayendo valores diarios en intervalos de 30 minutos, según la metodología usada por Raftery et al. [35] para parámetros interiores

El proceso de calibración se llevó a cabo siguiendo la norma ASHRAE 14-2002 [36], la cual establece que el modelo de simulación calibrado debe tener un rango de precisión del 10% para NBME y del 30% para CV RMSE en relación con los datos horarios medidos.

Para evaluar las diferencias que existen entre los datos simulados y los datos reales observados se ha utilizado el error de sesgo medio (MBE) y el coeficiente de variación de la raíz del error cuadrático medio (CV RMSE). [37].

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} (y_i - \hat{y}_i)}{\sum_{i=1}^{N_s} y_i}$$

$$\hat{Y}_S = \frac{\sum_{i=1}^{N_s} y_i}{N_s}$$

$$CVRMSE_{(S)} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_s} \frac{(y_i - \hat{y}_i)^2}{N_s}}}{\hat{Y}_S}$$

Donde:

- y_i : datos observados
- \hat{y}_i : datos simulados
- N_s : tamaño de la muestra
- \bar{Y}_s : media de la muestra de los datos observados

Para conseguir la convergencia se tuvieron que realizar algunos ajustes en el modelo simulado como las infiltraciones de aire y la temperatura del suelo, siguiendo el método Bondades del ajuste (Godness of Fit) descrito por Carckley et al. donde cada modelo se basa en una combinación ponderada de CVRMSE y el NMBE, comparando los modelos de simulación con resultados más bajos representan conjuntos de parámetros que muestran una mayor bondad de ajuste en relación con los datos medidos, reduciendo así la selección de mejores ajustes [38].

El proceso de calibración se lo realizó en las tres semanas elegidas como muestra para el trabajo y sobre las cuales se realizarán las configuraciones de calibración para obtener el modelo simulado que más se ajuste al modelo observado.

Las semanas de estudio fueron:

- Semana 1: del 14 al 20 de febrero de 2022.
- Semana 2: del 14 al 20 de marzo de 2022.
- Semana 3: del 18 al 24 de abril de 2022.

Se han seleccionado las semanas de febrero y marzo por ser los meses de año con la temperatura externa promedio baja más alta del año y por tener los días más largos del año con un promedio de 12.2 horas, lo que nos ha permitido observar la influencia de la luz del día con relación a las temperaturas bajas en la noche; con relación a la semana de abril se ha escogido por ser el mes con la mayor humedad relativa 88% del año y en contraste con los anteriores es el mes con menos luz solar, de esta manera hemos visto la importancia de mantener la luz solar en la fachada por muy poca que sea.

Los valores de Infiltraciones de aire que se probaron fueron de 5, 8, 10, 15, 20 y 25 ac/h. De esta manera se pudo determinar que las infiltraciones de aire configuradas a 10 ac/h en 50 Pa en el modelo simulado se ajusta de mejor manera al modelo real y los valores obtenidos del MBE y CV RMSE están dentro de los rangos de aceptación.

El MBE y el CV RMSE se obtuvieron al comparar los valores de temperatura interna del datalogger y del modelo simulado configurando las infiltraciones anteriormente mencionadas.

En el Anexo IV se muestra en detalle el proceso de la calibración y los cálculos que se realizaron para obtener los indicadores que se muestran en la Tabla 4.3.

CALIBRACIÓN SEMANA 1						
	Infiltración 5	Infiltración 8	Infiltración 10	Infiltración 15	Infiltración 20	Infiltración 25
MBE	0.092	0.022	-0.022	-0.125	-0.219	-0.304
CV RMSE	2.97 %	2.91 %	2.90 %	2.98 %	3.17 %	3.42 %
CALIBRACIÓN SEMANA 2						
	Infiltración 5	Infiltración 8	Infiltración 10	Infiltración 15	Infiltración 20	Infiltración 25
MBE	0.081	0.029	-0.004	-0.081	-0.151	-0.216
CV RMSE	3.54 %	3.49 %	3.47 %	3.49 %	3.56 %	3.67 %
CALIBRACIÓN SEMANA 3						
	Infiltración 5	Infiltración 8	Infiltración 10	Infiltración 15	Infiltración 20	Infiltración 25
MBE	0.545	0.478	0.436	0.338	0.249	0.168
CV RMSE	4.66 %	4.40 %	4.25 %	3.93 %	3.70 %	3.54 %

Tabla 4.3. Resumen de valores para indicadores MBE y CV RMSE obtenidos con las variaciones de infiltraciones utilizadas. Fuente: Archivo del autor.

4.4.4. Extracción de resultados

Con los datos ya introducidos a la herramienta de software Design Builder, procederemos a ejecutar la simulación [39] del estado actual de la vivienda y de las distintas configuraciones. Se ha seleccionado para el análisis de resultados los datos temperatura operativa del interior de la vivienda para la calibración del modelo. Para las distintas propuestas de mejora se han obtenido los resultados de temperatura en régimen de libre evolución.

Con los datos extraídos de los reportes de resultados que nos proporciona el programa, procederemos a la elaboración de gráficas comparativas, en donde se verán reflejados los valores de temperaturas internas de acuerdo a los materiales que se hayan añadido o cambiado en la envolvente constructiva.

4.5. FASE 5 - PROPUESTAS DE MEJORA MEDIANTE ESTRATEGIAS PASIVAS

Se realizará una simulación inicial con los elementos constructivos utilizados en la envolvente constructiva de la vivienda de caso de estudio original "Modelo 0", de esta manera obtendremos un modelo que servirá de base para comenzar a mejorar los indicadores.

Posteriormente se realizarán simulaciones cambiando los elementos y materiales que son parte constructiva: huecos, fachadas y cubierta.

Las simulaciones se iniciarán cambiando los parámetros de un solo elemento a la vez, es decir primero calcularemos los valores de las variables por separado de los elementos de un segmento de la envolvente, empezaremos cambiando los parámetros en fachada, luego ventanas y finalmente cubierta.

4.5.1 Fachada

En este apartado realizaremos algunas simulaciones en donde se modificará la fachada de la vivienda, esta propuesta hace referencia al estudio de algunos tipos de aislamientos térmicos, entre los cuales encontramos al Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior más conocido como SATE, así como también están algunas lanas para aislamiento por el interior de la vivienda, en cada caso se mostrarán las propiedades térmicas tanto de Resistencia como de Transmitancia (Tabla 4.4). Las opciones son:

- O - Fachada original de mampostería.
- F1 - Fachada con SATE de 5 cm.
- F2 - Fachada con SATE de 10 cm.
- F3 - Fachada con Lana de Vidrio.
- F4 - Fachada con Lana de Roca.
- F5 - Fachada con Lana de Oveja.

Se incluyó la opción de colocar lana de oveja como aislamiento por el interior debido a que una de las actividades es la cría de ganado ovino, pese a no contar con un sistema industrializado se pudo conseguir lana de oveja tratada para utilizarla como aislamiento.

4.5.2. Ventanas

En este apartado realizaremos algunas simulaciones en donde se modificarán los vidrios de las ventanas y la carpintería de las mismas, en esta propuesta nos enfocamos en el aislamiento térmico a través de las ventanas utilizando dobles cristales separados con una cámara de aire y montados en una carpintería de aluminio con rotura de puente térmico, en cada caso se mostrarán las propiedades térmicas tanto de Resistencia como de Transmitancia (Tabla 4.4). Las opciones son:

- O - Ventana original de vidrio simple de 6 mm y carpintería de aluminio sin rotura de puente térmico.
- V1 - Ventana de doble vidrio 3mm - 6mm y carpintería de aluminio con rotura de puente térmico.

V2 - Ventana de doble vidrio 6mm - 6mm y carpintería de aluminio con rotura de puente térmico.

V3 - Ventana de doble vidrio 6mm - 13mm y carpintería de aluminio con rotura de puente térmico.

4.5.3. Cubierta

En este apartado realizaremos algunas simulaciones en donde se incluirá lana de vidrio a la cubierta original de la vivienda del caso de estudio, en esta propuesta nos enfocamos en el aislamiento térmico a través de la cubierta por el interior utilizando lana de vidrio y se describirá sus propiedades térmicas tanto de Resistencia como de Transmitancia (Tabla 4.4).

O - Cubierta Original con fibrocemento ondulado (Eternit) y tableros.

C1 - Aislamiento de lana de vidrio a la cubierta original.

Cod.	Materiales	Espesor (mm)	Resistencia Térmica - R (m ² .K/W)	Transmitancia Térmica - U (W/(M ² k))	Ubicación en la envolvente
O	Fachada original -Ladrillo	160	0,401	2,493	Fachada
F1	SATE 5	234	1,665	0,601	
F2	SATE 10	284	2,915	0,343	
F3	Lana de Vidrio	241	0,867	1,154	
F4	Lana de Roca	231	0,916	1,092	
F5	Lana de Oveja	231	0,836	1,196	
O	Vidrio Original	6	0,173	5,778	Ventana
V1	Vidrio doble 3-6mm	3-6	0,317	3,159	
V2	Vidrio doble 6-6mm	6-6	0,323	3,094	
V3	Vidrio doble 6-13mm	6-13	0,375	2,665	
O	Cubierta original	21	1,540	2,750	Cubierta
C1	Cub. Orig. más Lana de Vidrio	86	2,407	3,904	

Tabla 4.4. Valores de resistencias y transmitancia térmicas de los elementos de mejora propuestos.
Fuente: Archivo del autor.

4.5.4. Combinación de las propuestas

Cuando tengamos los resultados de los materiales por separado, realizaremos combinaciones de los mismos entre fachada, ventanas y cubierta con la finalidad de conseguir el mejor resultado. (Tabla 4.5)

Las posibles combinaciones que aplicaremos son las siguientes:

Combinación 1 - CBN1 (Muro - Ventana)	
SATE *	cerramiento
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristalería ventana
Combinación 2 - CBN2 (Muro - Ventana)	
Lana de oveja	aislamiento muros
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristalería ventana
Combinación 3 - CBN3 (Muro - Ventana)	
Lana de roca	aislamiento muros
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristalería ventana
Combinación 4 - CBN4 (Muro - Ventana)	
Lana de vidrio	aislamiento muros
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristalería ventana
Combinación 5 - CBN5 (Muro - Cubierta)	
SATE *	cerramiento
Lana de vidrio	aislamiento cubierta
Combinación 6 - CBN6 (Muro - Cubierta)	
Lana de oveja	aislamiento muros
Lana de vidrio	aislamiento cubierta
Combinación 7 - CBN7 (Muro - Cubierta)	
Lana de roca	aislamiento muros
Lana de vidrio	aislamiento cubierta
Combinación 8 - CBN8 (Muro - Cubierta)	
Lana de vidrio	aislamiento muros
Lana de vidrio	aislamiento cubierta
Combinación 9 - CBN9 (Ventana - Cubierta)	
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristalería ventana
Lana de vidrio	aislamiento cubierta
Combinación 10 - CBN10 (Muro - Ventana- Cubierta)	
SATE *	cerramiento
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristalería ventana
Lana de vidrio	aislamiento cubierta

Combinación 11 - CBN11 (Muro - Ventana- Cubierta)	
Lana de oveja	aislamiento muros
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristeria ventana
Lana de vidrio	aislamiento cubierta
Combinación 12 - CBN12 (Muro - Ventana - Cubierta)	
Lana de roca	aislamiento muros
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristeria ventana
Lana de vidrio	aislamiento cubierta
Combinación 13 - CBN13 (Muro - Ventana - Cubierta)	
Lana de vidrio	aislamiento muros
Aluminio con rotura PT	perfil ventana
Vidrio doble **	cristeria ventana
Lana de vidrio	aislamiento cubierta

Tabla 4.5. Combinaciones para optimizar el aislamiento en la envolvente constructiva.
Fuente: Archivo del autor.

* **SATE:** Se hicieron combinaciones con SATE de 5 cm y 10 cm.

** **Vidrio doble:** Se hicieron combinaciones con doble vidrio 3-6mm, 6-6mm y 6-13mm.

4.6. FASE 6 - ANÁLISIS DE RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

Las comparaciones se realizaron en un inicio entre el material instalado en la vivienda de caso de estudio y las propuestas de mejora sobre cada elemento constructivo (fachada, ventana y cubierta) y posteriormente se realizaron comparaciones entre las combinaciones planteadas para determinar la más eficaz.

Los análisis de resultados se harán a través de la herramienta de software Statgraphics, [40] con la cual podremos obtener comparaciones a través de gráficas de cajas y bigotes de las temperaturas que se han obtenido al interior de la vivienda.

4.6.1. Análisis de costos

Adicionalmente se ha realizado un estudio de mercado de los costos de los materiales que se están utilizando en el presente trabajo de investigación, con la

finalidad de obtener una propuesta que además de mejorar el confort térmico en el ambiente interior de las viviendas pueda estar al alcance económico de sus propietarios. (Tabla 4.6)

Debemos tomar en cuenta también que en el cantón Chambo existe un porcentaje de pobreza de necesidades básicas insatisfechas bastante elevado, el cual alcanza al 70% (GADM Chambo 2019, 205) de su población. Las necesidades del confort en la vivienda caminan juntas del alcance económico familiar.

MATERIAL	DETALLE	ESPESOR	PRECIO	PRECIO/M2
Lana de Vidrio	Rollo de 1.20m x 30.00m	5 cm.	\$ 160,00	\$ 4,44
Lana de Roca	Rollo de 1.00m x 4.80m	4 cm.	\$ 128,00	\$ 26,66
Lana de Oveja	Libra.animal (cada animal 10 lbs.)	4 cm.	\$ 0,50	\$ 5,00
Panel EPS	Panel de 2.00m x 1.00m	5 cm.	\$ 15,69	\$ 7,85
Panel EPS	Panel de 2.00m x 1.00m	10 cm.	\$ 16,30	\$ 8,15
Vidrio	Color bronce plancha de 2.50m x 3.60m	3 mm.	\$ 31,50	\$ 3,50
Vidrio	Color bronce plancha de 2.50m x 3.60m	6 mm.	\$ 63,00	\$ 7,00
Vidrio	Color bronce plancha de 2.50m x 3.60m	13 mm.	\$ 81,00	\$ 9,00

Tabla 4.6. Precios locales en dólares americanos de los elementos que pueden usarse para optimizar la envolvente constructiva..

Fuente. Ferreterías Kywi (www.kywi.com) y Ferrisariato (www.frecuento.com)..

Por lo tanto la solución que se plantea obtener luego de realizar las simulaciones debe ser la más eficaz no solo con respecto al aislamiento sino también la que sea más asequible económicamente.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS EN FACHADA

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de fachada y en el transcurso de las semanas de estudio:

- O.- Cerramiento Original.
- F1.- Aislamiento con SATE 5cm.
- F2.- Aislamiento con SATE 10cm.
- F3.- Aislamiento con Lana de Vidrio
- F4.- Aislamiento con Lana de Roca.
- F5.- Aislamiento con Lana de Oveja.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.1 - 5.6) para ver el comportamiento de los diferentes aislamientos de fachada en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

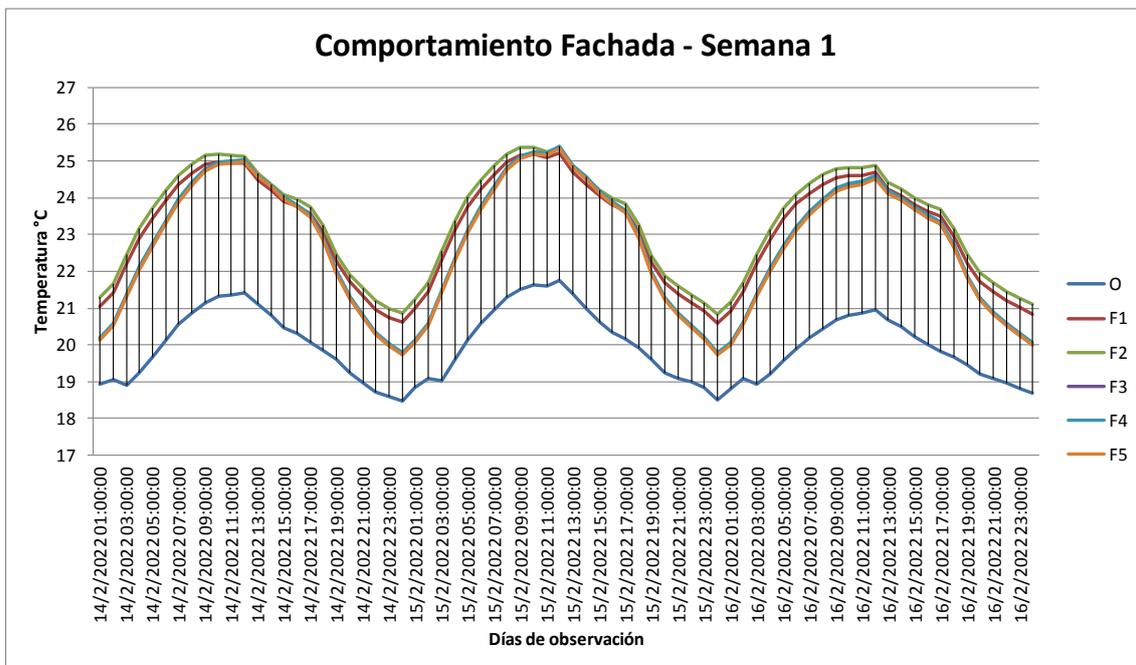


Figura 5.1. Gráfica del comportamiento de las fachadas durante la semana del 14 al 20 de febrero de 2022.

Fuente: Archivo del autor.

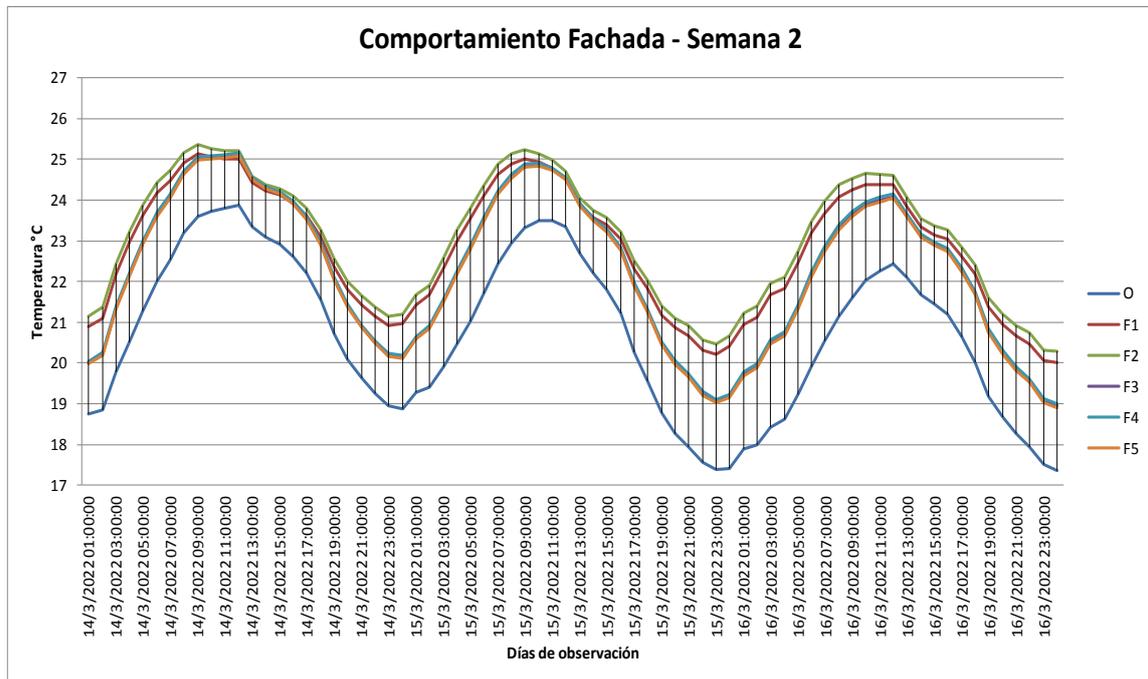


Figura 5.2. Gráfica del comportamiento de las fachadas durante la semana del 14 al 20 de marzo de 2022.
Fuente: Archivo del autor.

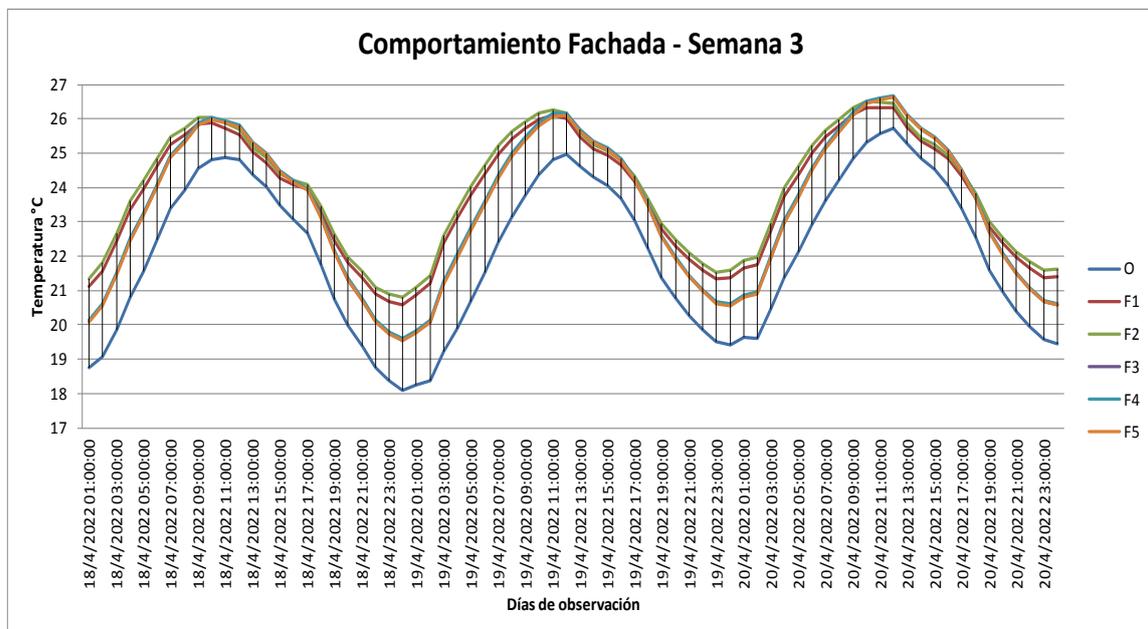


Figura 5.3. Gráfica del comportamiento de las fachadas durante la semana del 18 al 24 de abril de 2022.
Fuente: Archivo del autor.

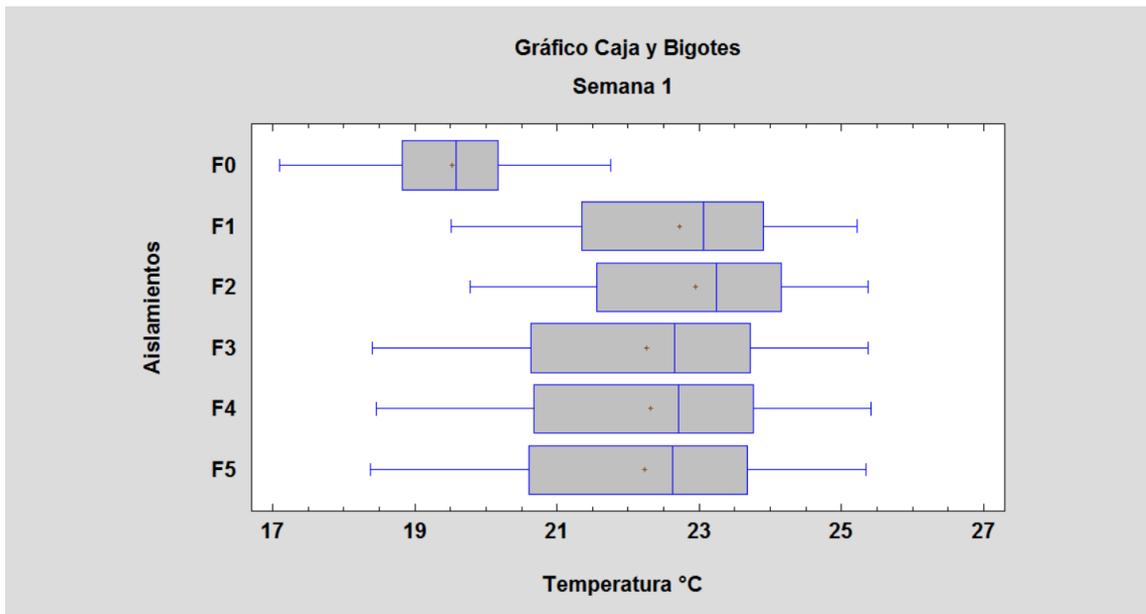


Figura 5.4. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la fachada durante la semana del 14 al 20 de febrero 2022
Fuente: Archivo del autor.

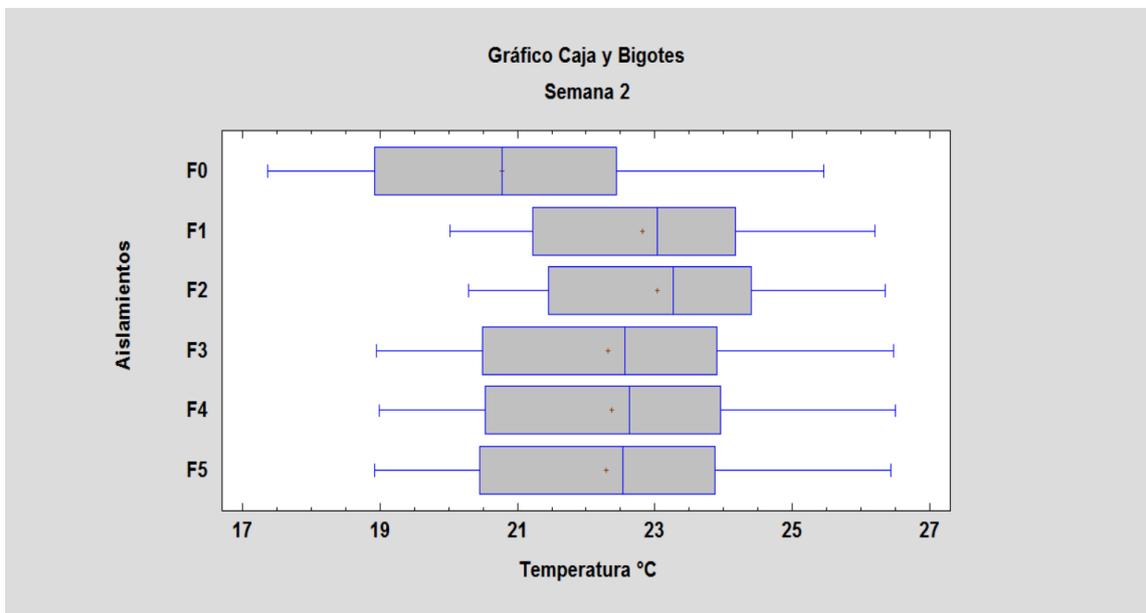


Figura 5.5. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la fachada durante la semana del 14 al 20 de marzo 2022.
Fuente: Archivo del autor.

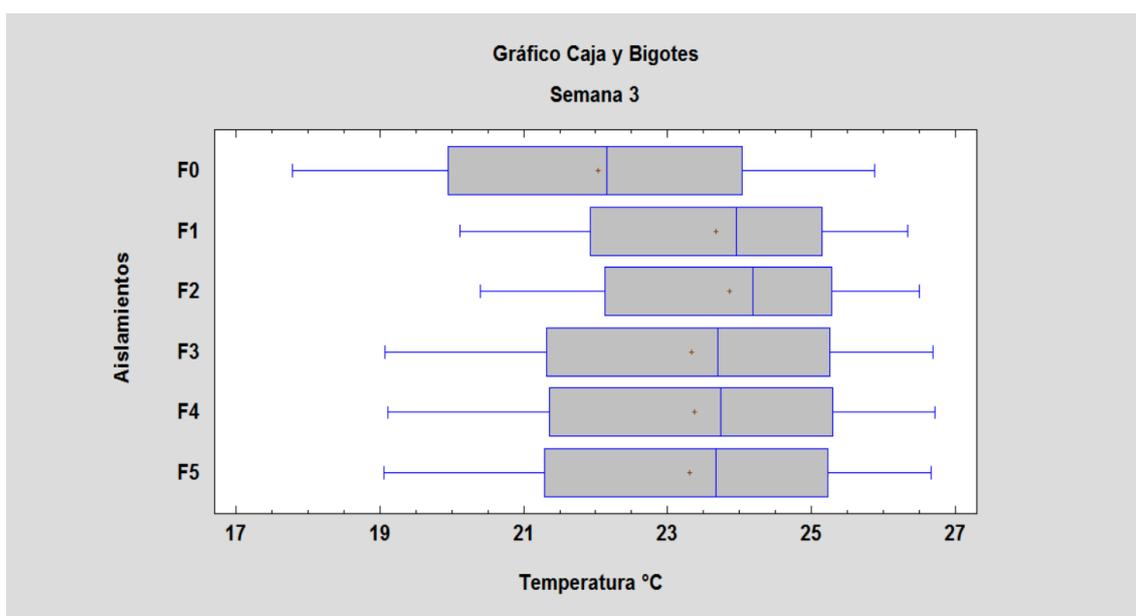


Figura 5.6. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la fachada durante la semana del 18 al 24 de abril 2022.
Fuente: Archivo del autor.

Teniendo en cuenta los datos que se han extraído de las simulaciones también hemos podido elaborar una tabla comparativa (Tabla 5.1) con las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas con cada propuesta.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio Temperatura (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	F1	25,22	15,90%	19,50	14,04%	22,72
	F2	25,38	16,64%	19,78	15,67%	22,95
	F3	25,38	16,64%	18,40	7,60%	22,27
	F4	25,41	16,77%	18,45	7,89%	22,31
	F5	25,35	16,50%	18,38	7,49%	22,24
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	F1	26,20	2,91%	20,02	15,32%	22,81
	F2	26,36	3,53%	20,29	16,88%	23,04
	F3	26,47	3,97%	18,94	9,10%	22,32
	F4	26,50	4,08%	18,99	9,39%	22,37
	F5	26,44	3,85%	18,91	8,93%	22,29
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	F1	26,34	1,78%	20,11	13,10%	23,67
	F2	26,51	2,43%	20,39	14,68%	23,86
	F3	26,69	3,13%	19,07	7,26%	23,33
	F4	26,72	3,25%	19,11	7,48%	23,37
	F5	26,66	3,01%	19,05	7,14%	23,31

Tabla 5.1. Tabla comparativa de máximos y mínimos de temperatura entre propuestas de fachadas.
Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 19.78 y 25.38 °C con la opción F2, es decir se logró subir 2.68 grados a la temperatura promedio mínima y 3.62 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 20.29 y 26.36 °C, con la opción F2.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.63 y 2.62 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas con la opción F2.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.4 y 5.5, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20.5 y 24 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.6.

De los materiales utilizados el que más incremento de temperatura promedio obtiene con respecto al cerramiento original es la Lana de Roca con un 16,77% de ganancia, mientras que el mejor incremento con respecto a la temperatura mínima es la colocación de un SATE de 10 cm con un 15,67% con respecto al cerramiento original.

La semana del mes de abril alcanzó la mayor diferencia de temperatura promedio con la combinación F2, mientras que la menor diferencia se obtuvo con la combinación F5 en la semana del mes de febrero.

5.2.- ANÁLISIS EN VENTANAS

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre las siguientes opciones de ventanas y en el transcurso de las semanas de estudio:

- O.- Ventana Original de vidrio simple de 6mm y carpintería sin rotura de puente térmico.
- V1.- Ventana doble vidrio 3mm - 6mm y carpintería de aluminio con rotura de puente térmico.
- V2.- Ventana doble vidrio 6mm - 6mm y carpintería de aluminio con rotura de puente térmico.
- V3.- Ventana doble vidrio 6mm - 13mm y carpintería de aluminio con rotura de puente térmico

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.7 - 5.12) para ver el comportamiento de las diferentes opciones de ventanas en relación a la ventana original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

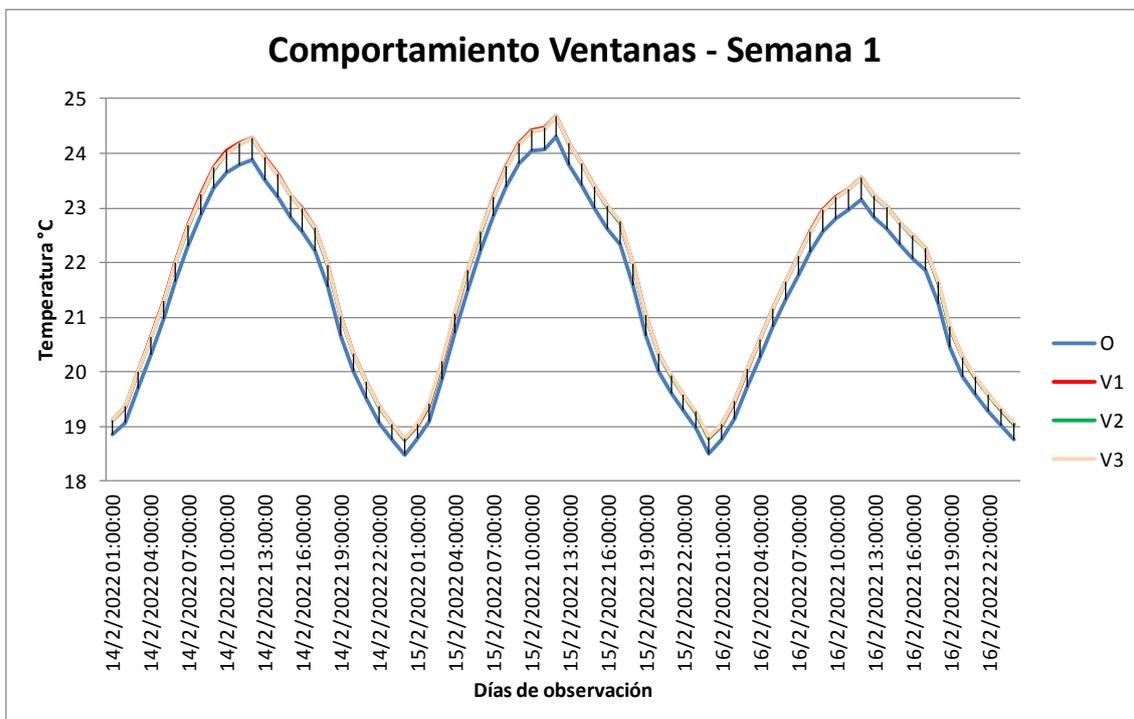


Figura 5.7. Gráfica del comportamiento de las ventanas durante la semana del 14 al 20 de febrero de 2022. Fuente: Archivo del autor.

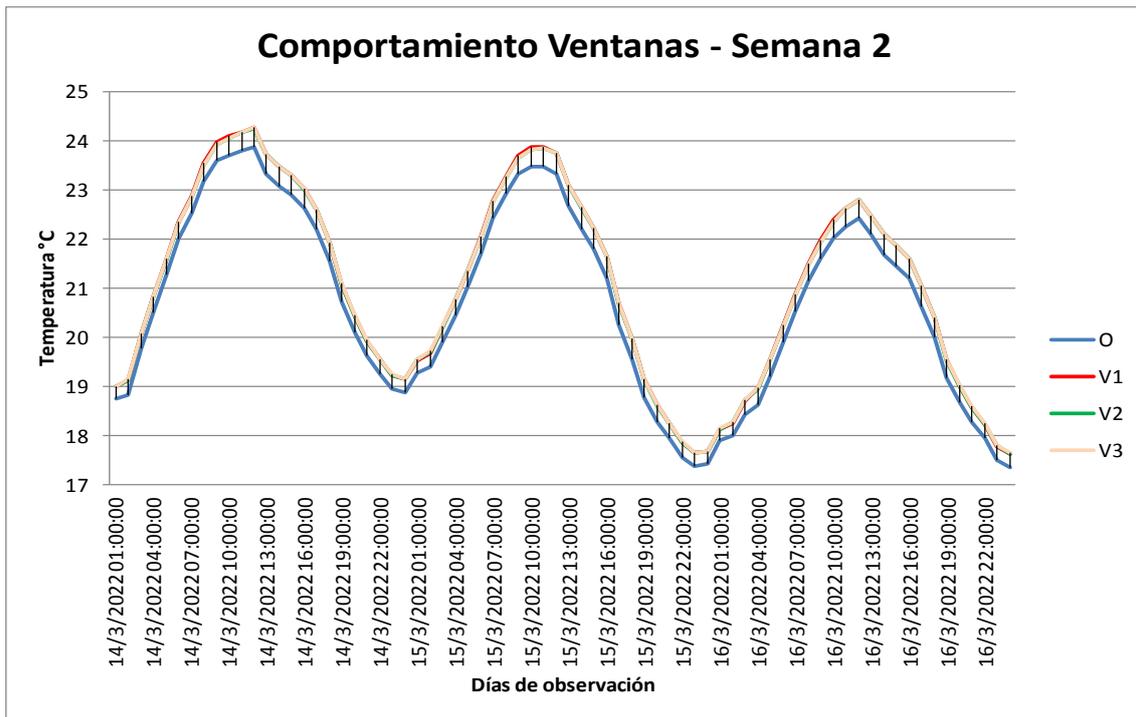


Figura 5.8. Gráfica del comportamiento de las ventanas durante la semana del 14 al 20 de marzo de 2022. Fuente: Archivo del autor.

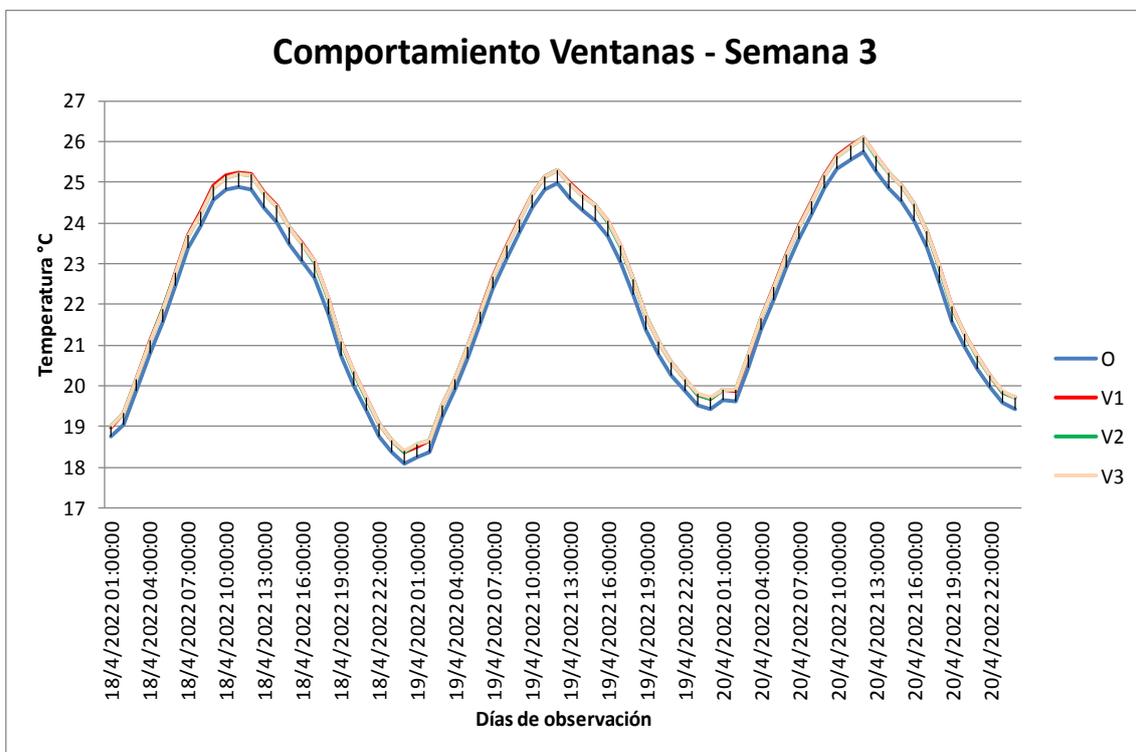


Figura 5.9. Gráfica del comportamiento de las ventanas durante la semana del 18 al 24 de abril de 2022. Fuente: Archivo del autor.

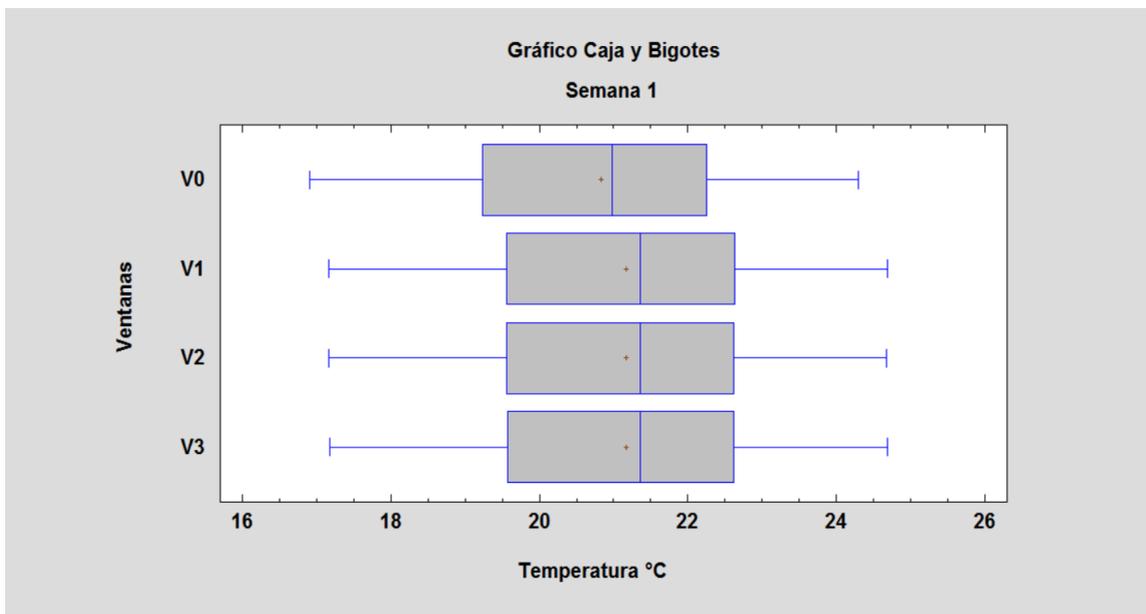


Figura 5.10. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la ventana de la semana del 14 al 20 de febrero 2022. Fuente: Archivo del autor.

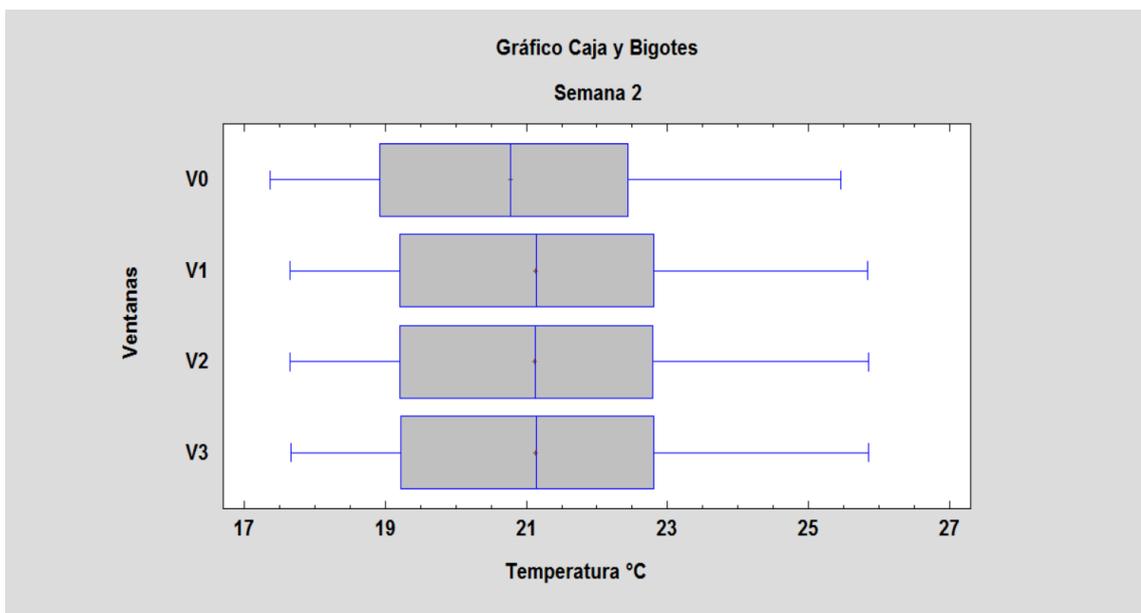


Figura 5.11. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la ventana de la semana del 14 al 20 de marzo 2022. Fuente: Archivo del autor.

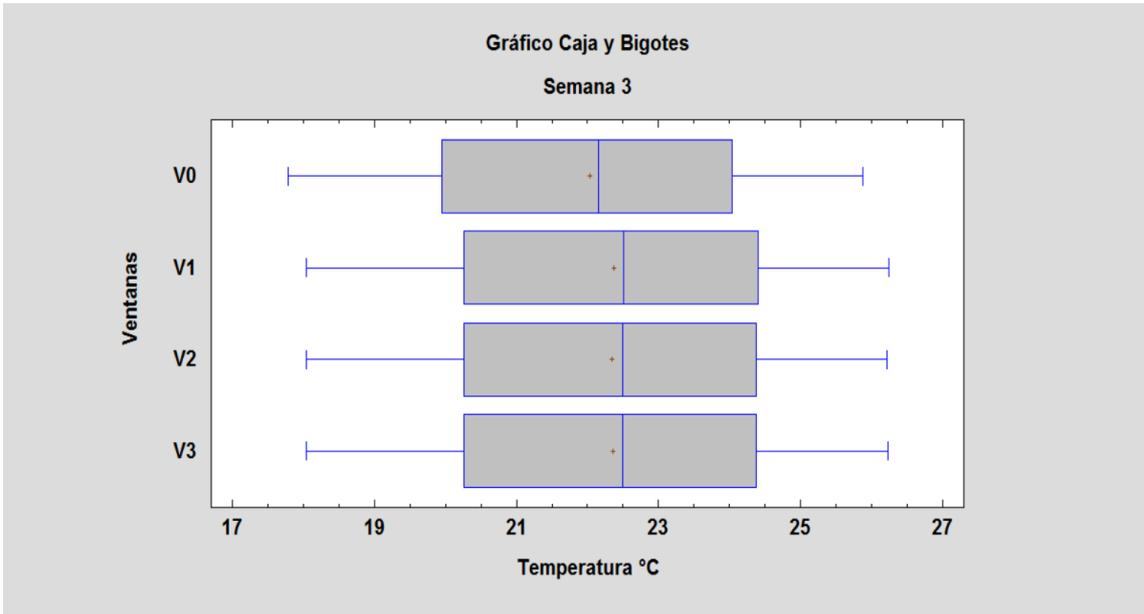


Figura 5.12. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la ventana de la semana del 18 al 24 de abril 2022. Fuente: Archivo del autor.

Teniendo en cuenta los datos que se han extraído de las simulaciones también hemos podido elaborar una tabla comparativa (Tabla 5.2) con las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas con cada propuesta.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio Temperatura (°C)
1	O	24,29	-	16,91	-	20,82
	V1	24,69	1,65%	17,16	1,48%	21,17
	V2	24,68	1,61%	17,16	1,48%	21,17
	V3	24,69	1,65%	17,17	1,54%	21,18
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	V1	25,84	1,49%	17,64	1,61%	21,13
	V2	25,85	1,53%	17,64	1,61%	21,12
	V3	25,85	1,53%	17,66	1,73%	21,13
3	O	25,88	-	17,77	-	22,03
	V1	26,24	1,39%	18,04	1,52%	22,37
	V2	26,22	1,31%	18,04	1,52%	22,35
	V3	26,23	1,35%	18,04	1,52%	22,36

Tabla 5.2. Tabla comparativa de máximos y mínimos de temperatura entre opciones de ventanas. Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 16.91 y 24.29 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 17.17 y 24.68 °C con la opción V3, es decir se logró subir 0.26 grados a la temperatura promedio mínima y 0.40 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, las temperaturas promedios mínimas interiores en estado original mantienen un margen mínimo de diferencia con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 17.66 y 25.85 °C, con la opción V3.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de febrero y se ubican entre 17.77 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.27 y 0.35 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas con la opción V3.

Con las propuestas de mejora, según la figura 5.10 el 50% del tiempo de la semana del mes de febrero, las temperaturas están entre 19.5 y 22.5 °C aproximadamente; mientras que en el mes de marzo el 50% del tiempo las temperaturas se ubican entre 19 y 23 °C aproximadamente según la figura 5.11; finalmente en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 20 y 24.5 °C aproximadamente según la figura 5.12.

De las opciones utilizadas se observó el mismo incremento en la temperatura máxima de 1,65% al utilizar dos cristales de diferente espesor en las opciones V1 y V3 con respecto al original, mientras que el mejor incremento con respecto a la temperatura mínima es la colocación de la opción V3 con cristales de 6 y 13mm obteniendo una ganancia de 1,54% con relación al original.

La semana del mes de abril alcanzó la mayor diferencia de temperatura promedio con la combinación V1, sin embargo la misma opción obtuvo el promedio de temperatura menor en febrero.

5.3.- ANÁLISIS EN CUBIERTA

La simulación y comparación de comportamiento se realizó adicionando una capa de lana de vidrio al interior de la cubierta y en las semanas de estudio:

O.- Cubierta Original.

C1.- Cubierta con Lana de Vidrio adicional.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.13 - 5.18) para observar el comportamiento de la opción de cubierta en relación a la cubierta original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

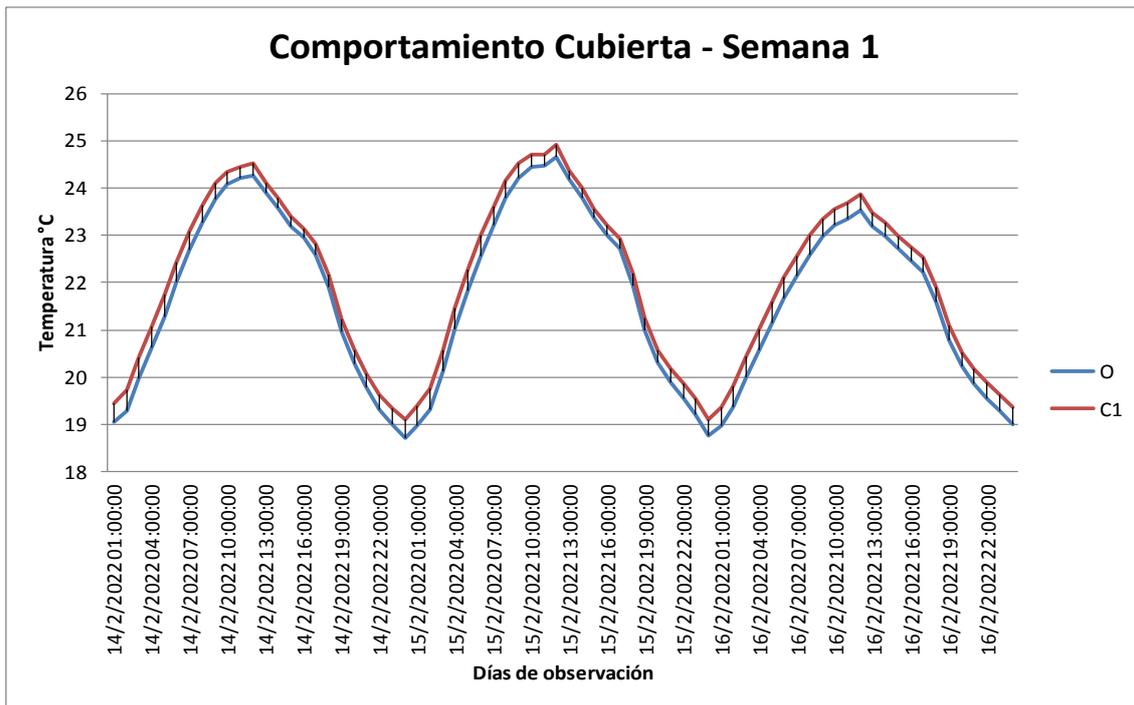


Figura 5.13. Gráfica del comportamiento de la cubierta durante la semana del 14 al 20 de febrero de 2022.

Fuente: Archivo del autor.

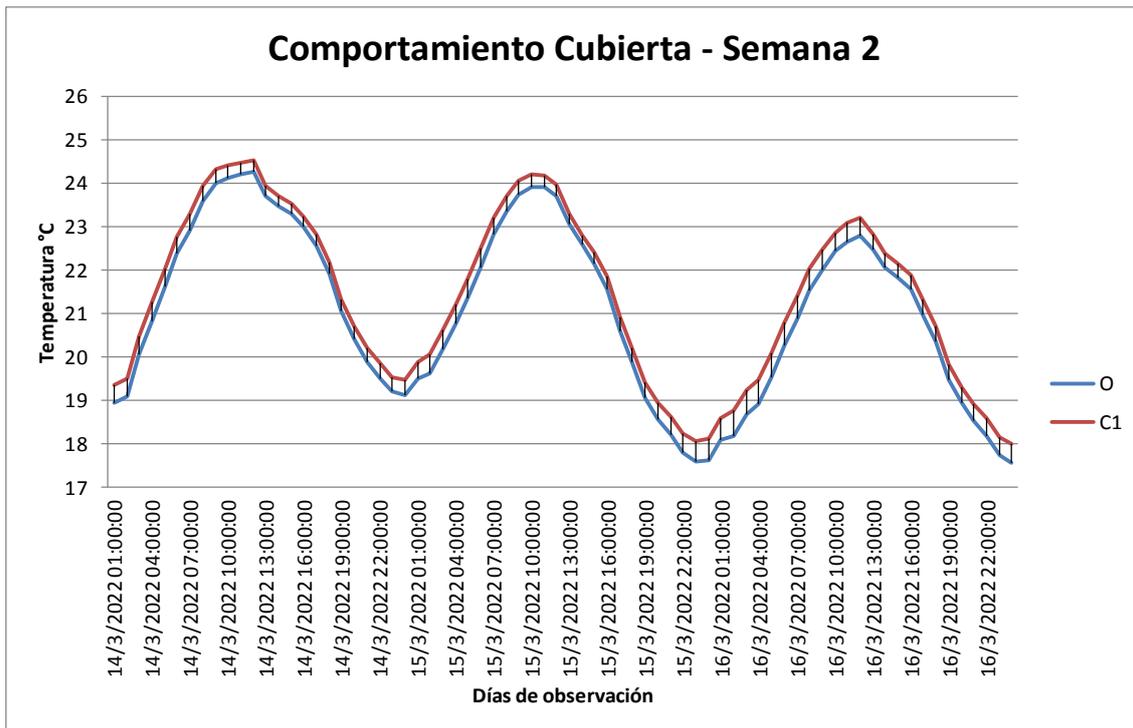


Figura 5.14. Gráfica del comportamiento de la cubierta durante la semana del 14 al 20 de marzo de 2022. Fuente: Archivo del autor.

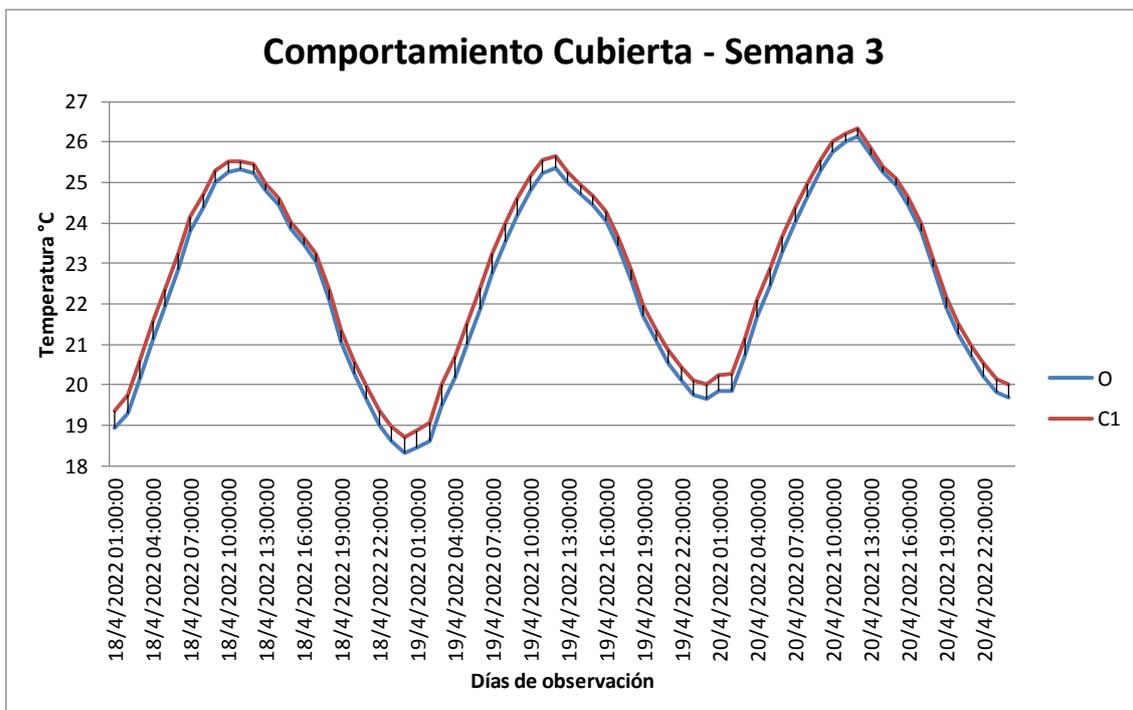


Figura 5.15. Gráfica del comportamiento de la cubierta durante la semana del 18 al 24 de abril de 2022. Fuente: Archivo del autor.

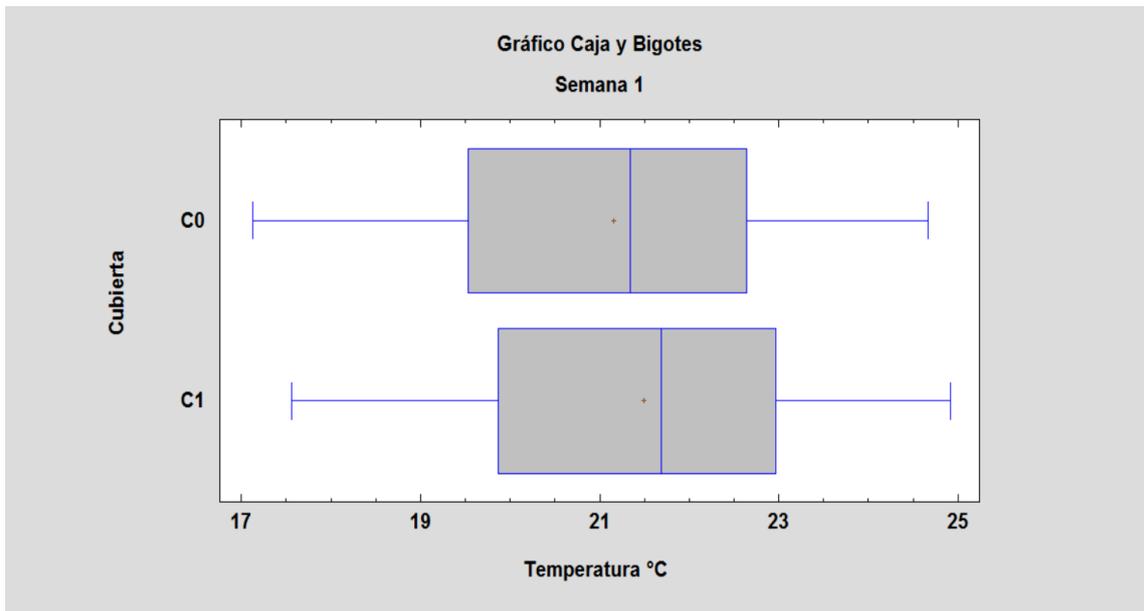


Figura 5.16. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la cubierta de la semana del 14 al 20 de febrero 2022. Fuente: Archivo del autor.

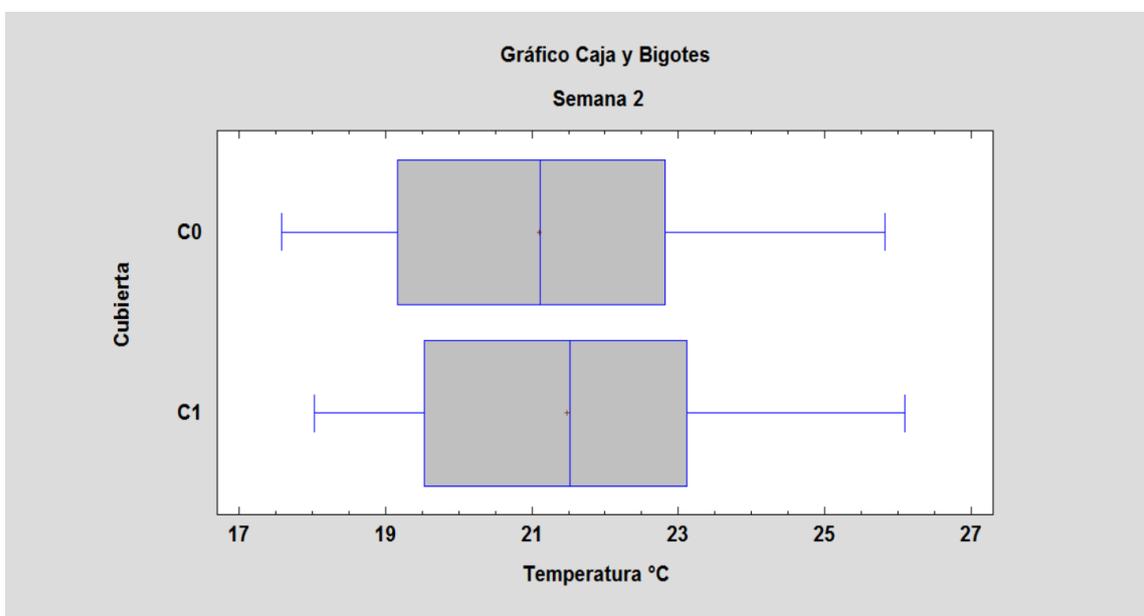


Figura 5.17. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la cubierta de la semana del 14 al 20 de marzo 2022. Fuente: Archivo del autor.

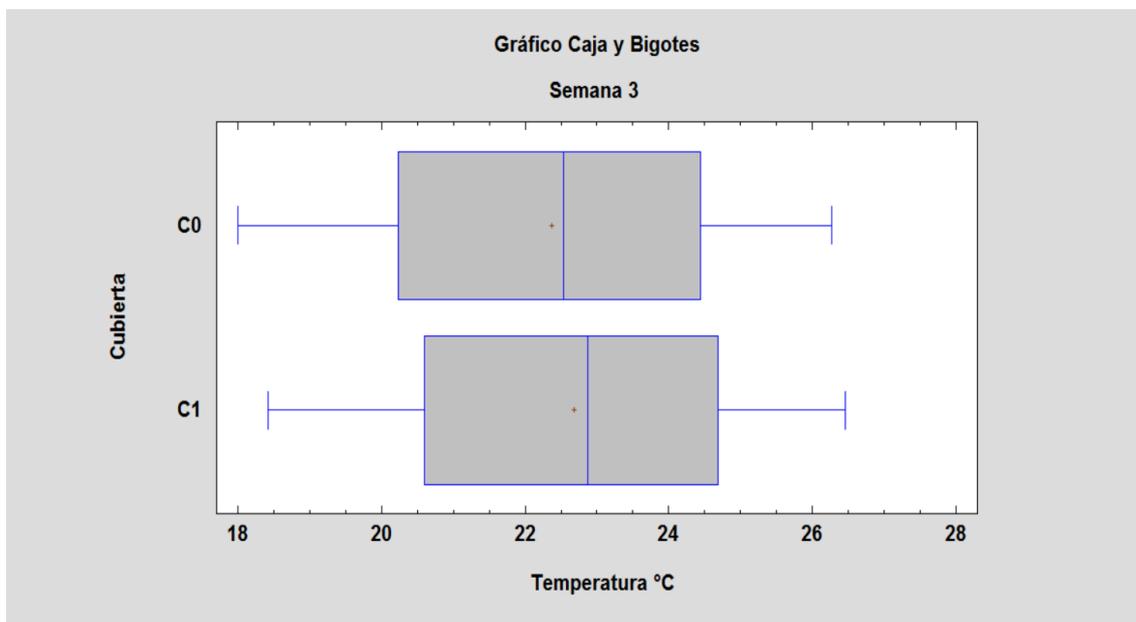


Figura 5.18. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la cubierta de la semana del 18 al 24 de abril 2022.
Fuente: Archivo del autor.

Teniendo en cuenta los datos que se han extraído de las simulaciones también hemos podido elaborar una tabla comparativa (Tabla 5.3) con las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas con la propuesta de cubierta.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio Temperatura (°C)
1	O	24,67	-	17,12	-	21,15
	C1	24,92	1,01%	17,56	2,57%	21,50
2	O	25,83	-	17,58	-	21,10
	C1	26,10	1,05%	18,02	2,50%	21,47
3	O	26,27	-	18,00	-	22,37
	C1	26,45	0,69%	18,41	2,28%	22,68

Tabla 5.3. Tabla comparativa de máximos y mínimos de temperatura entre opciones de cubierta.
Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.12 y 24.69 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 17.56 y 24.92 °C con la opción C1, es decir se logró subir 0.25 grados a la temperatura promedio mínima y 0.44 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, las temperaturas promedios mínimas interiores en estado original mantienen un margen mínimo de diferencia con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.58 y 25.83 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 18.02 y 26.10 °C, con la opción C1.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de febrero y se ubican entre 18 y 26.27 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.18 y 0.41 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas con la opción C1.

Con las propuestas de mejora, según la figura 5.16 el 50% del tiempo de la semana del mes de febrero, las temperaturas están entre 20 y 23 °C aproximadamente; mientras que en el mes de marzo el 50% del tiempo las temperaturas se ubican entre 19.5 y 23 °C aproximadamente según la figura 5.17; finalmente en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 20.5 y 25 °C aproximadamente según la figura 5.18.

El incremento que se obtuvo con respecto a la temperatura máxima es 1,01% de ganancia con respecto a la cubierta original, y con respecto a la temperatura mínima se obtuvo la ganancia de 2,57% con respecto al cerramiento original.

5.4. ANÁLISIS EN COMBINACIONES

Combinación CBN 1

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN1:

- CBN 1.1.- SATE 5, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 1.2.- SATE 5, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 1.3.- SATE 5, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.
- CBN 1.4.- SATE 10, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 1.5.- SATE 10, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 1.6.- SATE 10, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.19 - 5.24) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 1 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

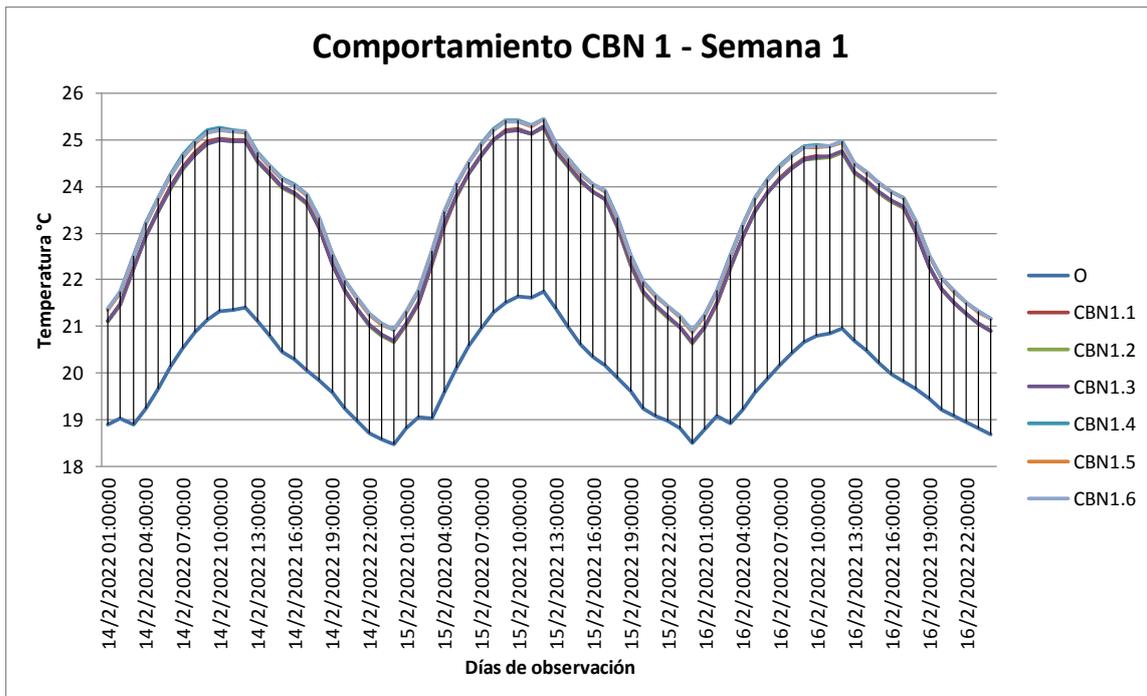


Figura 5.19. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN1 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

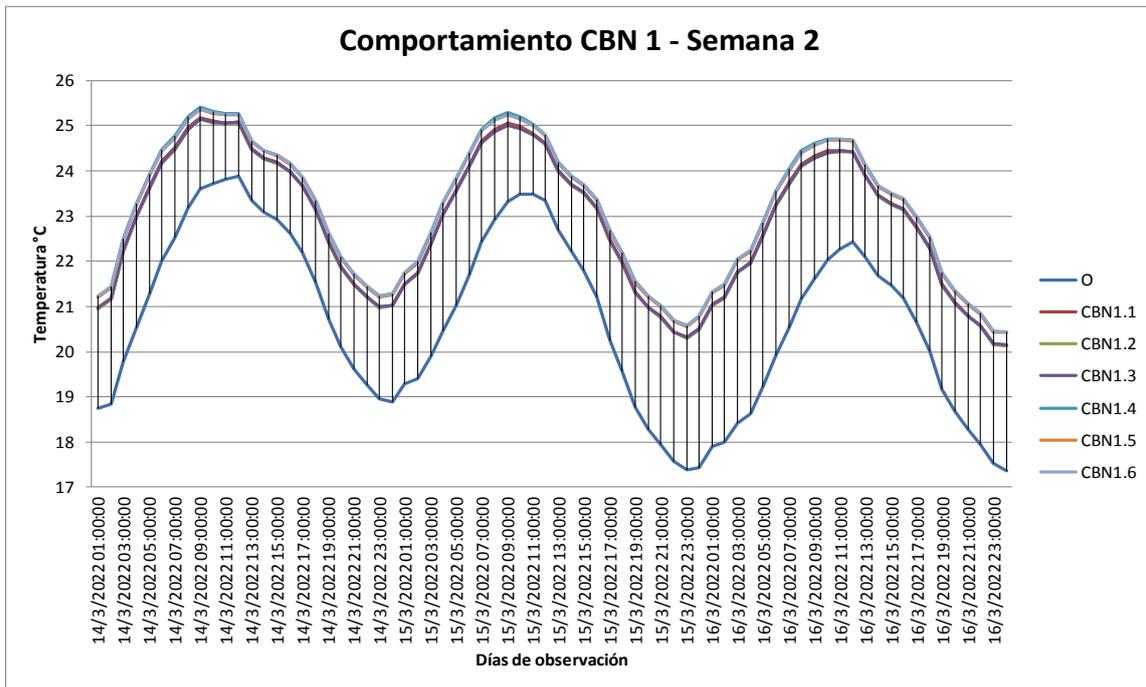


Figura 5.20. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN1 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

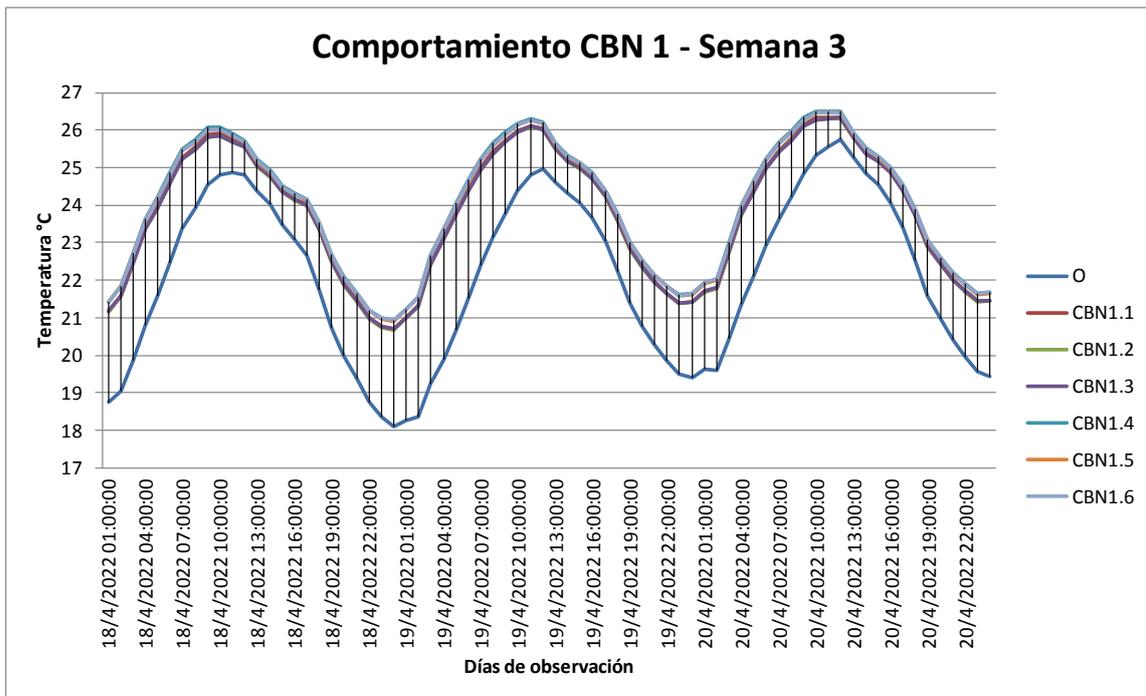


Figura 5.21. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN1 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

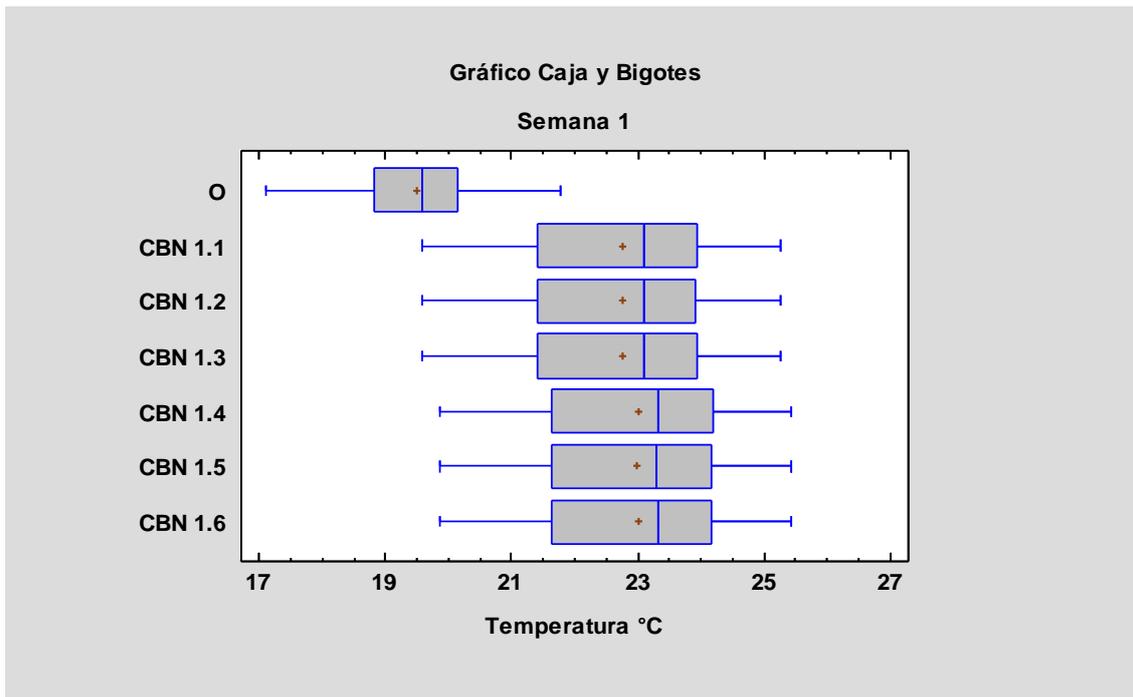


Figura 5.22. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 1 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

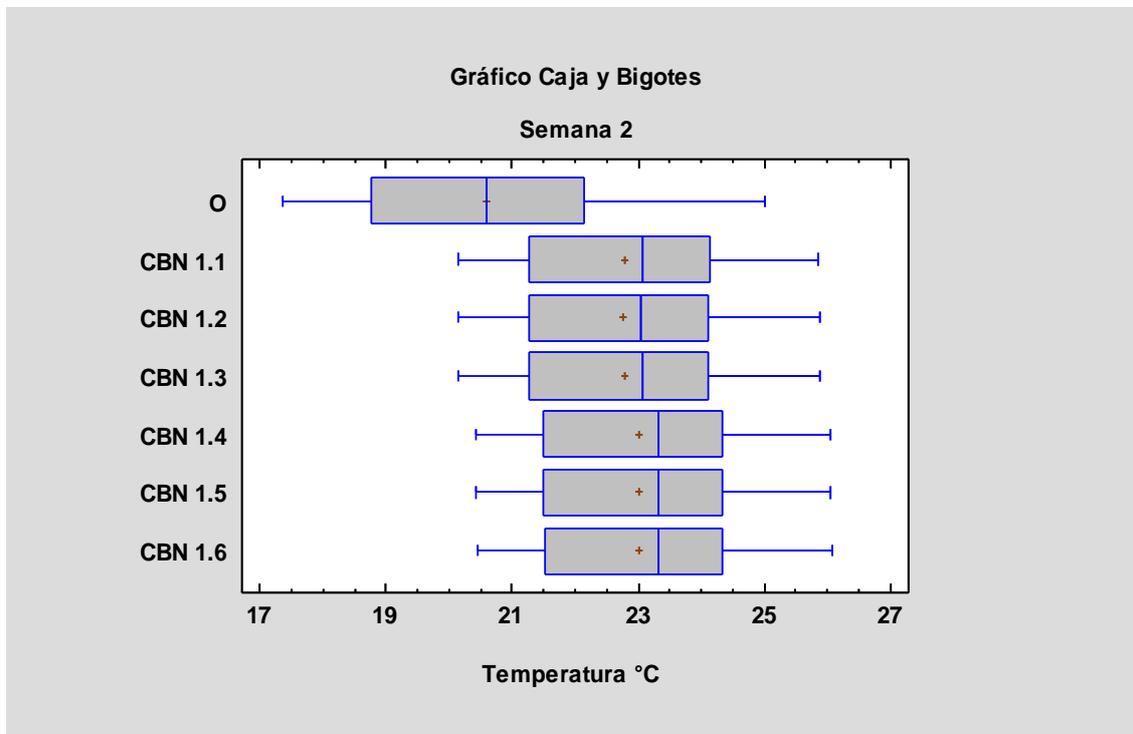


Figura 5.23. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 1 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

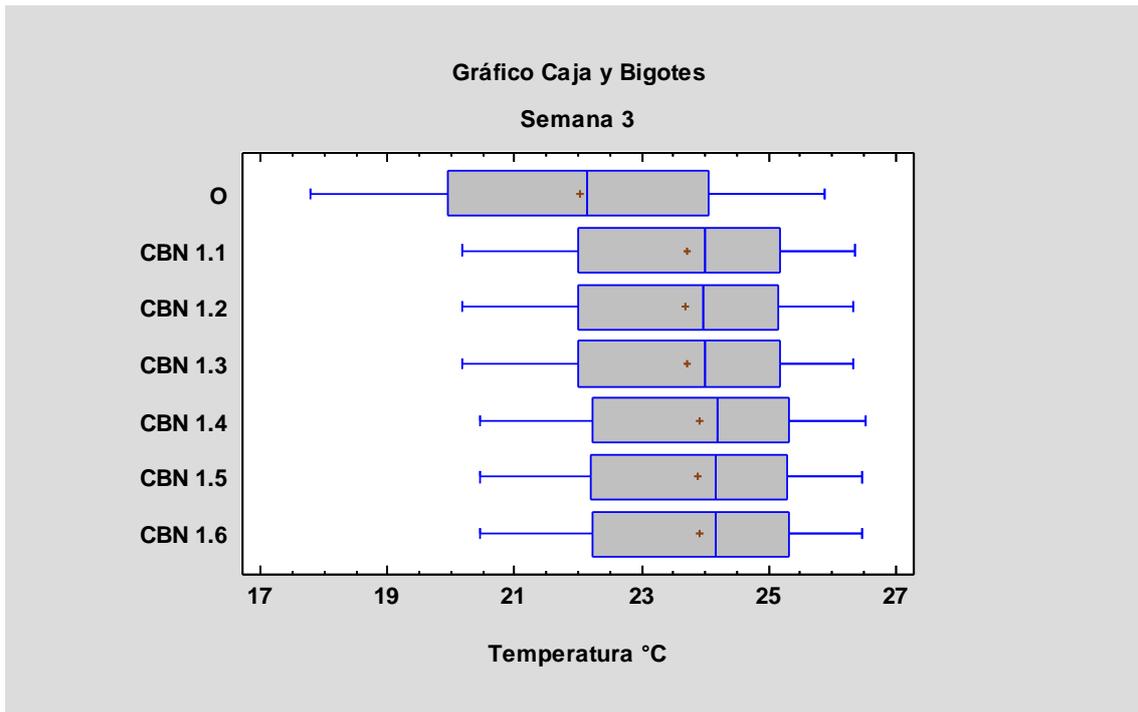


Figura 5.24. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 1 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.4), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.22 y 5.23, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 21.5 y 24.5 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 22 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.24.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación presentan un buen desenvolvimiento en alcanzar el rango de temperaturas de confort entre los 20 y 26 °C.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 1.4, mientras que la menor respuesta se obtuvo con la combinación CBN 1.2 en la semana del mes de febrero.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN1.1	25,27	16,13%	19,58	14,50%	22,83
	CBN1.2	25,26	16,08%	19,57	14,44%	22,81
	CBN1.3	25,27	16,13%	19,59	14,56%	22,83
	CBN1.4	25,44	16,91%	19,86	16,14%	23,07
	CBN1.5	25,42	16,82%	19,85	16,08%	23,05
	CBN1.6	25,44	16,91%	19,87	16,20%	23,07
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN1.1	26,24	3,06%	20,14	16,01%	22,89
	CBN1.2	26,22	2,99%	20,13	15,96%	22,87
	CBN1.3	26,23	3,02%	20,15	16,07%	22,89
	CBN1.4	26,40	3,69%	20,43	17,68%	23,13
	CBN1.5	26,38	3,61%	20,42	17,63%	23,11
	CBN1.6	26,39	3,65%	20,45	17,80%	23,12
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN1.1	26,35	1,82%	20,17	13,44%	23,79
	CBN1.2	26,32	1,70%	20,16	13,39%	23,76
	CBN1.3	26,32	1,70%	20,17	13,44%	23,77
	CBN1.4	26,52	2,47%	20,45	15,02%	23,99
	CBN1.5	26,47	2,28%	20,44	14,96%	23,96
	CBN1.6	26,47	2,28%	20,46	15,07%	23,97

Tabla 5.4. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 1 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 19.57 y 25.44 °C, es decir se logró subir 2.77 grados a la temperatura promedio mínima y 3.68 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 20.13 y 26.40 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.94 y 3.09 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Combinación CBN 2

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN2:

- CBN 2.1.- Lana de oveja, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 2.2.- Lana de oveja, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 2.3.- Lana de oveja, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.25 - 5.30) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 2 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

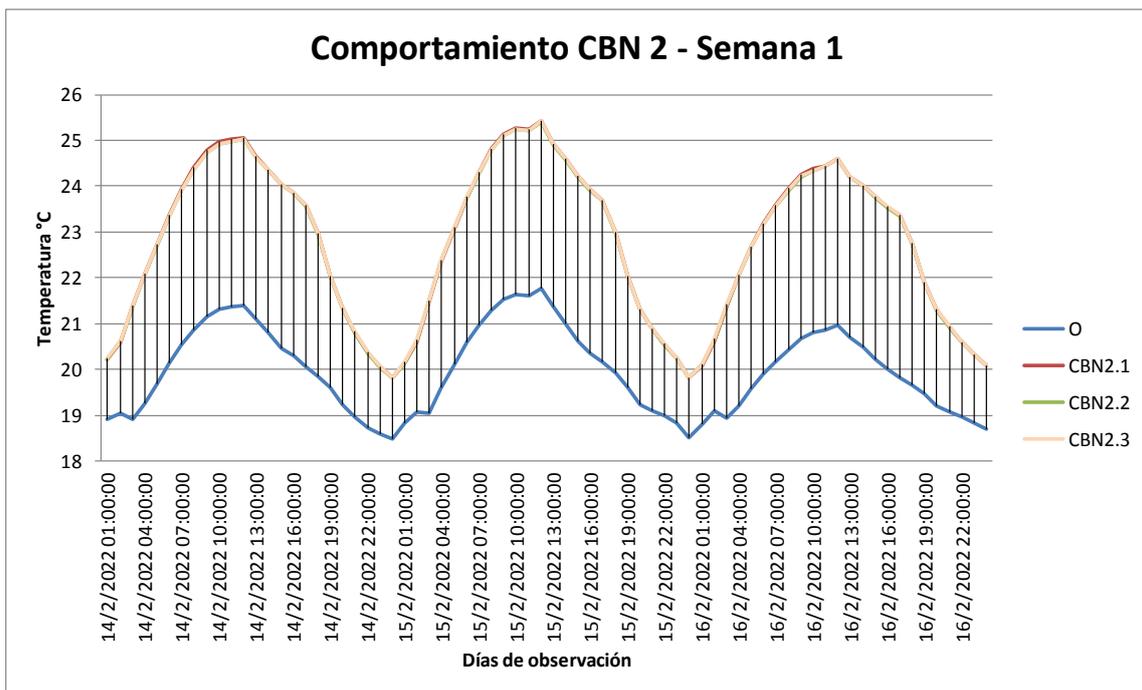


Figura 5.25. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 2 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

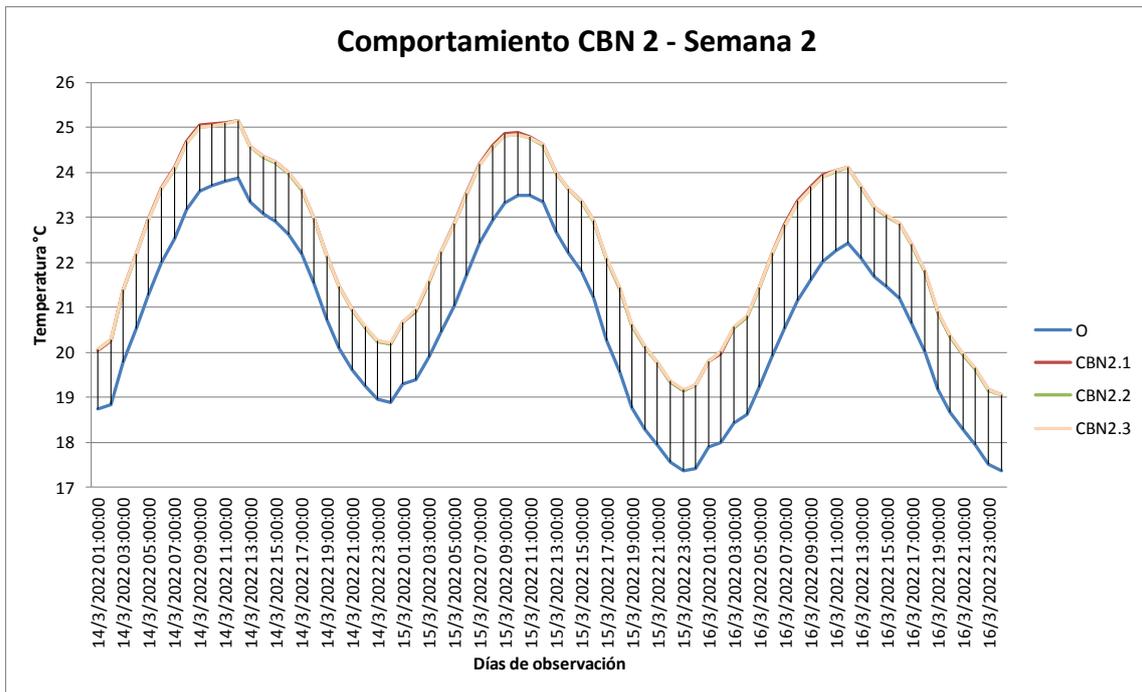


Figura 5.26. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN2 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

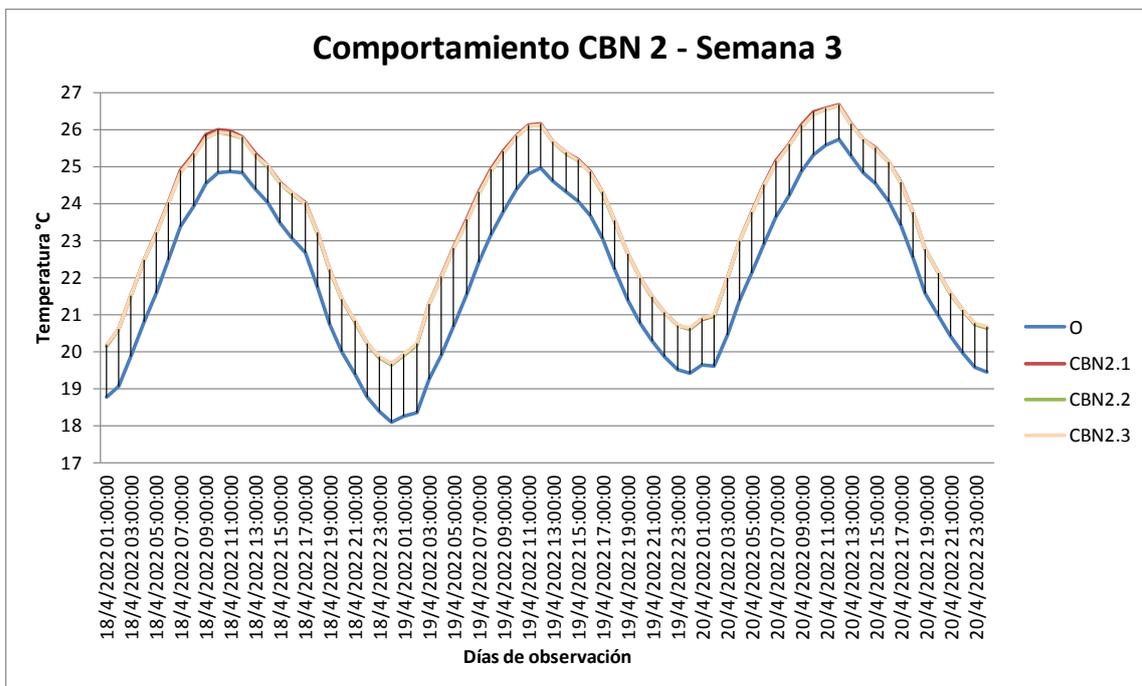


Figura 5.27. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN2 - Semana del 18 al 24 de abril. Fuente: Archivo del autor.

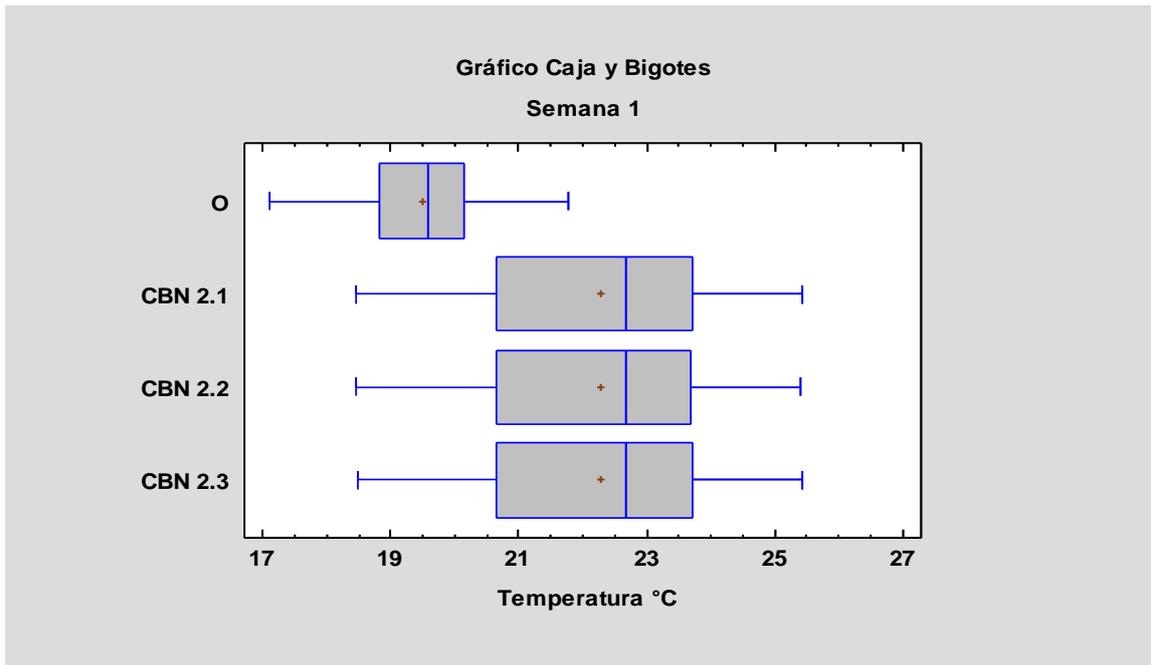


Figura 5.28. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 2 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

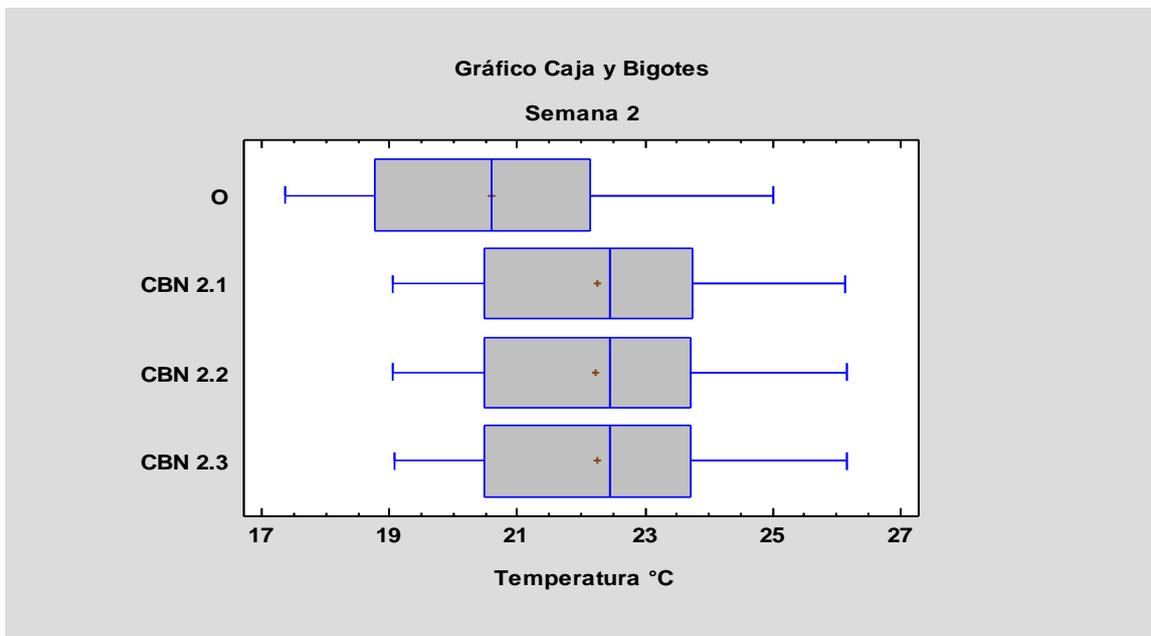


Figura 5.29. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 2 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

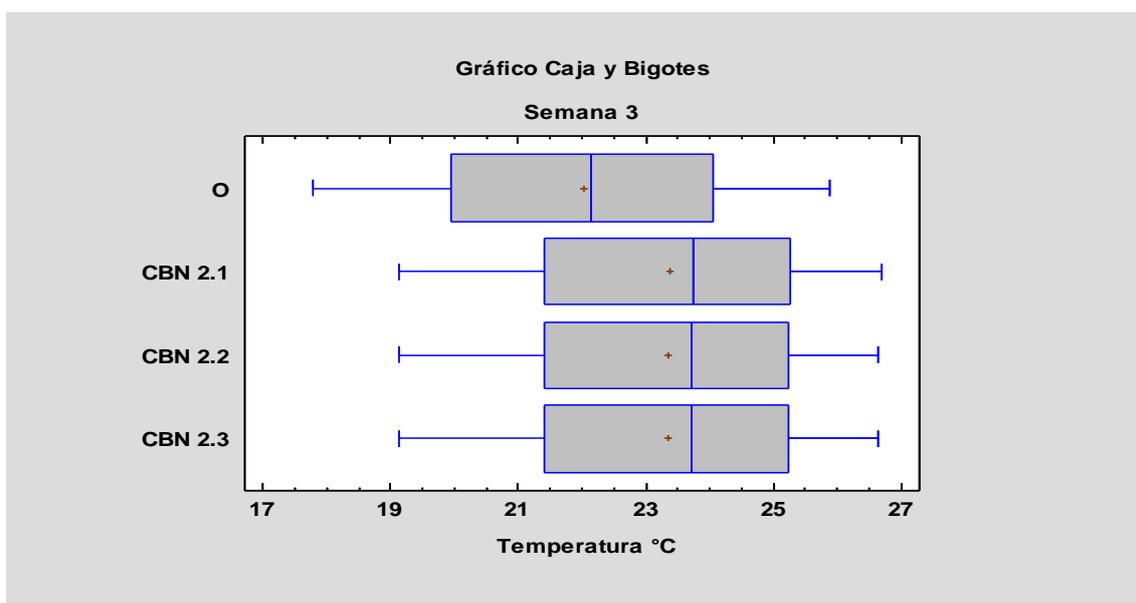


Figura 5.30. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 2 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.11), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN2.1	25,43	16,87%	18,47	8,01%	22,37
	CBN2.2	25,41	16,77%	18,47	8,01%	22,36
	CBN2.3	25,42	16,82%	18,48	8,07%	22,37
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN2.1	26,50	4,08%	19,05	9,74%	22,39
	CBN2.2	26,49	4,05%	19,05	9,74%	22,37
	CBN2.3	26,50	4,08%	19,06	9,79%	22,39
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN2.1	26,69	3,13%	19,12	7,54%	23,46
	CBN2.2	26,65	2,98%	19,12	7,54%	23,43
	CBN2.3	26,65	2,98%	19,13	7,59%	23,44

Tabla 5.5. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 2 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 18.48 y 25.43 °C, es decir se logró subir 1.38 grados a la temperatura promedio mínima y 3.67 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 19.05 y 26.50 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.81 y 1.35 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.28 y 5.29, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20.5 y 24 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.30.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no presentan un buen desenvolvimiento en temperaturas bajas.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 2.1, mientras que la menor respuesta se obtuvo con la combinación CBN 2.2 en la semana del mes de febrero.

Combinación CBN 3

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN3:

- CBN 3.1.- Lana de roca, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 3.2.- Lana de roca, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 3.3.- Lana de roca, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.31 - 5.36) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 3 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

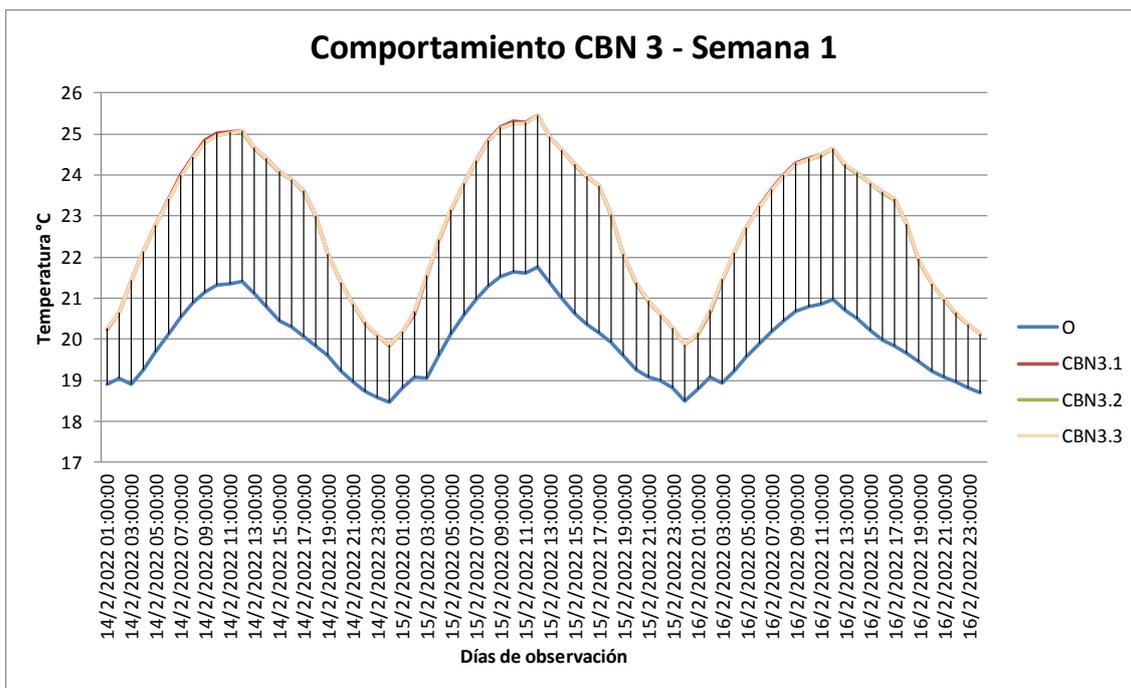


Figura 5.31. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 3 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

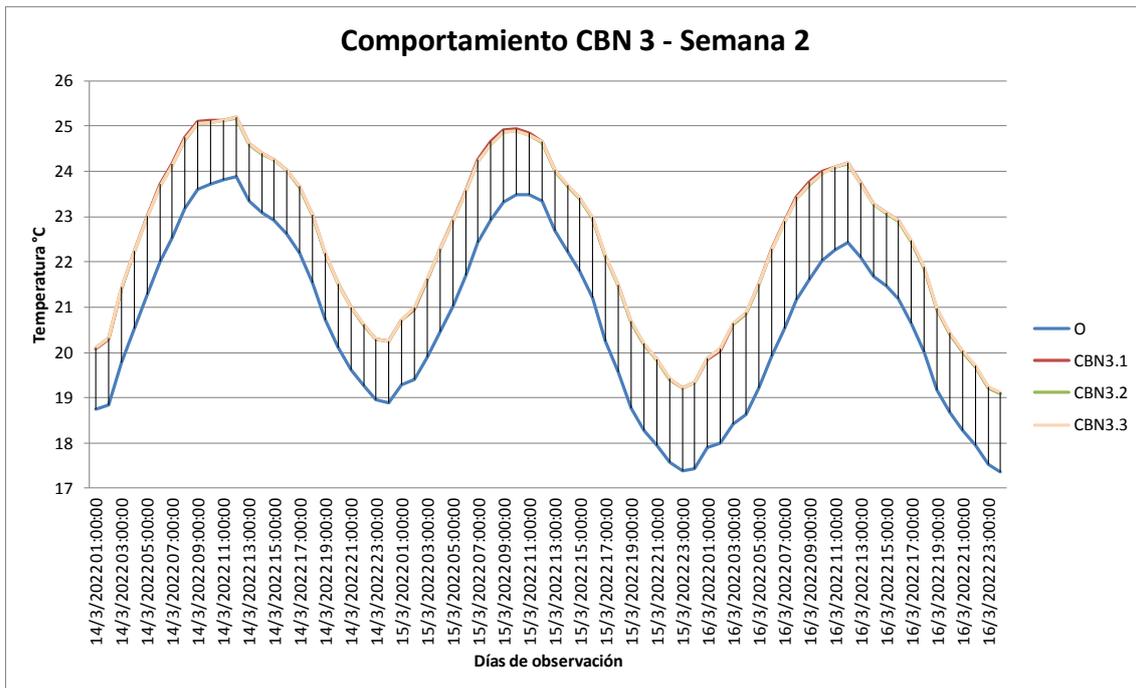


Figura 5.32. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 3 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

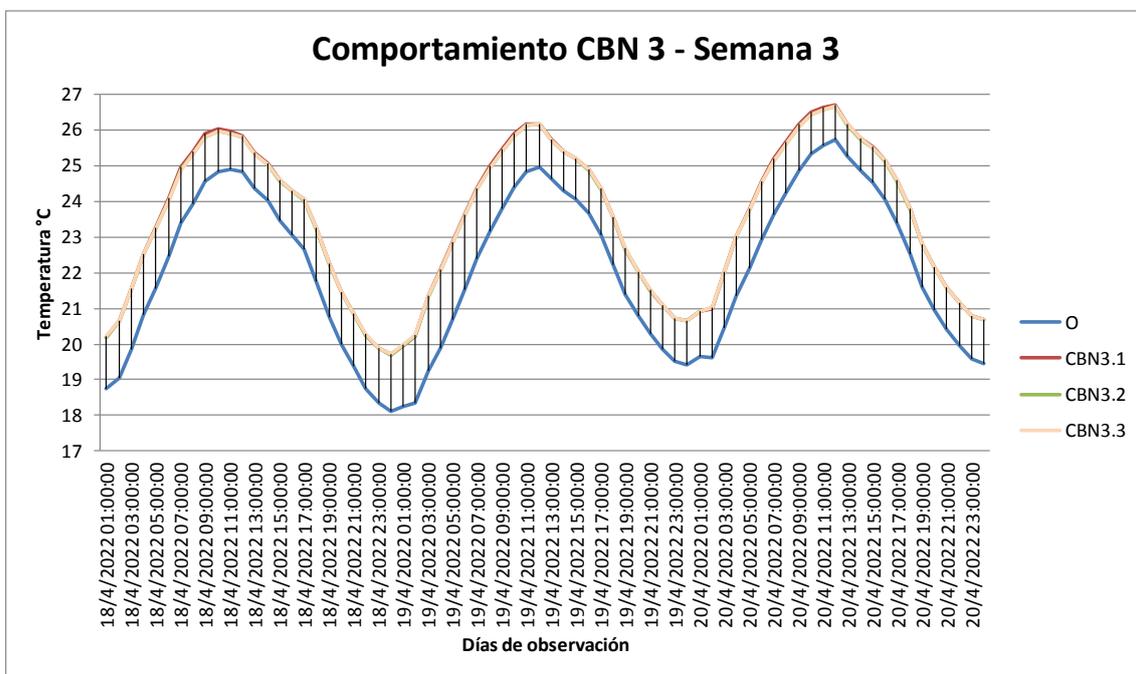


Figura 5.33. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 3 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

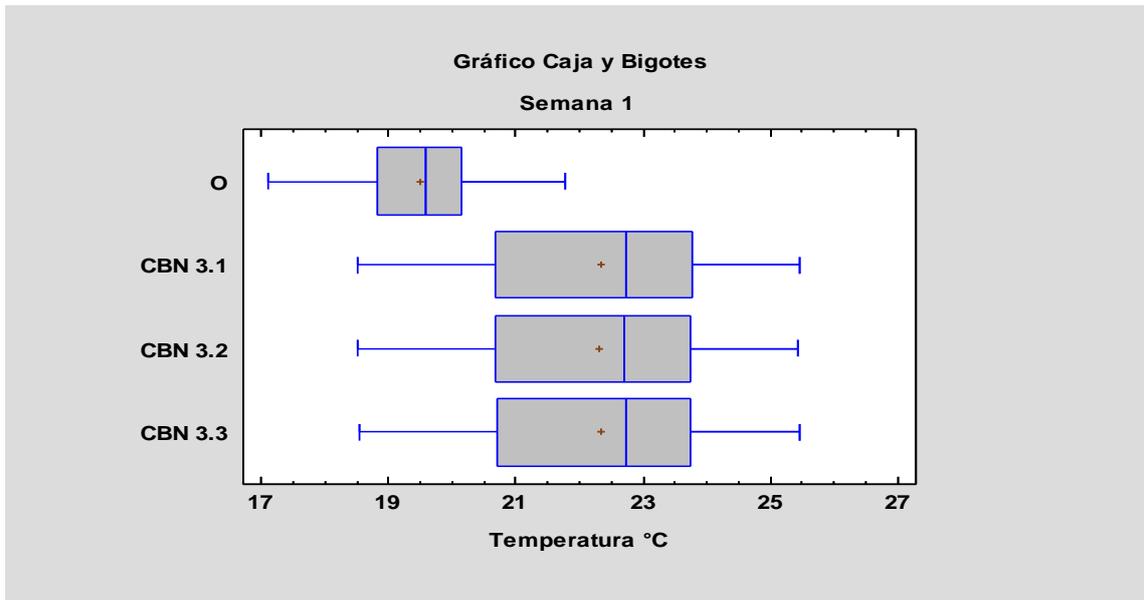


Figura 5.34. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 3 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

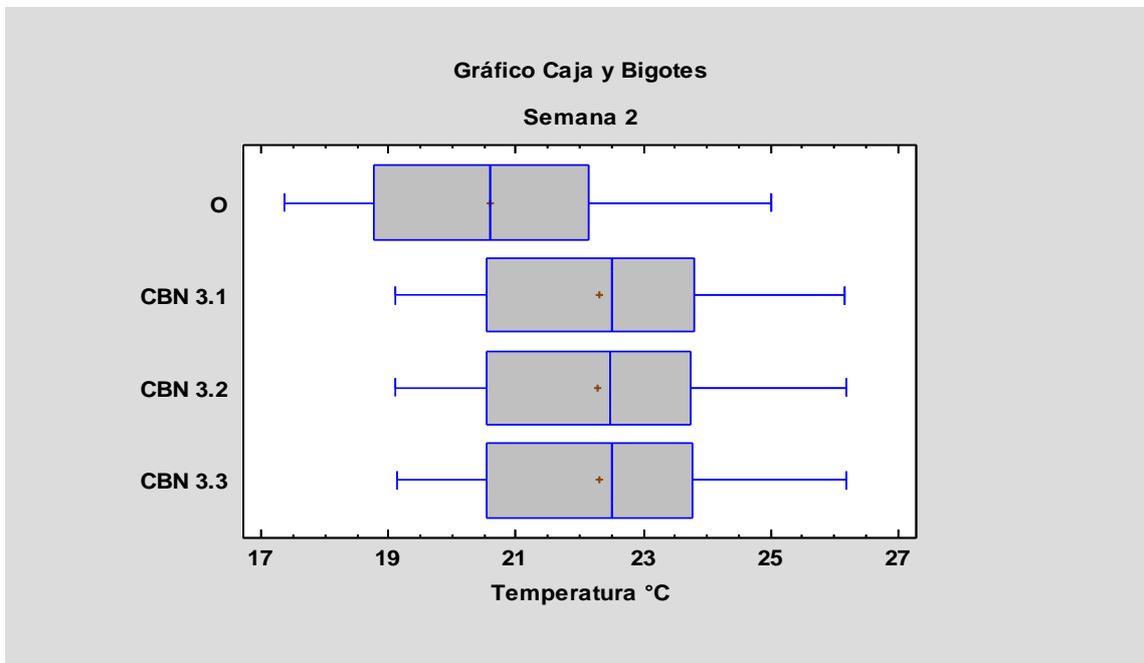


Figura 5.35. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 3 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

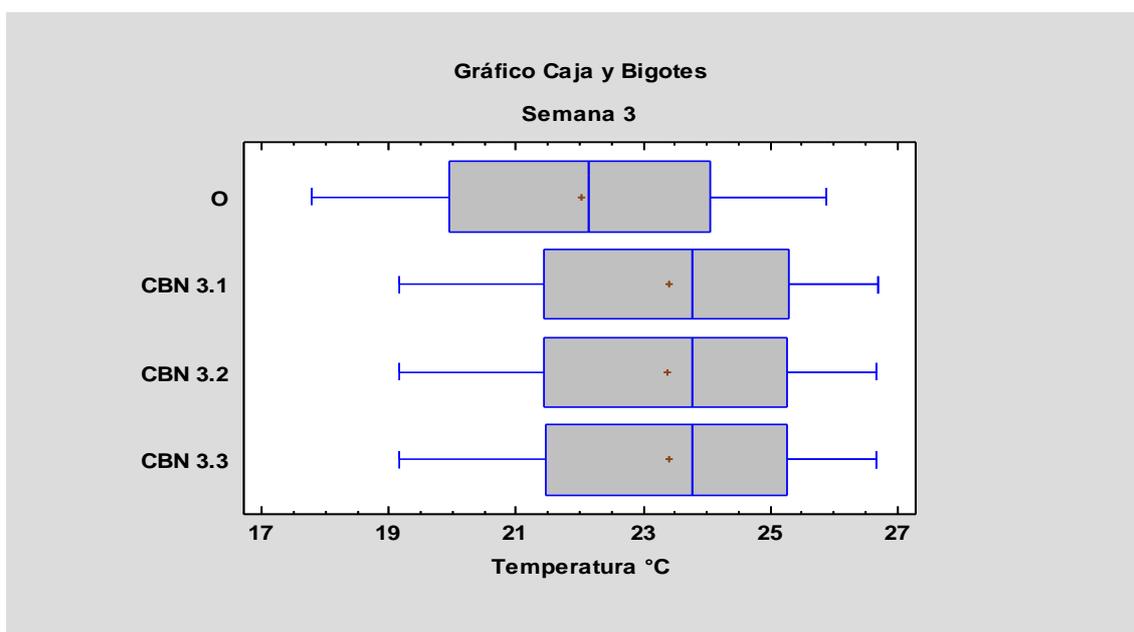


Figura 5.36. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 3 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.6), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatur a Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatur a Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN3.1	25,46	17,00%	18,52	8,30%	22,42
	CBN3.2	25,44	16,91%	18,52	8,30%	22,41
	CBN3.3	25,45	16,96%	18,53	8,36%	22,42
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN3.1	26,52	4,16%	19,10	10,02%	22,44
	CBN3.2	26,52	4,16%	19,10	10,02%	22,42
	CBN3.3	26,53	4,2%	19,12	10,14%	22,44
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN3.1	26,71	3,21%	19,16	7,76%	23,49
	CBN3.2	26,67	3,05%	19,16	7,76%	23,47
	CBN3.3	26,67	3,05%	19,17	7,82%	23,48

Tabla 5.6. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 3 en las tres semanas de observación.
Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 18.52 y 25.46 °C, es decir se logró subir 1.43 grados a la temperatura promedio mínima y 3.70 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 19.10 y 26.53 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.79 y 1.39 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.34 y 5.35, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20.5 y 24 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.36.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no presentan un buen desenvolvimiento en temperaturas bajas.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 3.1, mientras que la menor respuesta se obtuvo con la combinación CBN 3.2 en la semana del mes de febrero.

Combinación CBN 4

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN4:

- CBN 4.1.- Lana de vidrio, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 4.2.- Lana de vidrio, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 4.3.- Lana de vidrio, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.37 - 5.42) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 4 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

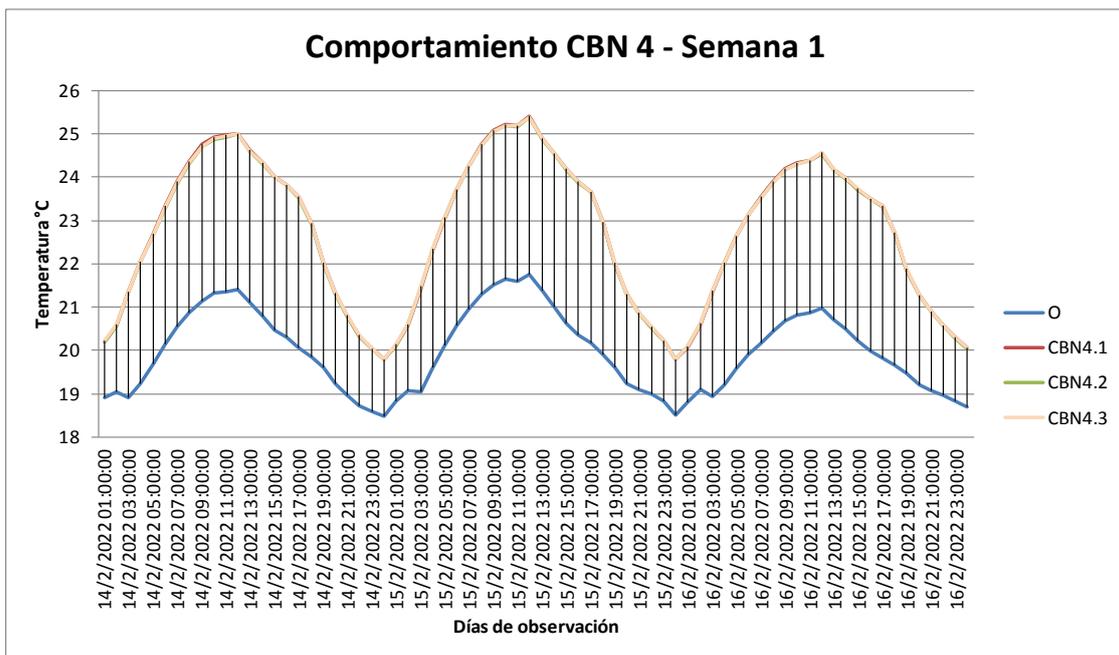


Figura 5.37. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 4 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

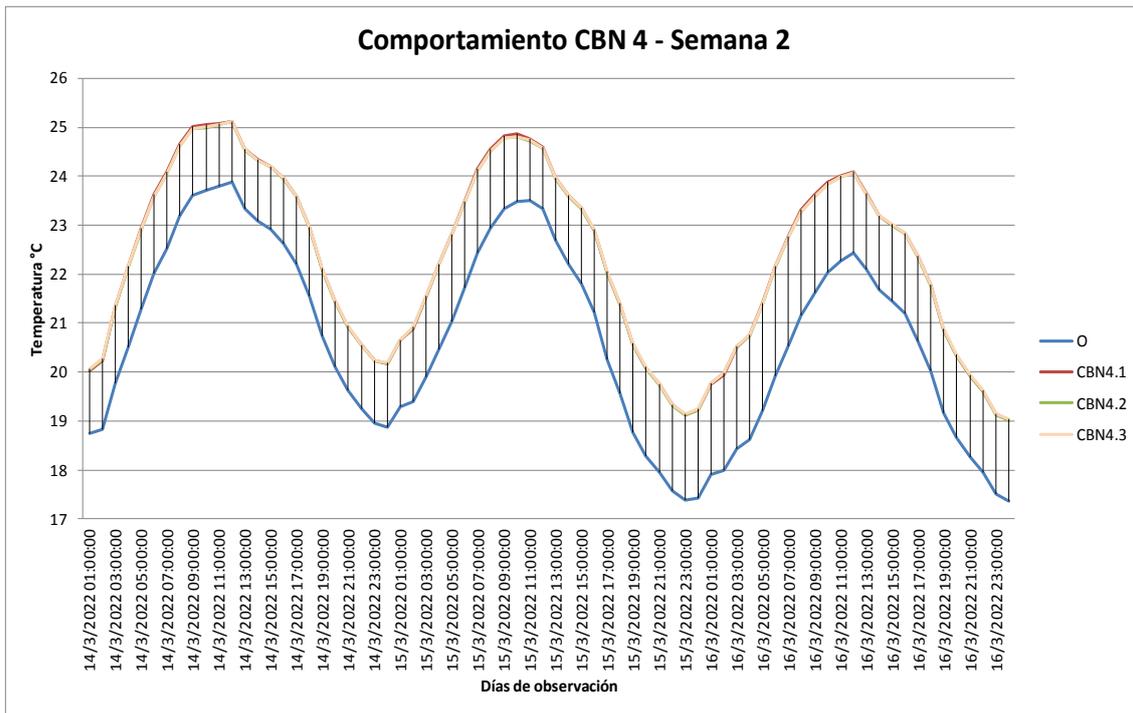


Figura 5.38. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 4 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

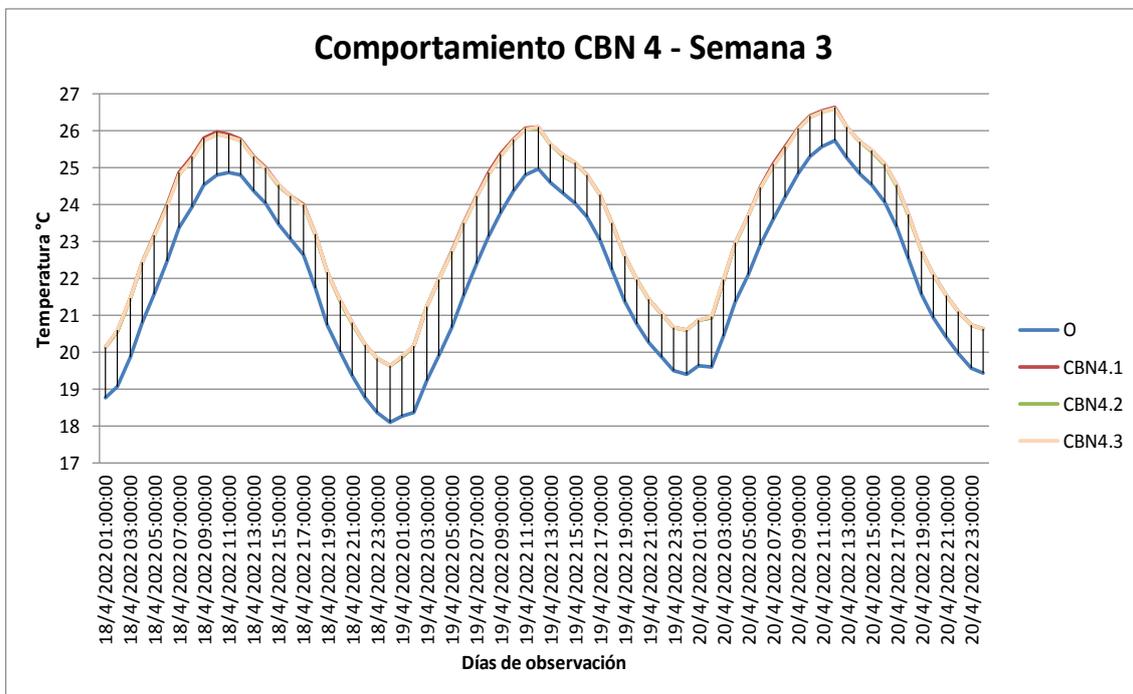


Figura 5.39. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 4 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

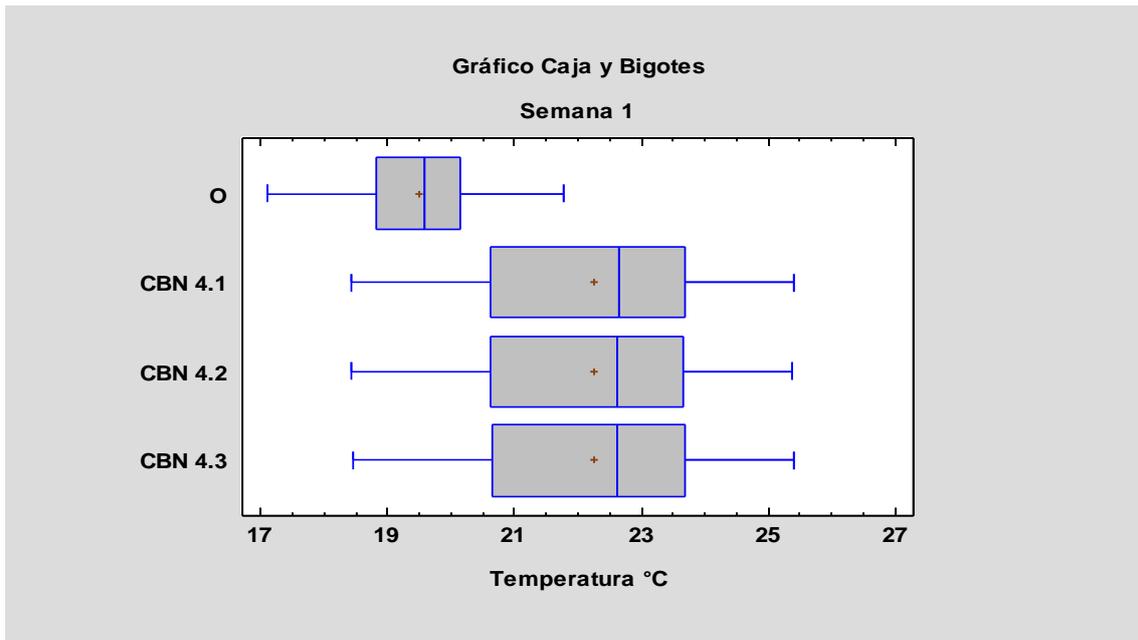


Figura 5.40. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 4 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

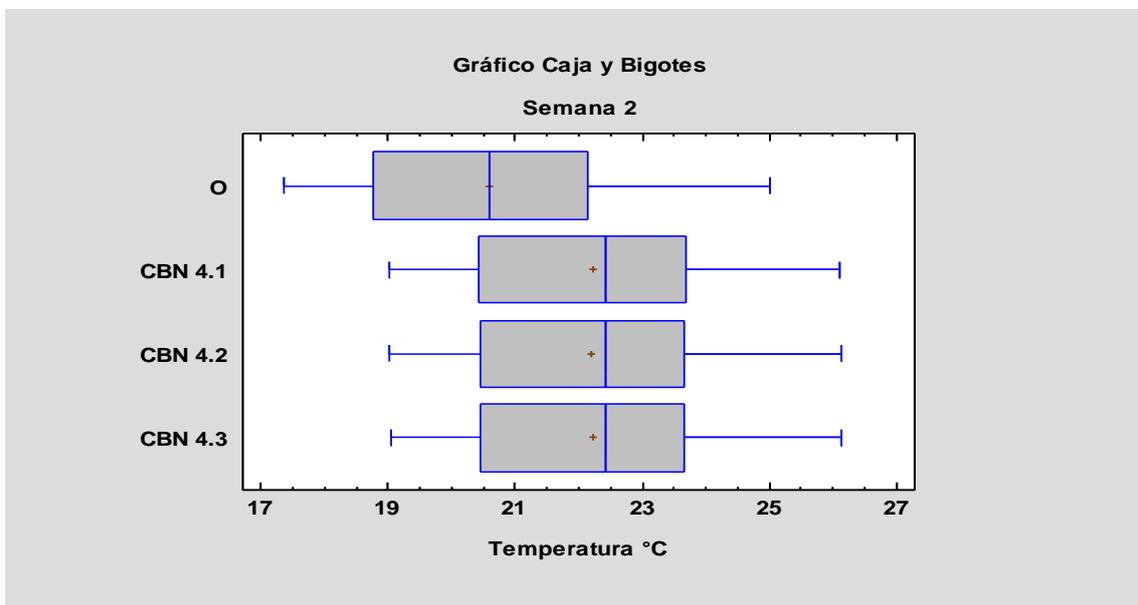


Figura 5.41. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 4 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

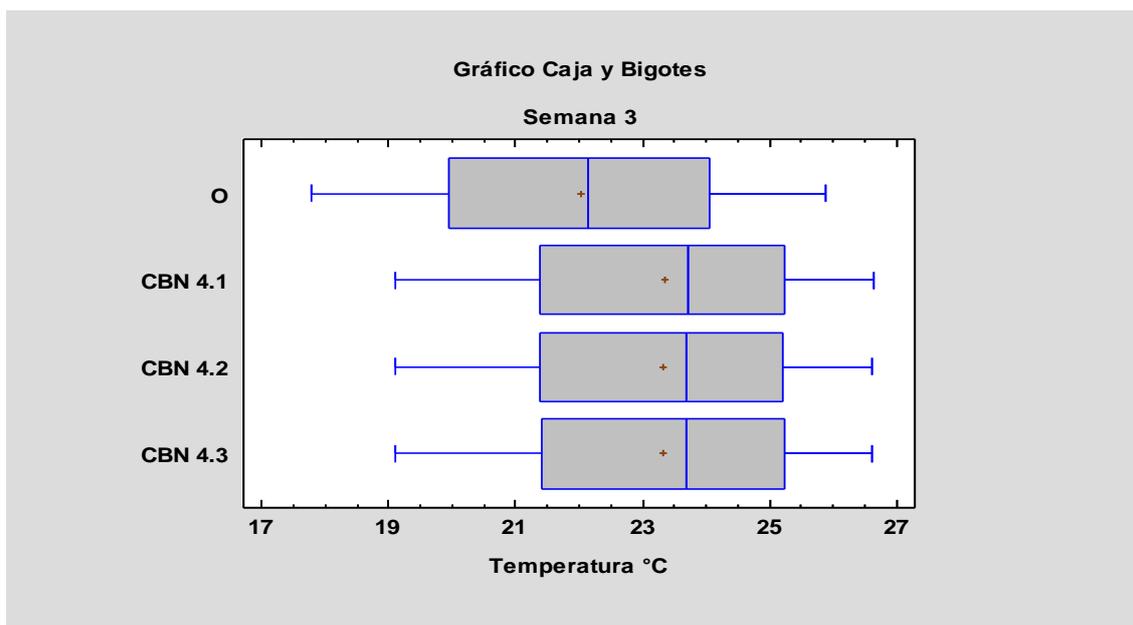


Figura 5.42. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 4 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.7), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN4.1	25,40	16,73%	18,44	7,84%	22,34
	CBN4.2	25,38	16,64%	18,44	7,84%	22,33
	CBN4.3	25,39	16,68%	18,45	7,89%	22,34
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN4.1	26,46	3,93%	19,02	9,56%	22,35
	CBN4.2	26,46	3,93%	19,02	9,56%	22,34
	CBN4.3	26,47	3,97%	19,03	9,62%	22,35
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN4.1	26,65	2,98%	19,10	7,42%	23,43
	CBN4.2	26,62	2,86%	19,10	7,42%	23,41
	CBN4.3	26,62	2,86%	19,11	7,48%	23,41

Tabla 5.7. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 4 en las tres semanas de observación.
Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 18.44 y 25.40 °C, es decir se logró subir 1.35 grados a la temperatura promedio mínima y 3.64 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 19.02 y 26.47 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.77 y 1.33 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.40 y 5.41, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20.5 y 24 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.42.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no presentan un buen desenvolvimiento en temperaturas bajas.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 4.1, mientras que la menor respuesta se obtuvo con la combinación CBN 4.2 en la semana del mes de febrero.

Combinación CBN 5

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN5:

- CBN 5.1.- SATE de 5 cm y Lana de vidrio en cubierta.
- CBN 5.2.- SATE de 10 cm y Lana de vidrio en cubierta.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.43 - 5.48) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 5 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

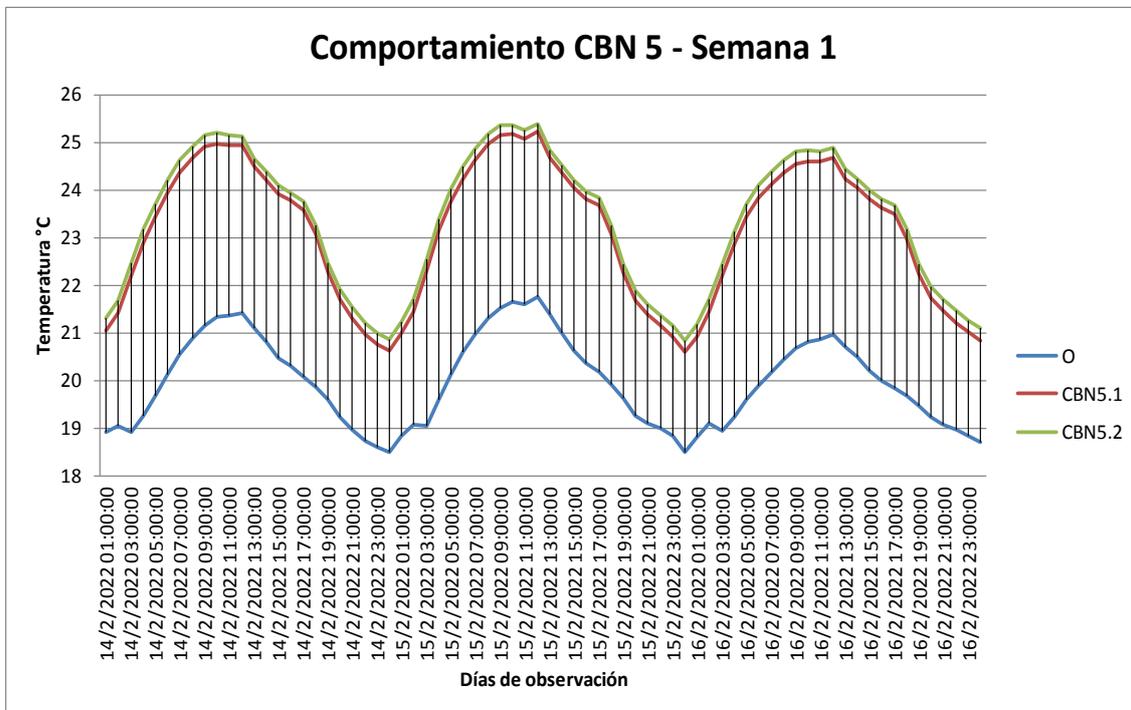


Figura 5.43. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 5 - Semana del 14 al 20 de febrero.

Fuente: Archivo del autor.

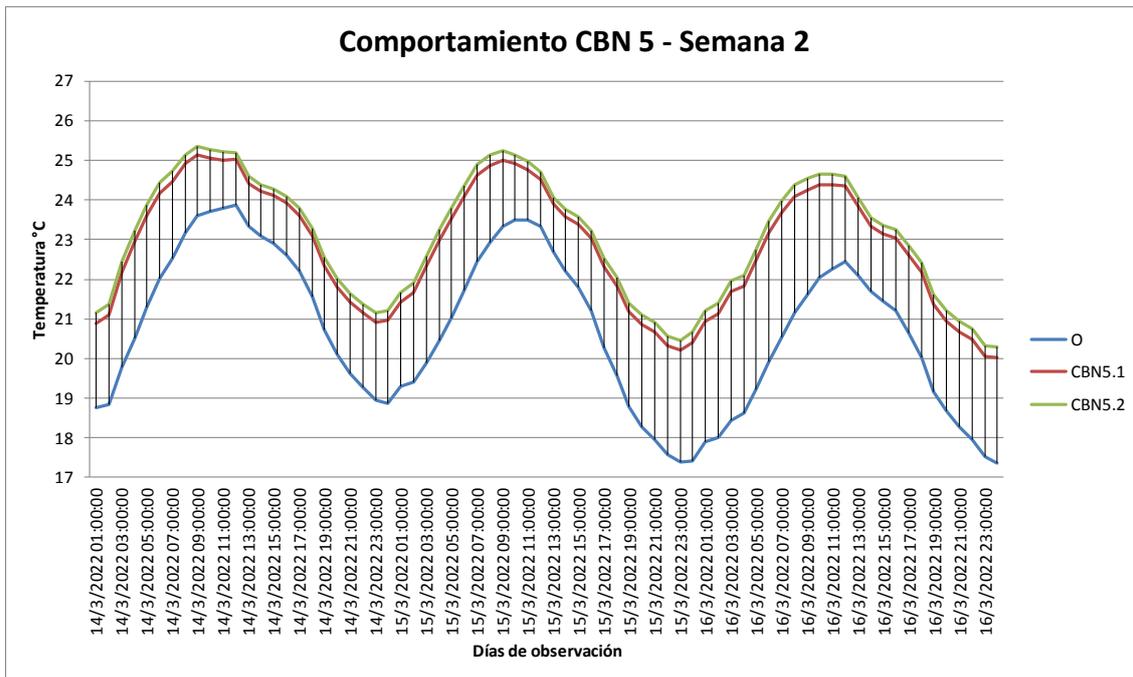


Figura 5.44. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 5 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

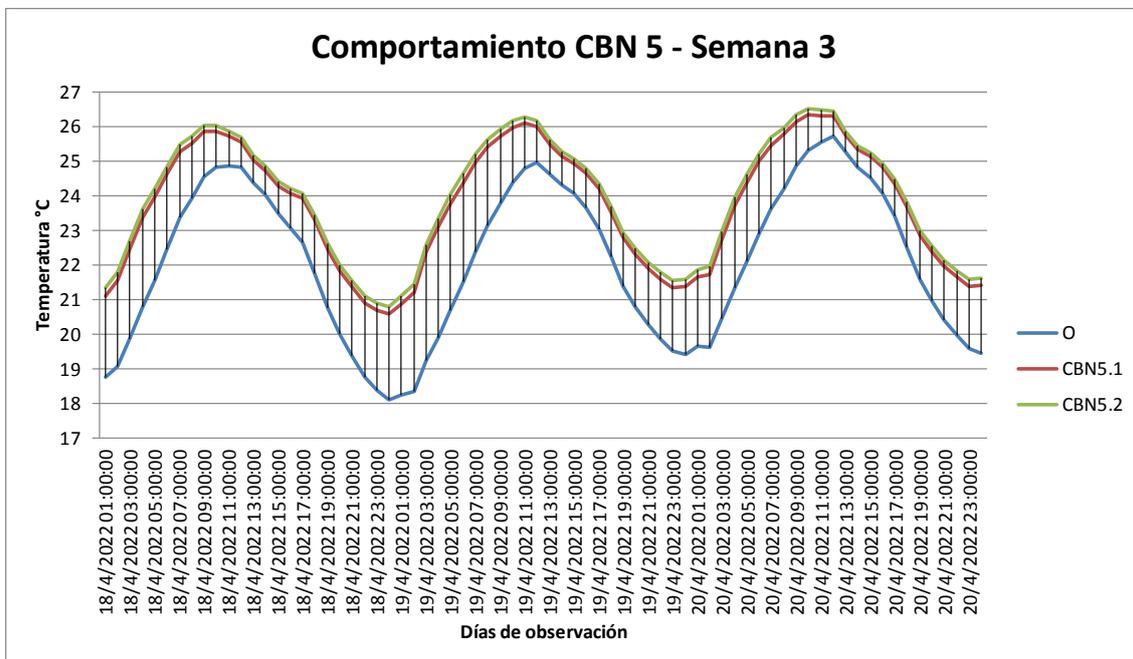


Figura 5.45. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 5 - Semana del 18 al 24 de abril. Fuente: Archivo del autor.

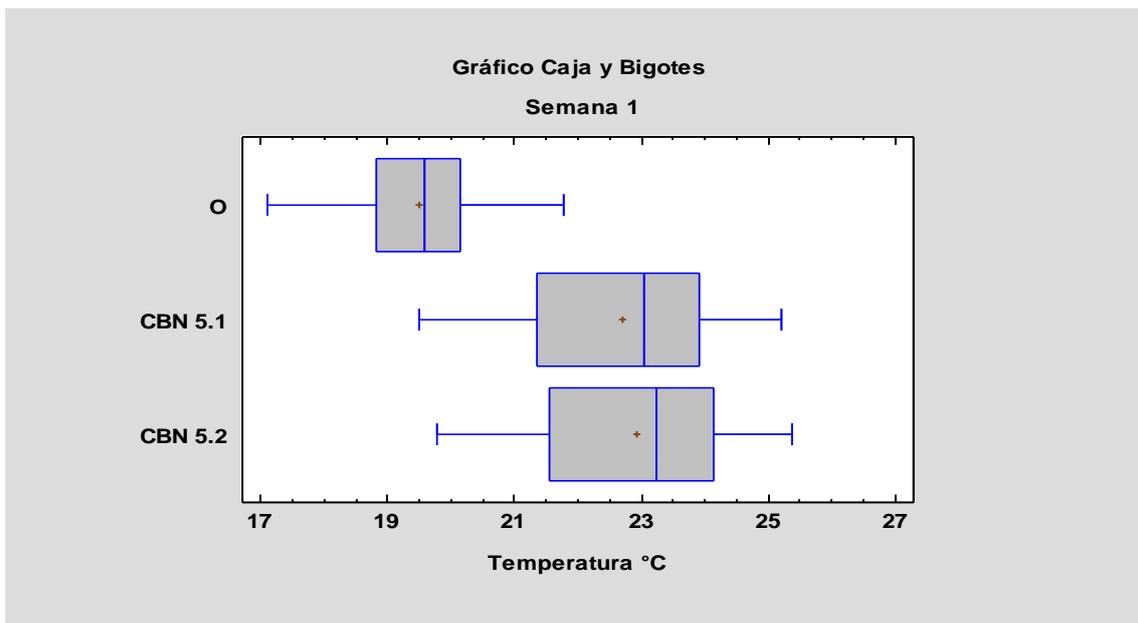


Figura 5.46. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 5 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

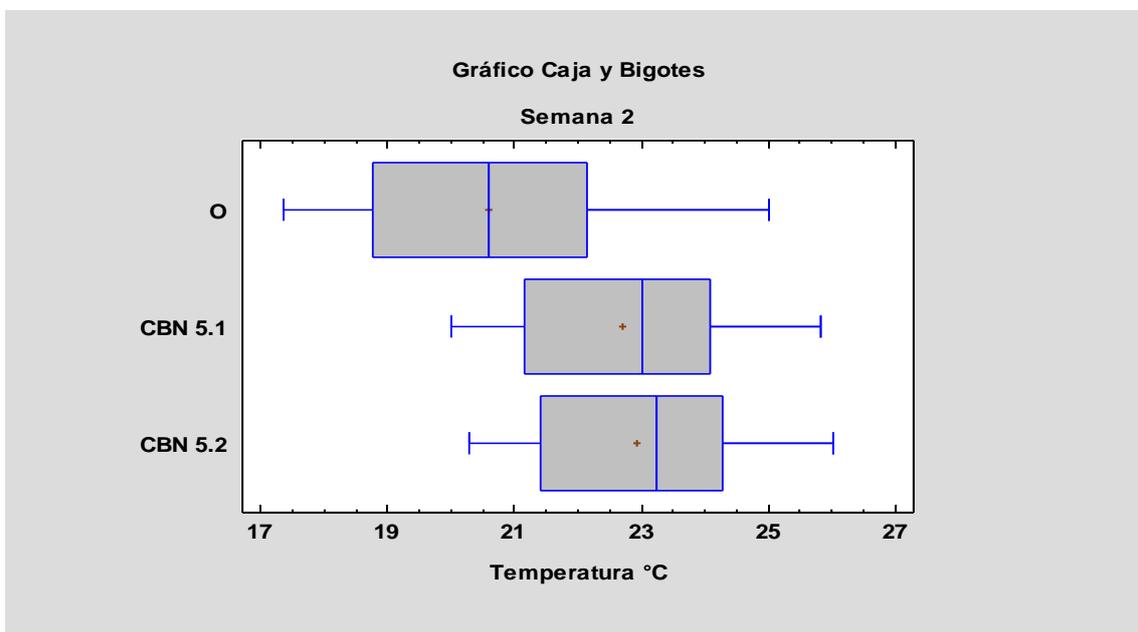


Figura 5.47. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 5 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

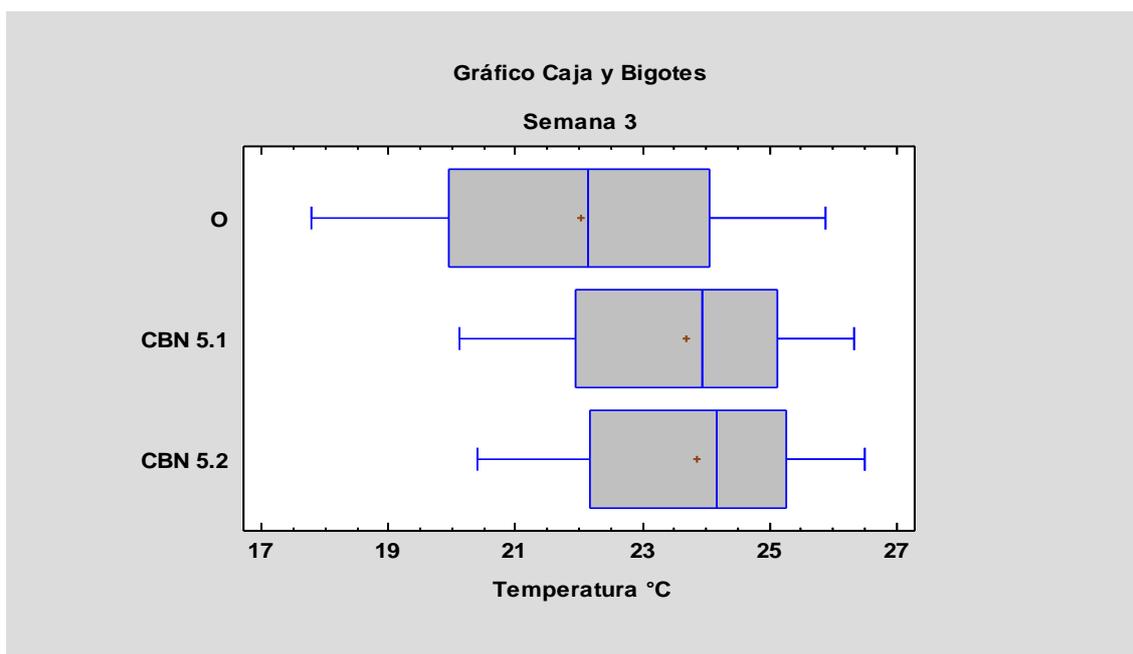


Figura 5.48. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 5 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.8), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN5.1	25,22	15,90%	19,50	14,04%	22,77
	CBN5.2	25,38	16,64%	19,78	15,67%	23,00
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN5.1	26,20	2,91%	20,02	15,32%	22,81
	CBN5.2	26,36	3,53%	20,21	16,42%	23,04
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN5.1	26,34	1,78%	20,11	13,1%	23,75
	CBN5.2	26,51	2,43%	20,39	14,68%	23,94

Tabla 5.8. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 5 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 19.50 y 25.38 °C, es decir se logró subir 2.68 grados a la temperatura promedio mínima y 3.62 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 20.02 y 26.36 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.63 y 2.61 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.46 y 5.47, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 21 y 24 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 22 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.48.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación presentan un buen desenvolvimiento en alcanzar el rango de temperaturas de confort entre los 20 y 26 °C.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 5.2, mientras que la menor respuesta se obtuvo con la combinación CBN 5.1 en la semana del mes de febrero.

Combinación CBN 6

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN6:

CBN 6.- Lana de Oveja en fachada y Lana de Vidrio en cubierta.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.49 - 5.54) para observar el comportamiento de la combinación CBN 6 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

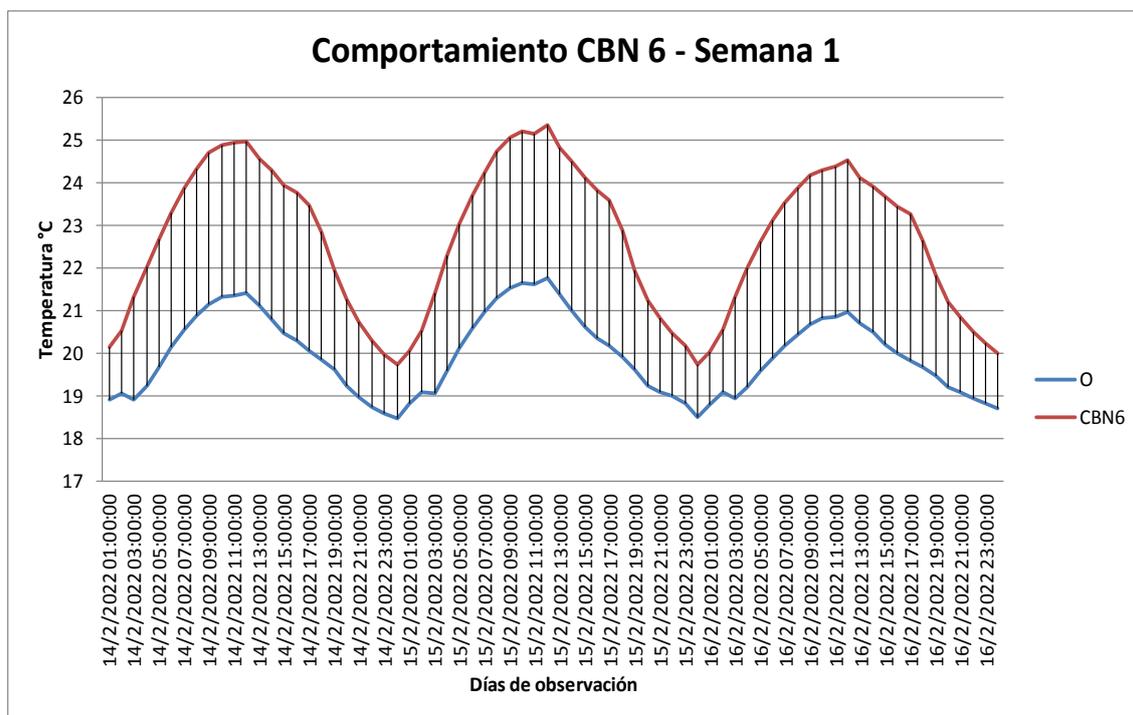


Figura 5.49. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 6 - Semana del 14 al 20 de febrero.

Fuente: Archivo del autor.

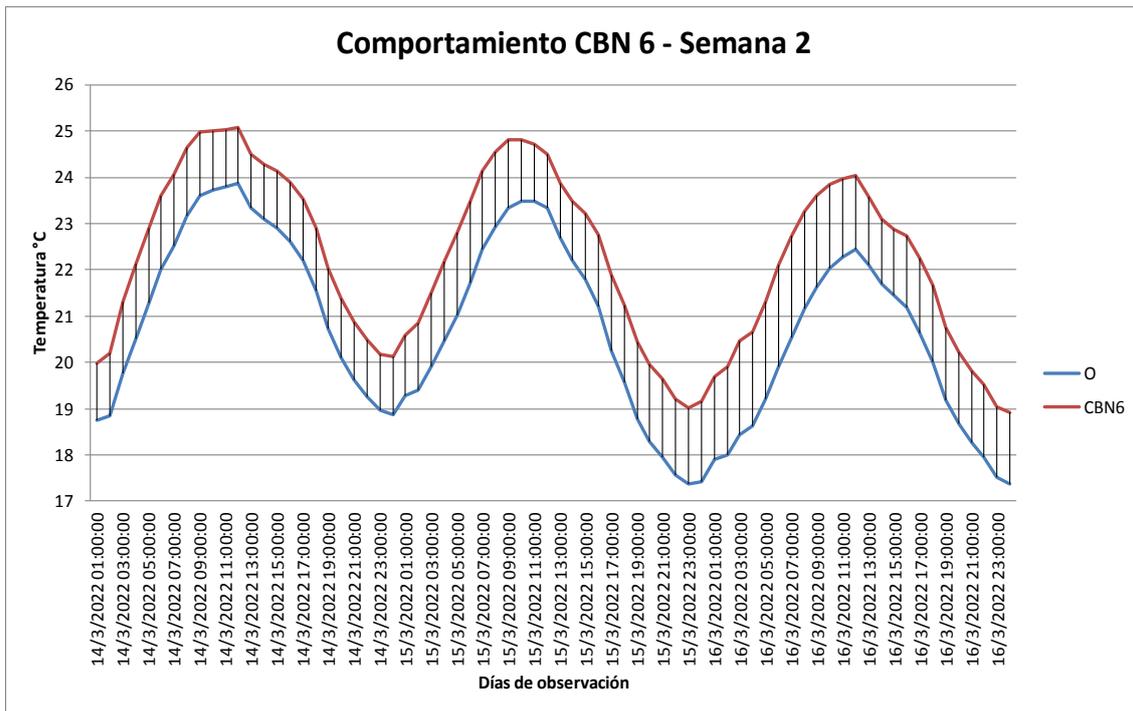


Figura 5.50. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 6 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

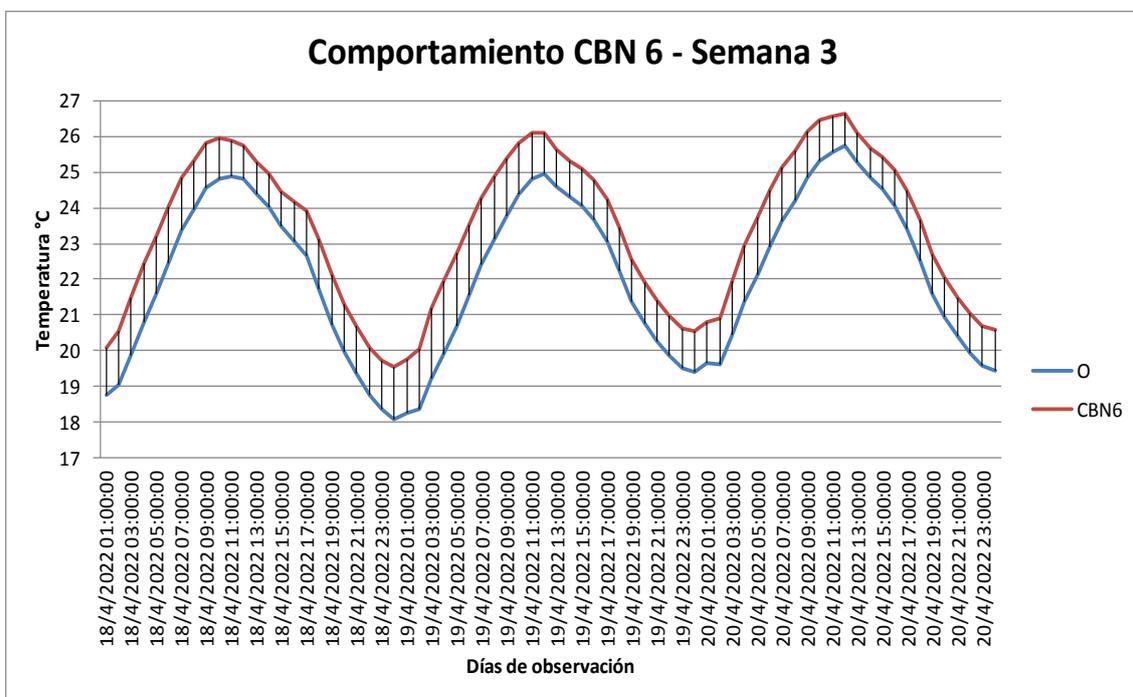


Figura 5.51. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 6 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

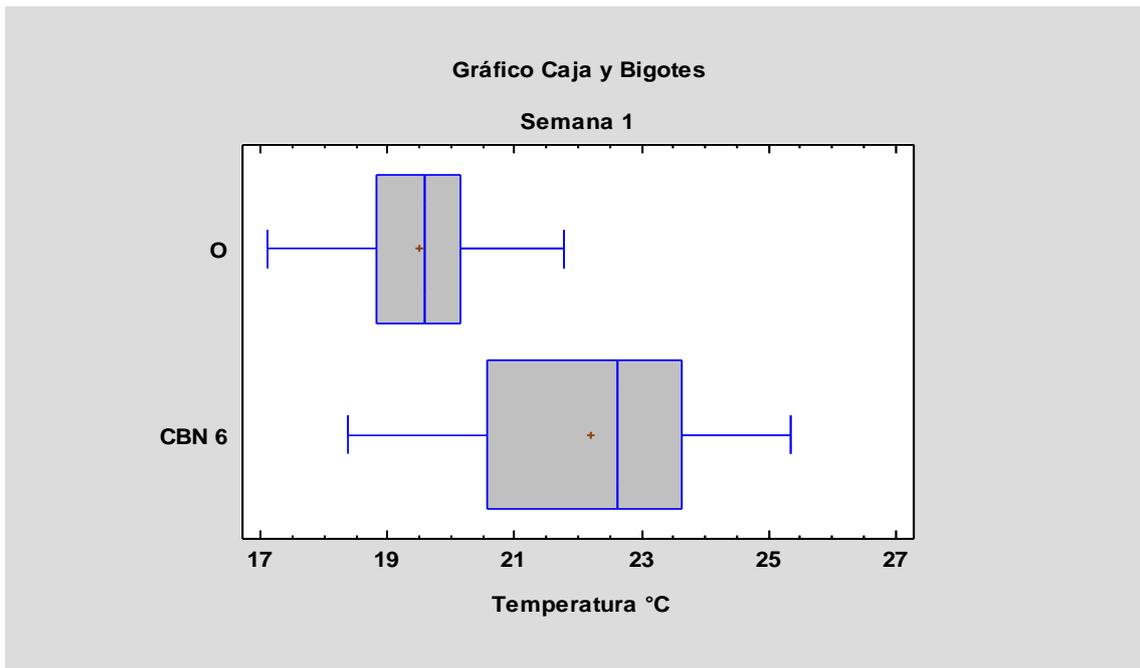


Figura 5.52. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 6 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

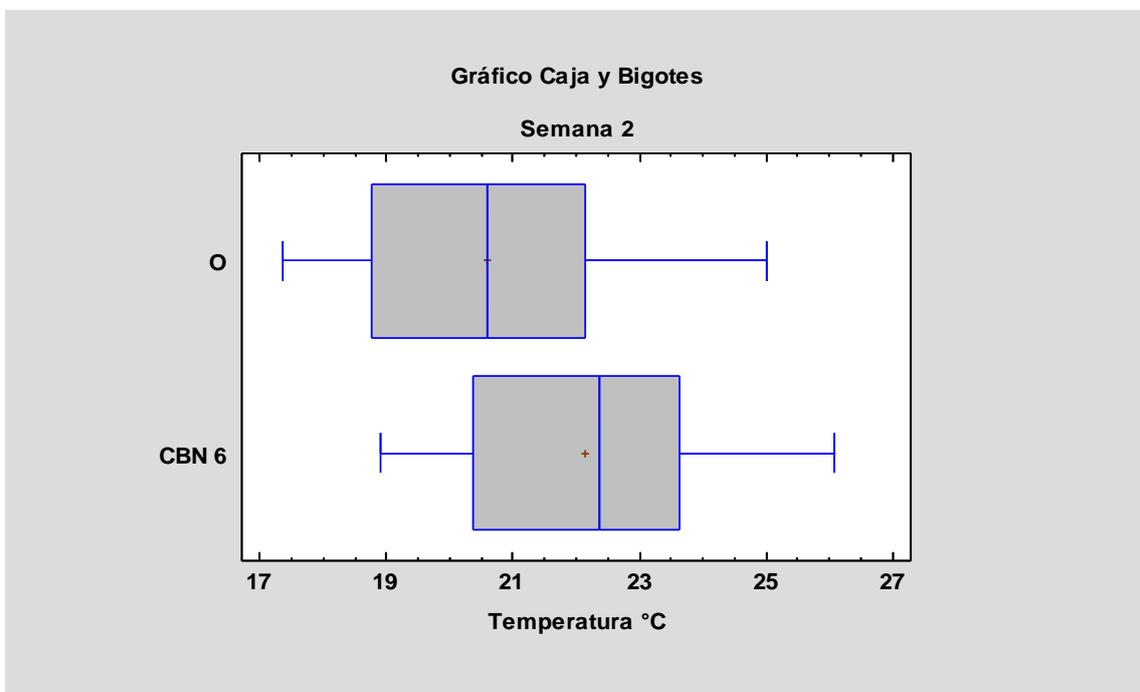


Figura 5.53. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 6 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

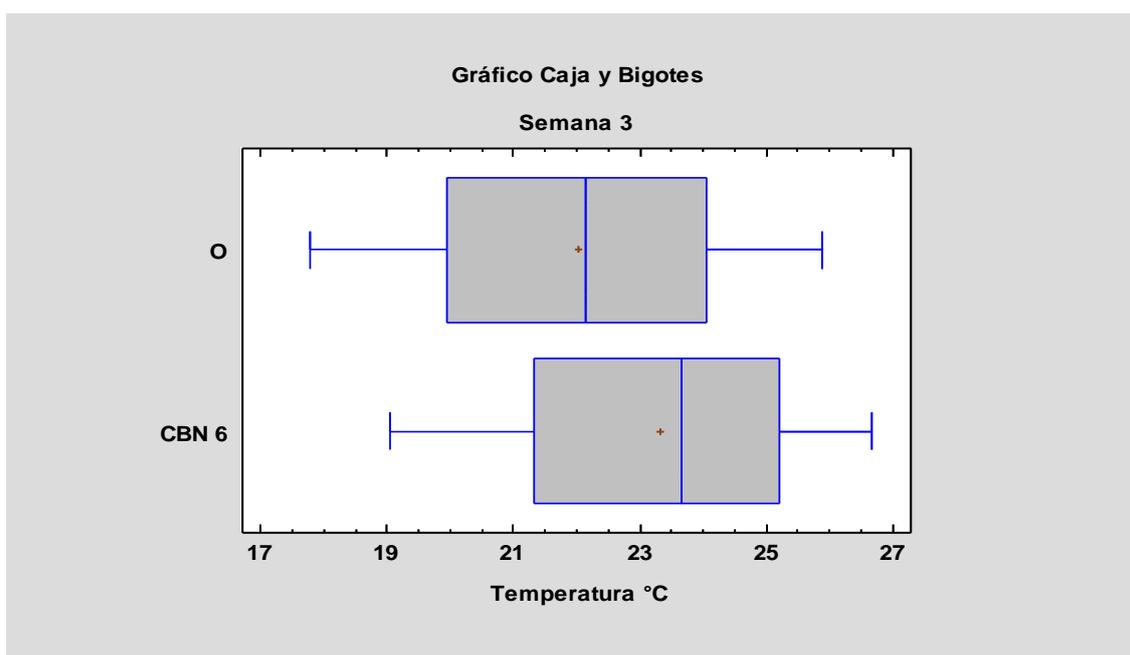


Figura 5.54. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 6 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.9), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN6	25,35	16,50%	18,38	7,49%	22,29
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN6	26,44	3,85%	18,91	8,93%	22,29
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN6	26,66	3,01%	19,05	7,14%	23,39

Tabla 5.9. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 6 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 18.38 y 25.35 °C, es decir se logró subir 1.28 grados a la temperatura promedio mínima y 3.59 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 18.91 y 26.44 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.78 y 1.27 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con la propuesta de mejora, según las figuras 5.52 y 5.53, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20.5 y 23.5 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25 °C aproximadamente según la figura 5.54.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no presentan un buen desenvolvimiento en temperaturas bajas.

La combinación 6 alcanzó en la semana de abril la mejor respuesta, mientras que obtuvo el mismo resultado promedio en las semanas de febrero y marzo.

Combinación CBN 7

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN7:

CBN 7.- Lana de Roca en fachada y Lana de Vidrio en cubierta.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.55 - 5.60) para observar el comportamiento de la combinación CBN 7 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

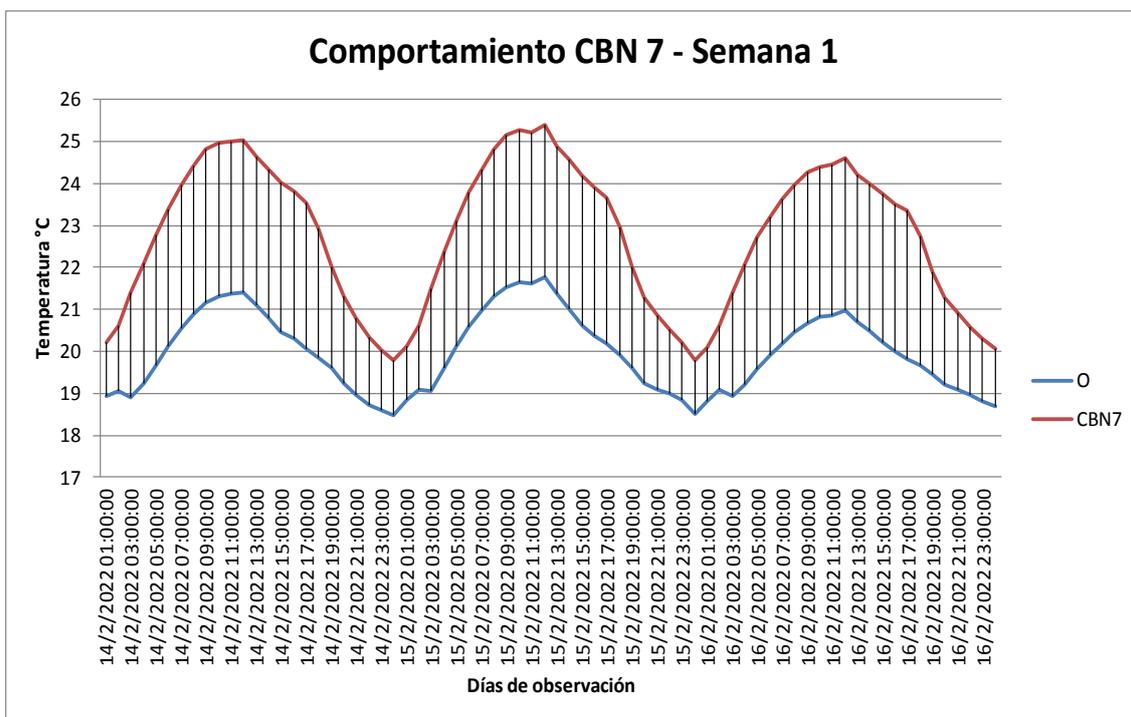


Figura 5.55. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 7 - Semana del 14 al 20 de febrero.

Fuente: Archivo del autor.

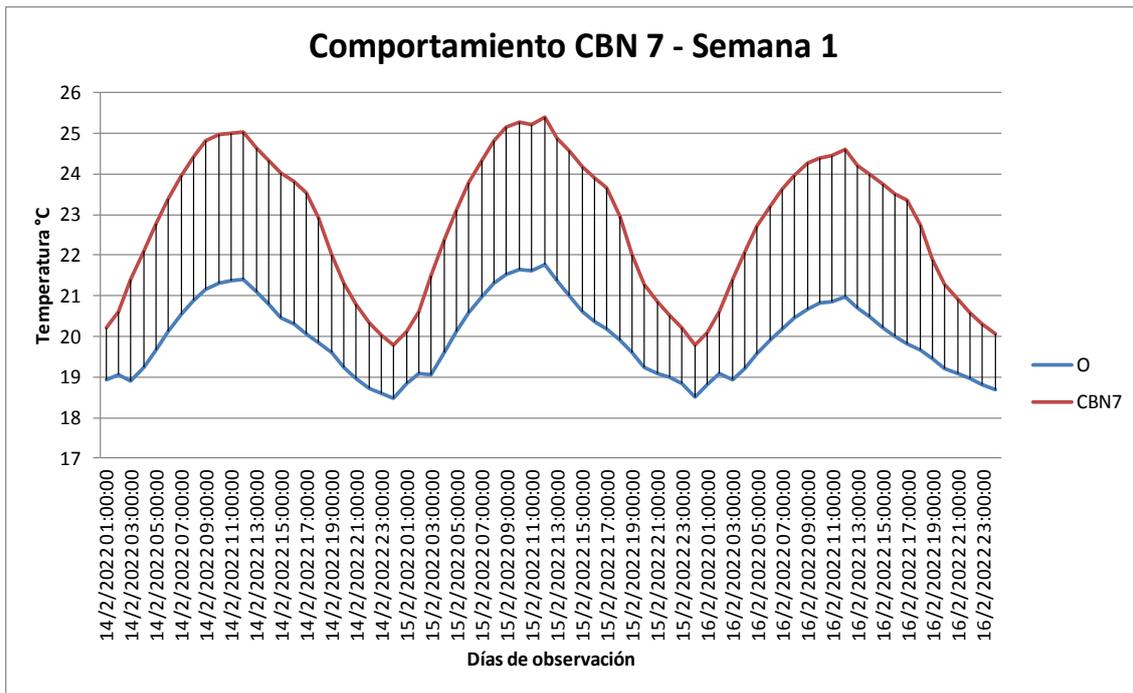


Figura 5.56. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 7 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

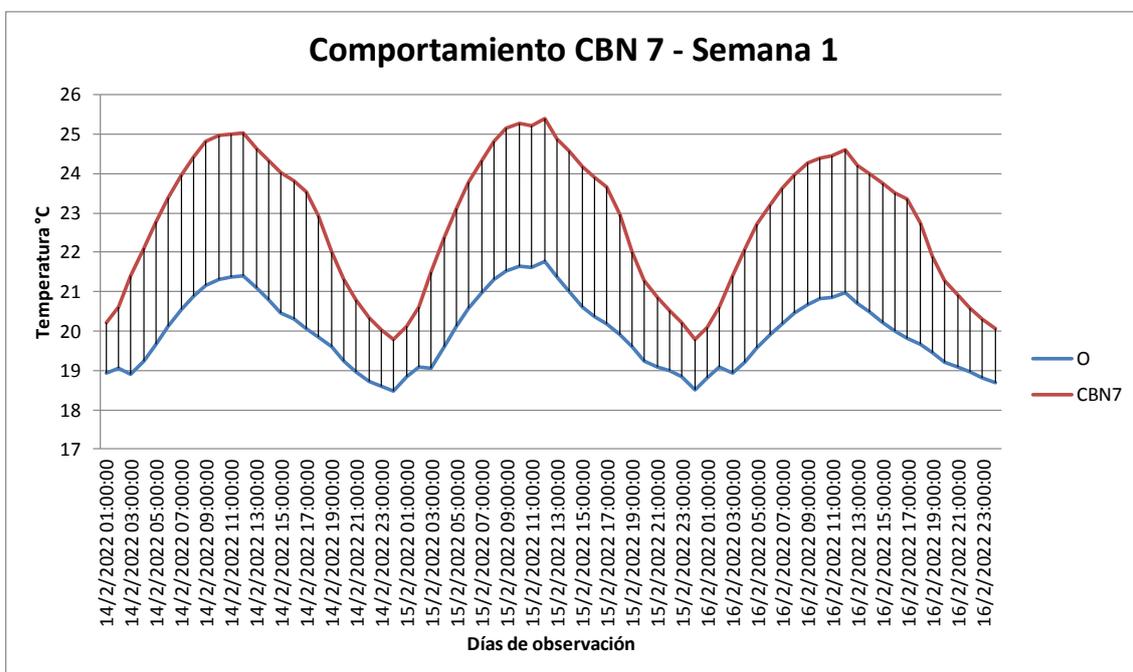


Figura 5.57. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 7 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

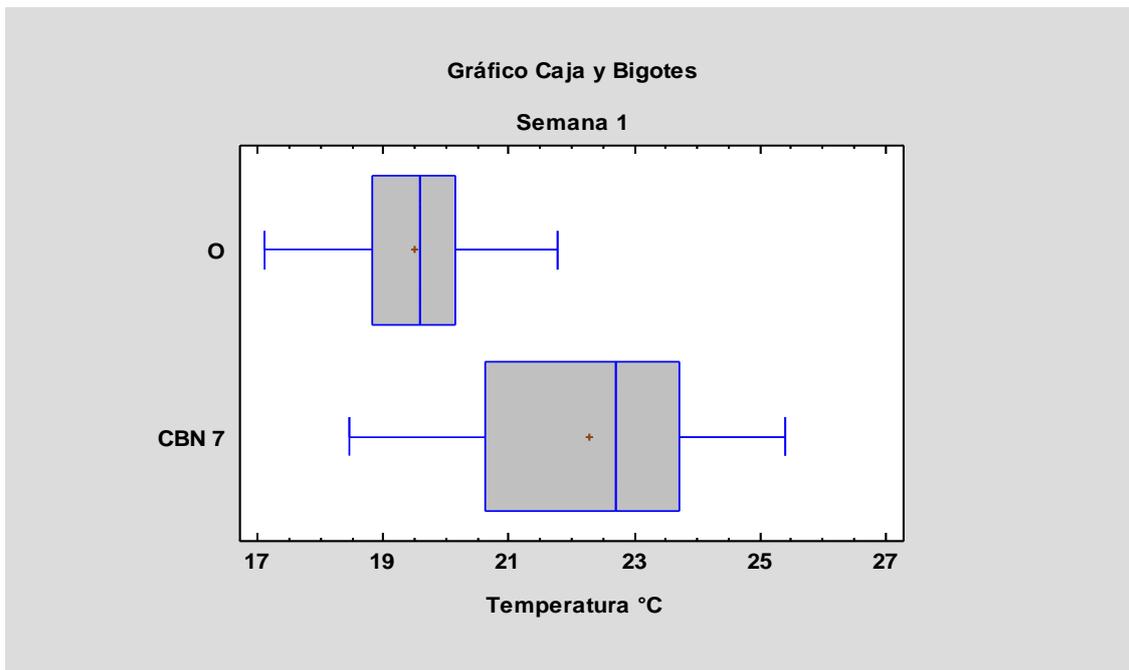


Figura 5.58. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 7 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

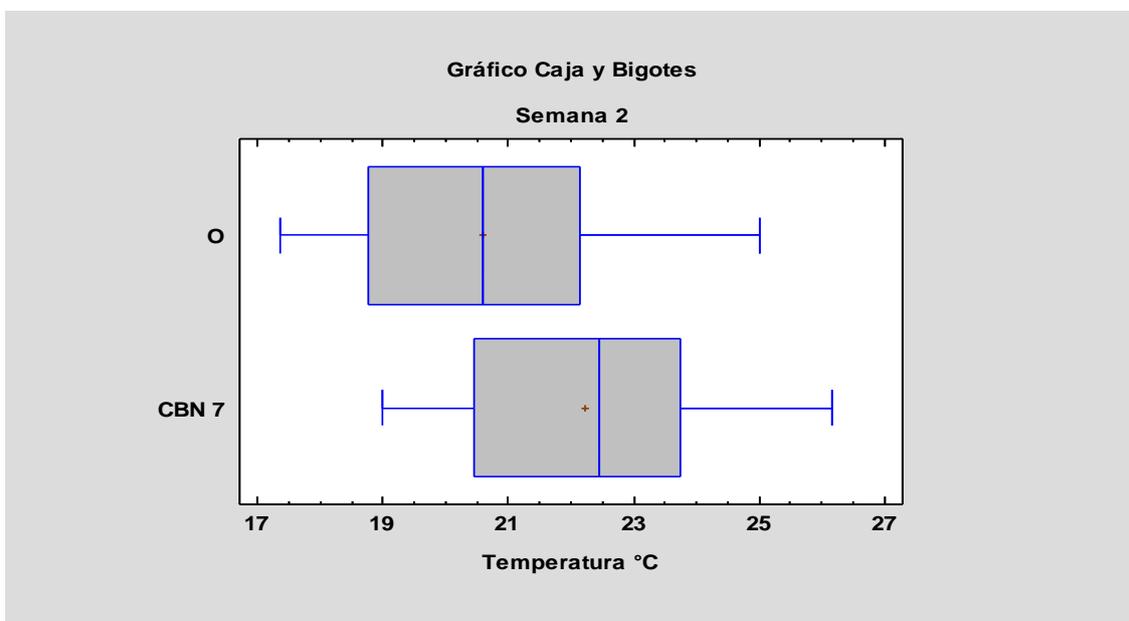


Figura 5.59. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 7 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

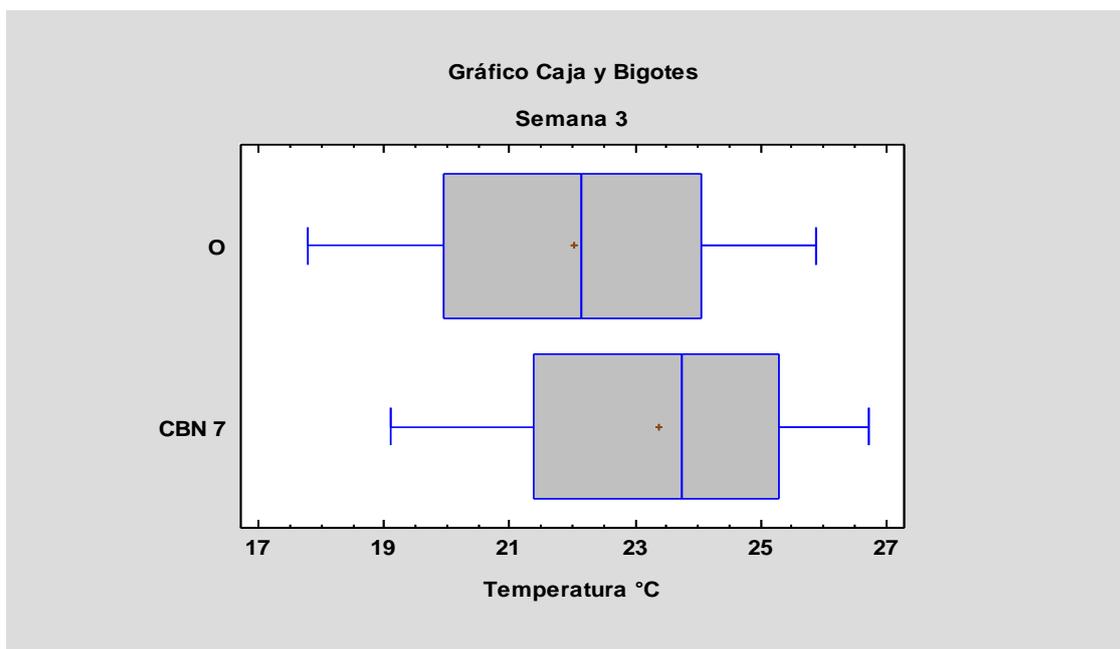


Figura 5.60. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 7 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.10), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN7	25,41	16,77%	18,45	7,89%	22,37
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN7	26,50	4,08%	18,99	9,39%	22,37
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN7	26,72	3,25%	19,11	7,48%	23,46

Tabla 5.10. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 7 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 18.45 y 25.41 °C, es decir se logró subir 1.35 grados a la temperatura promedio mínima y 3.65 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 18.99 y 26.50 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.84 y 1.33 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con la propuesta de mejora, según las figuras 5.58 y 5.59, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20.5 y 24 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.60.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no presentan un buen desenvolvimiento en temperaturas bajas.

La combinación 7 alcanzó en la semana abril la mejor respuesta, mientras que obtuvo el mismo resultado promedio en las semanas de febrero y marzo.

Combinación CBN 8

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN8:

CBN 8.- Lana de Vidrio en fachada y Lana de Vidrio en cubierta.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.61 - 5.66) para observar el comportamiento de la combinación CBN 8 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

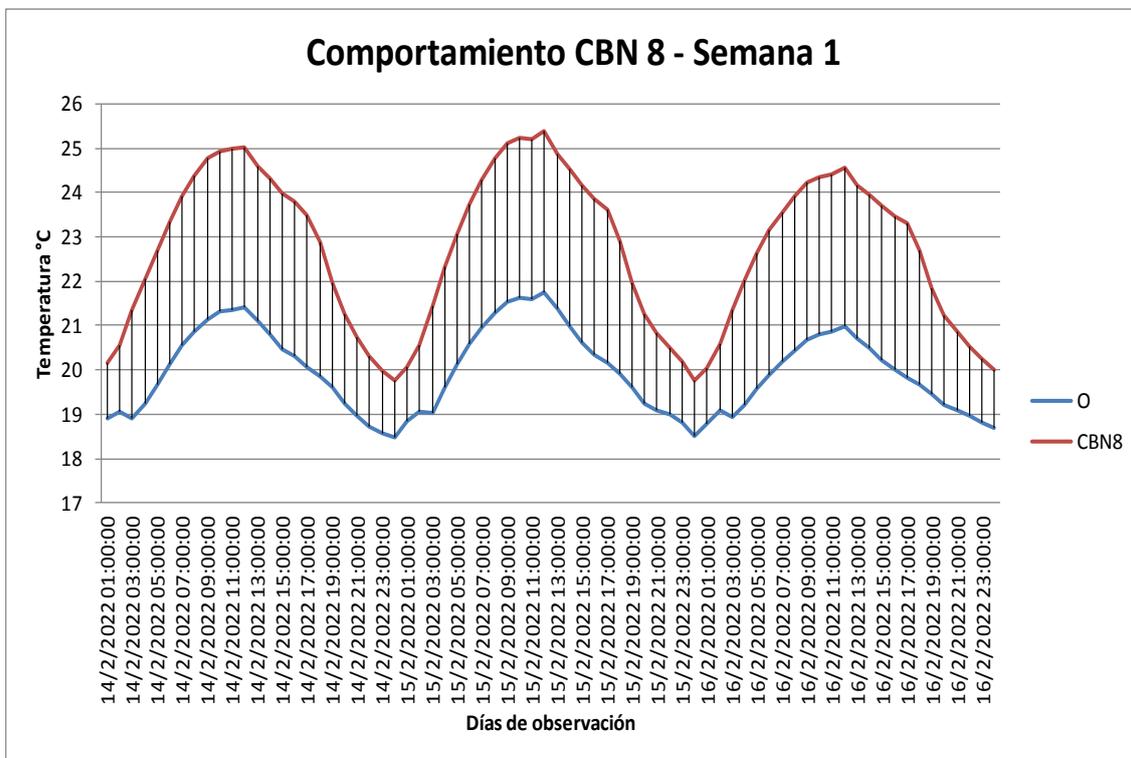


Figura 5.61. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 8 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

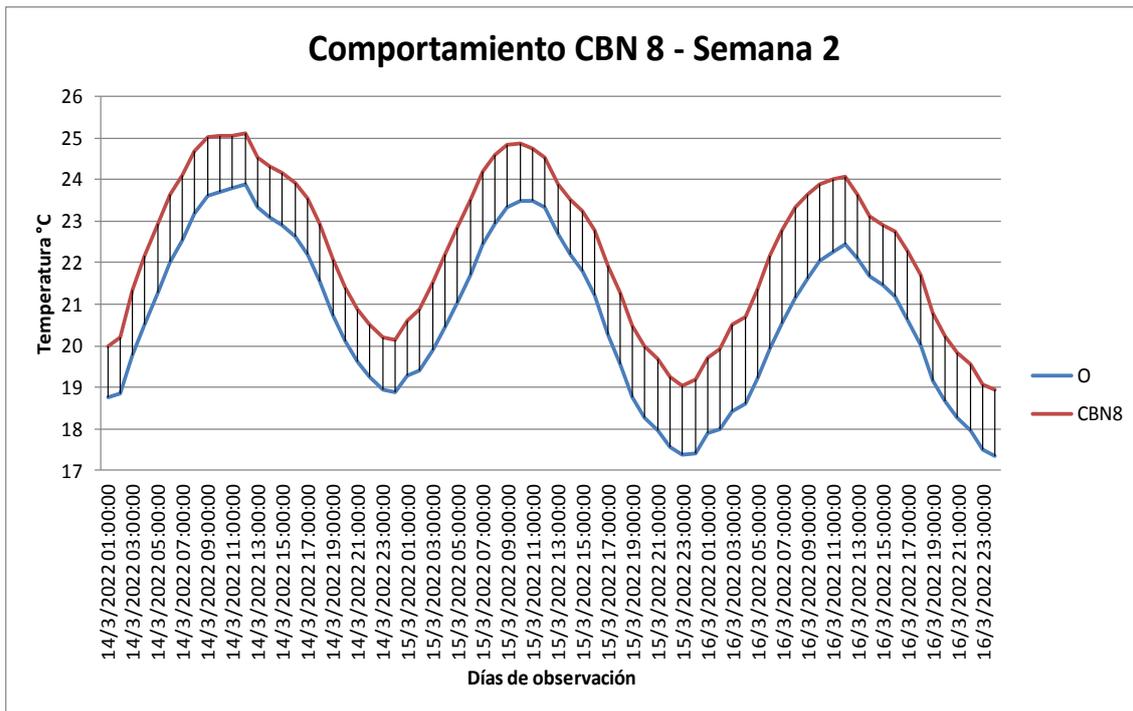


Figura 5.62. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 8 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

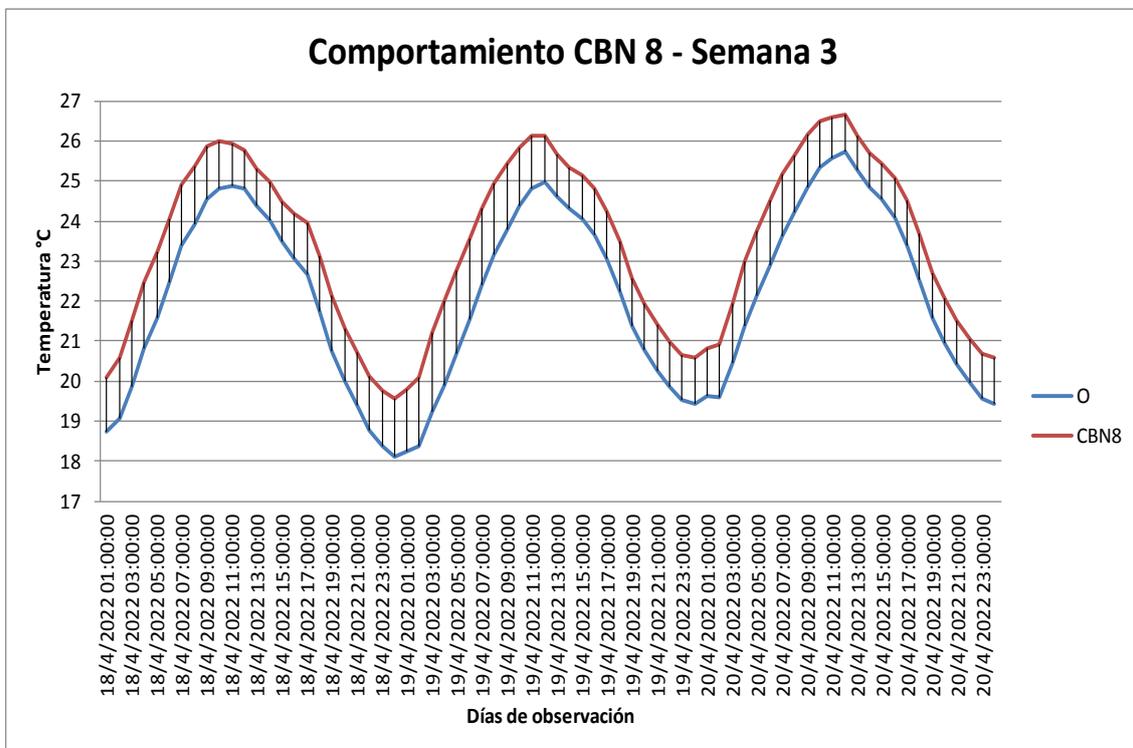


Figura 5.63. Gráfica del comportamiento diario de la combinación CBN 8 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

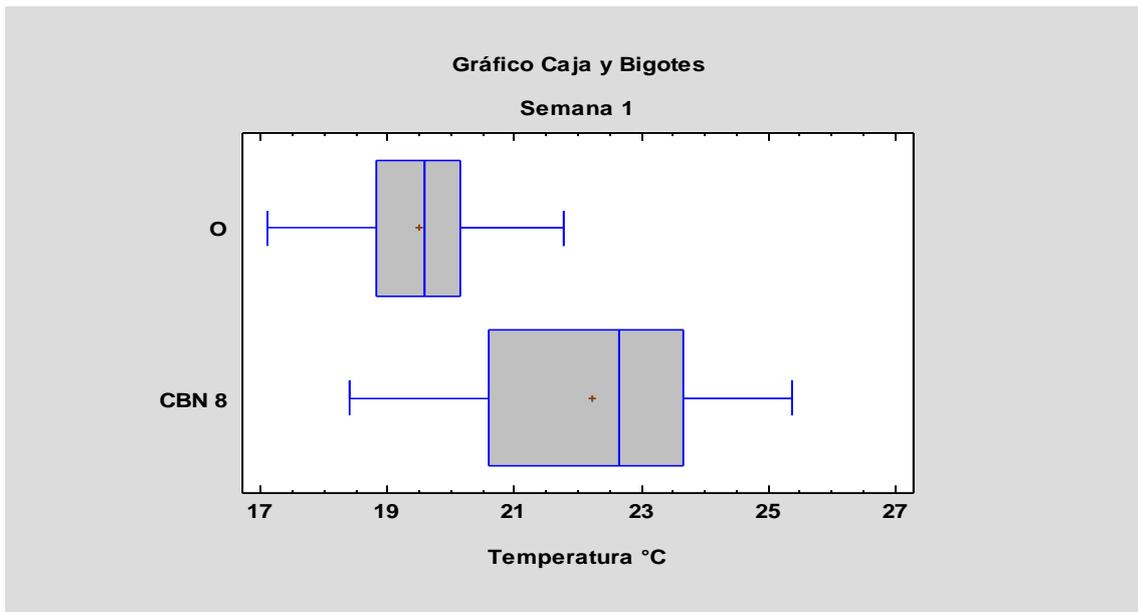


Figura 5.64. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 8 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

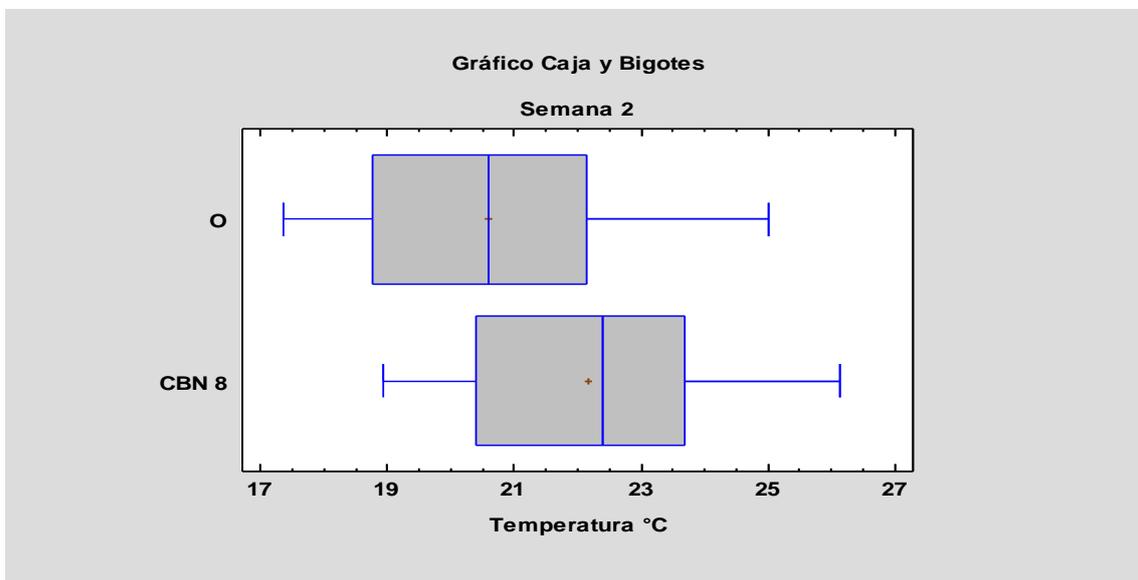


Figura 5.65. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 8 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

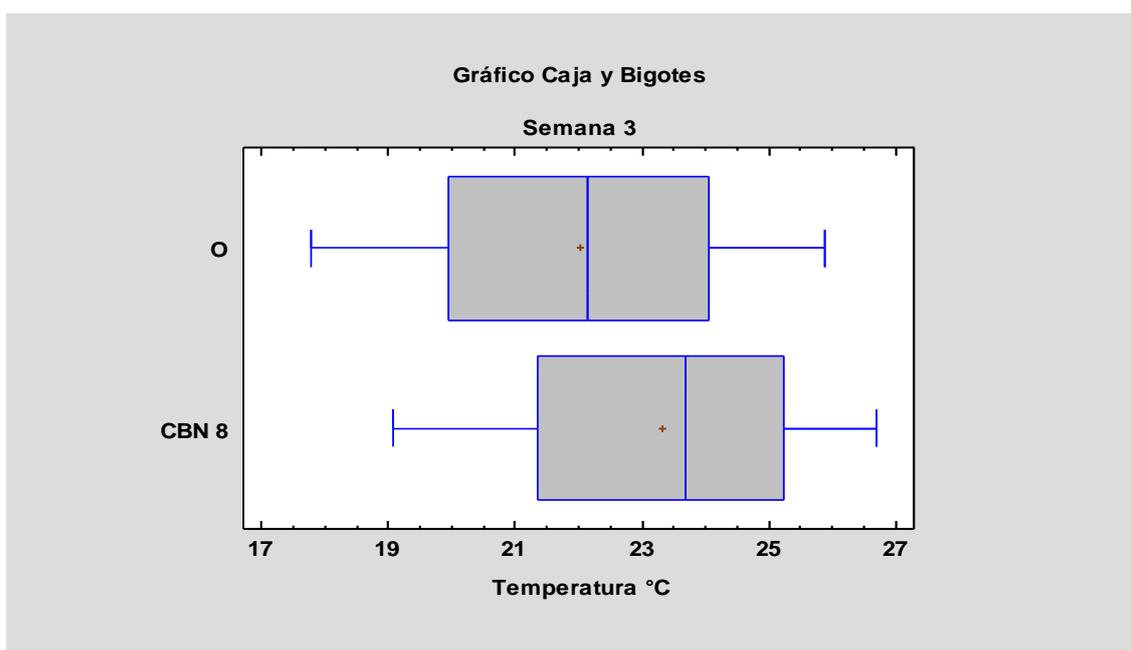


Figura 5.66. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 8 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.11), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN8	25,38	16,64%	18,40	7,60%	22,32
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN8	26,47	3,97%	18,94	9,10%	22,32
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN8	26,69	3,13%	19,07	7,26%	23,42

Tabla 5.11. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 8 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 18.40 y 25.38 °C, es decir se logró subir 1.30 grados a la temperatura promedio mínima y 3.62 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 18.94 y 26.47 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.81 y 1.29 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con la propuesta de mejora, según las figuras 5.64 y 5.65, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20.5 y 24 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25.5 °C aproximadamente según la figura 5.66.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no presentan un buen desenvolvimiento en temperaturas bajas.

La combinación 8 alcanzó en la semana abril la mejor respuesta, mientras que obtuvo el mismo resultado promedio en las semanas de febrero y marzo.

Combinación CBN 9

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN9:

- CBN 9.1.- Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 9.2.- Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 9.3.- Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.67 - 5.72) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 9 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

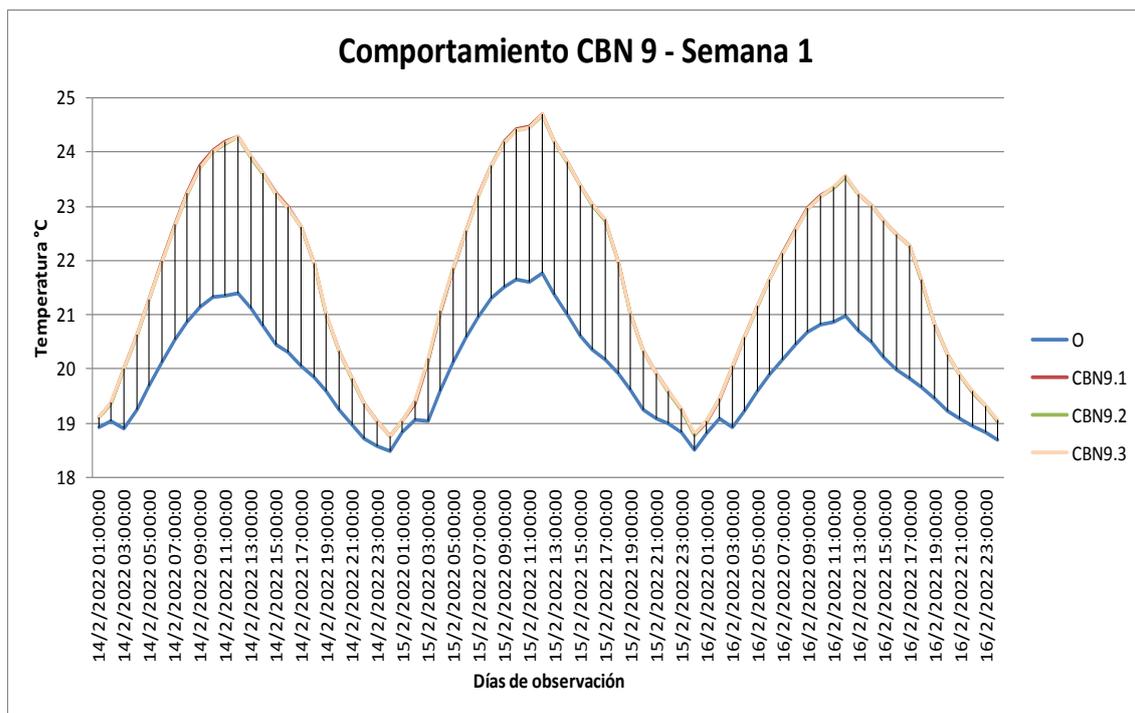


Figura 5.67. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 9 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

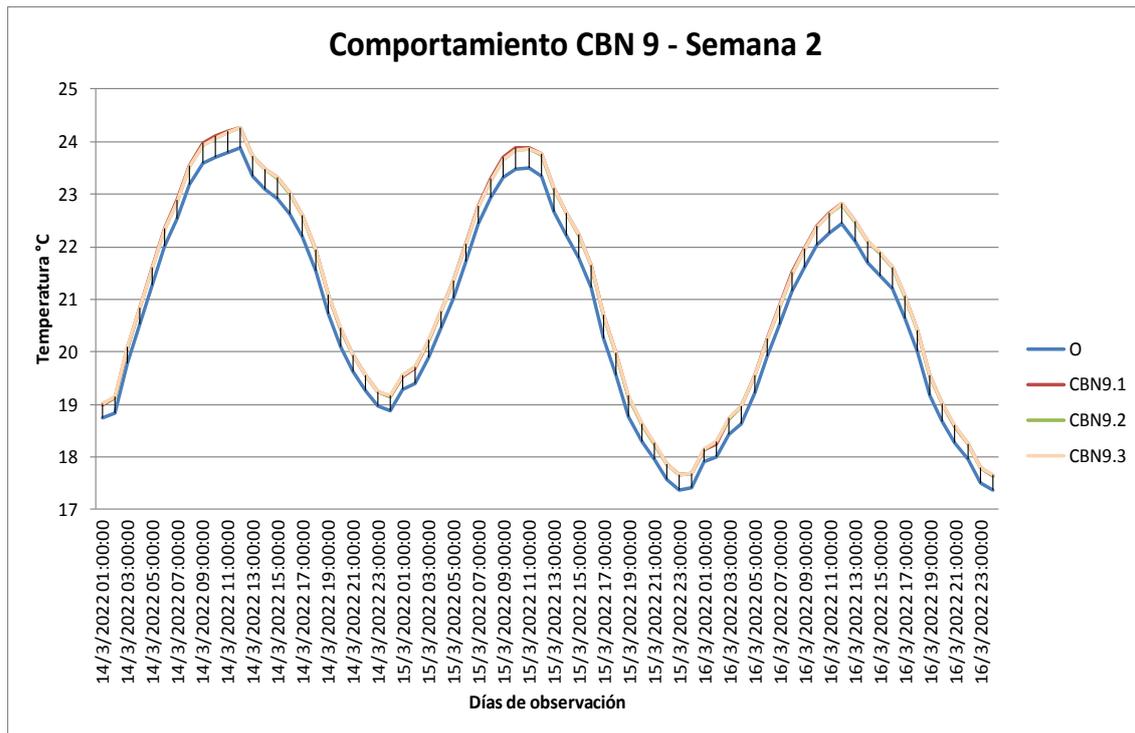


Figura 5.68. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 9 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

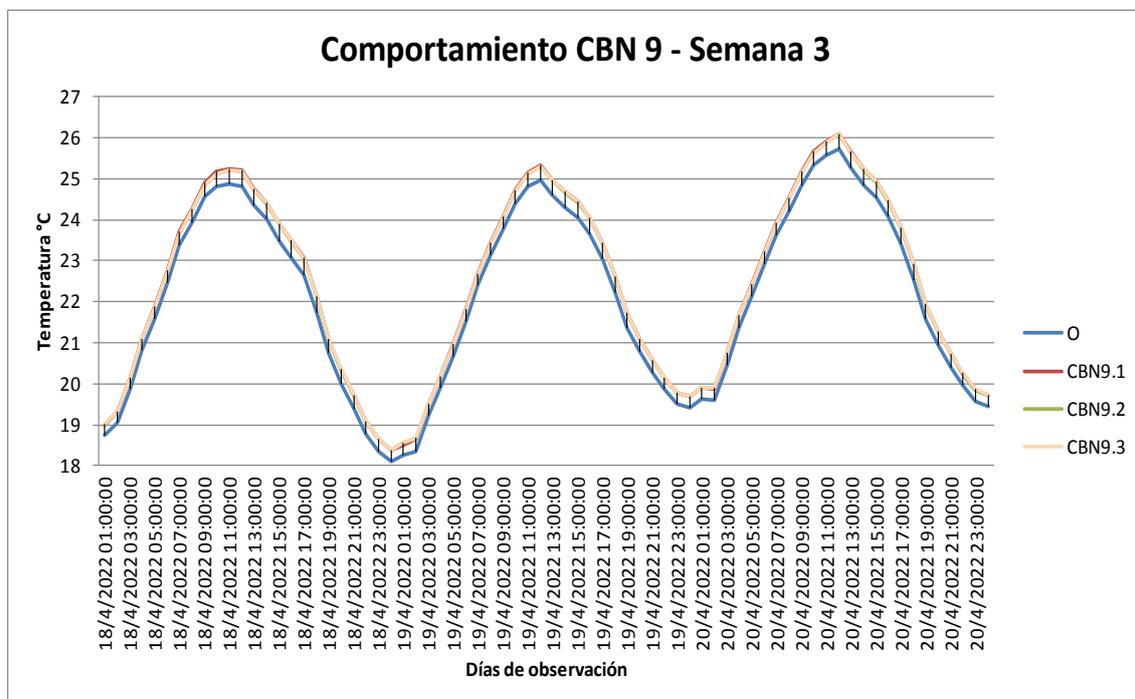


Figura 5.69. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 9 - Semana del 18 al 24 de abril. Fuente: Archivo del autor.

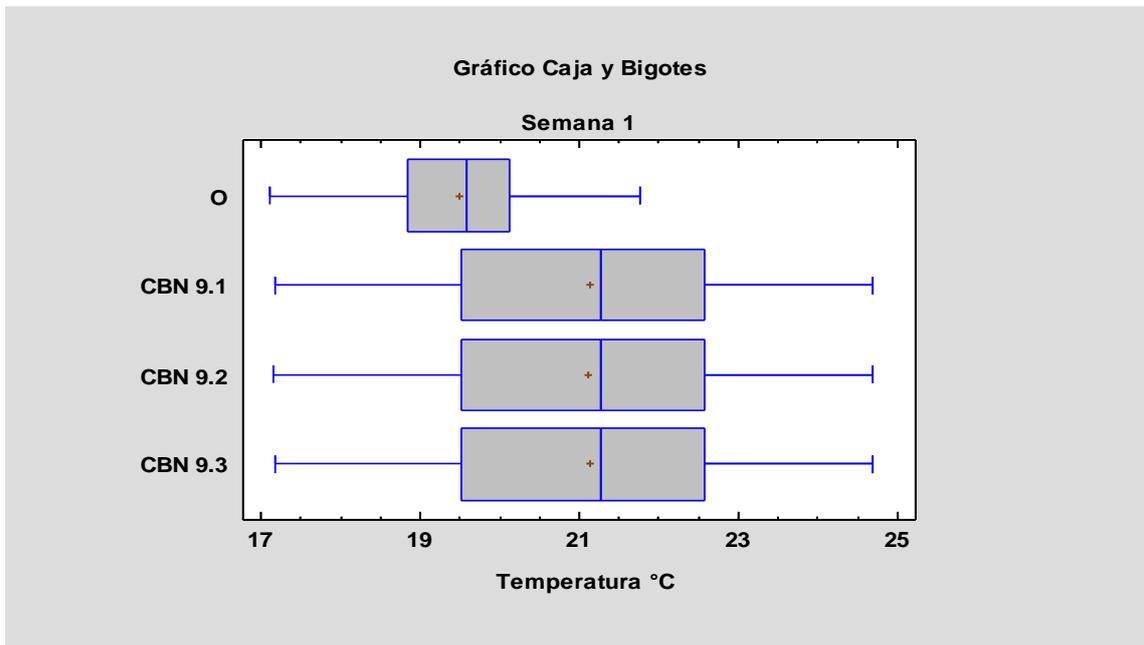


Figura 5.70. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 9 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

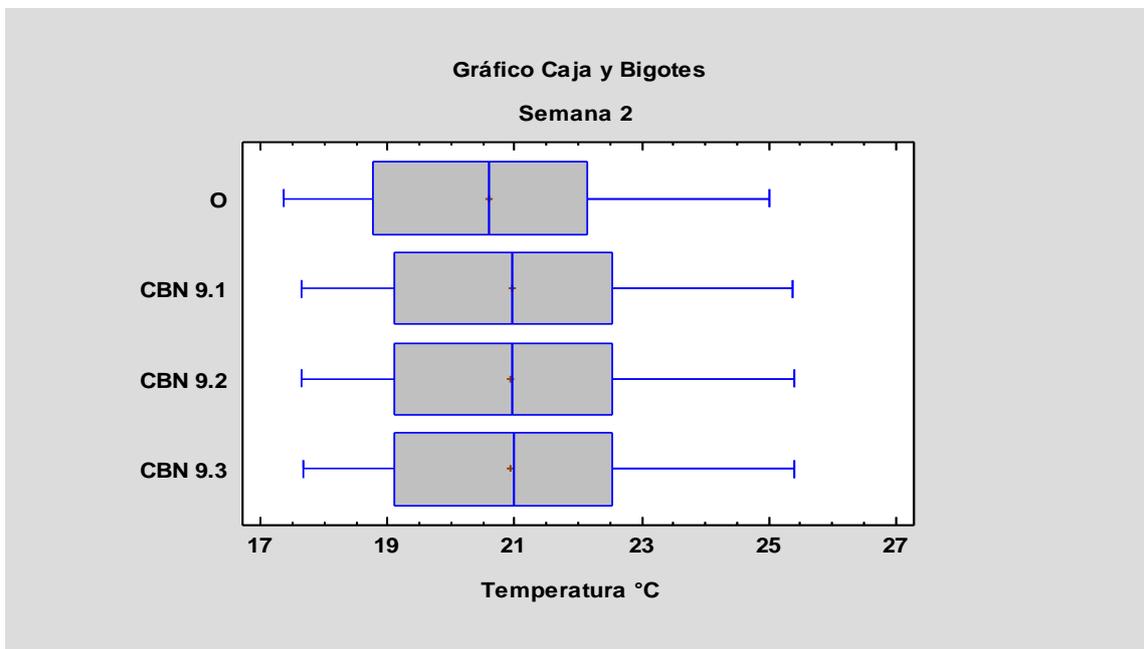


Figura 5.71. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 9 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

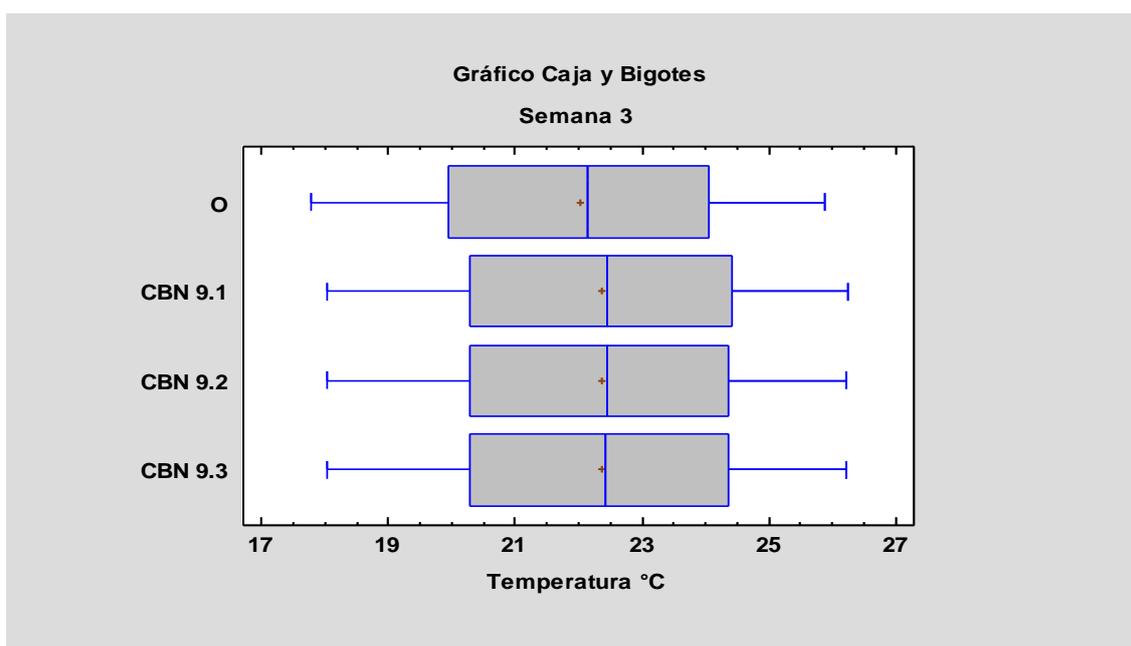


Figura 5.72. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de la combinación CBN 9 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.12), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura a Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura a Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN9.1	24,69	13,47%	17,16	0,35%	21,22
	CBN9.2	24,68	13,42%	17,16	0,35%	21,22
	CBN9.3	24,69	13,47%	17,17	0,41%	21,22
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN9.1	25,84	1,49%	17,64	1,61%	21,13
	CBN9.2	25,85	1,53%	17,64	1,61%	21,12
	CBN9.3	25,85	1,53%	17,66	1,73%	21,13
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN9.1	26,24	1,39%	18,04	1,46%	22,46
	CBN9.2	26,22	1,31%	18,04	1,46%	22,44
	CBN9.3	26,23	1,35%	18,04	1,46%	22,44

Tabla 5.12. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de la combinación CBN 9 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 17.16 y 24.69 °C, es decir se logró subir 0.07 grados a la temperatura promedio mínima y 2.93 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 17.64 y 25.85 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.36 y 0.26 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según la figura 5.70 el 50% del tiempo de la semana del mes de febrero, las temperaturas están entre 19.5 y 22.5 °C aproximadamente; mientras que en el mes de marzo el 50% del tiempo las temperaturas se ubican entre 19 y 22.5 °C aproximadamente según la figura 5.71; finalmente en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 19.5 y 24.5 °C aproximadamente según la figura 5.72.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no presentan un buen desenvolvimiento en temperaturas bajas.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 9.1, mientras que la menor respuesta se obtuvo con la combinación CBN 9.2 en la semana del mes de marzo.

Combinación CBN 10

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN10:

- CBN 10.1.- SATE 5 cm, Lana de vidrio en cubierta carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 10.2.- SATE 5 cm, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 10.3.- SATE 5 cm, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.
- CBN 10.4.- SATE 10 cm, Lana de vidrio en cubierta carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 10.5.- SATE 10 cm, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 10.6.- SATE 10 cm, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.73 - 5.78) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 10 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

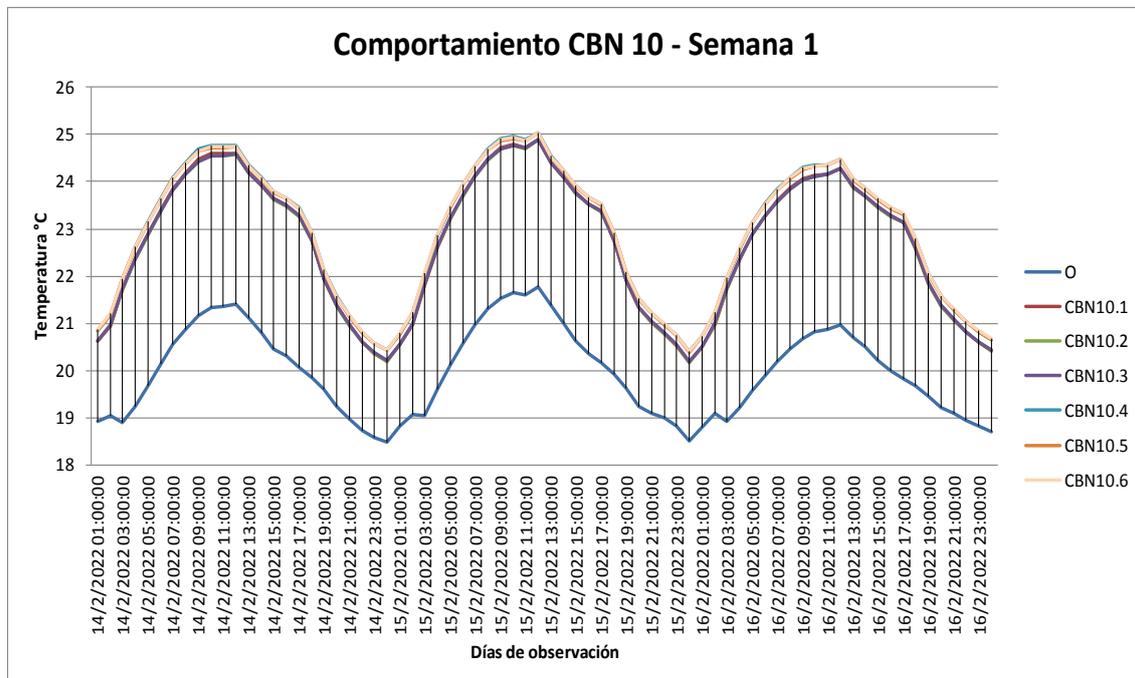


Figura 5.73. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 10 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

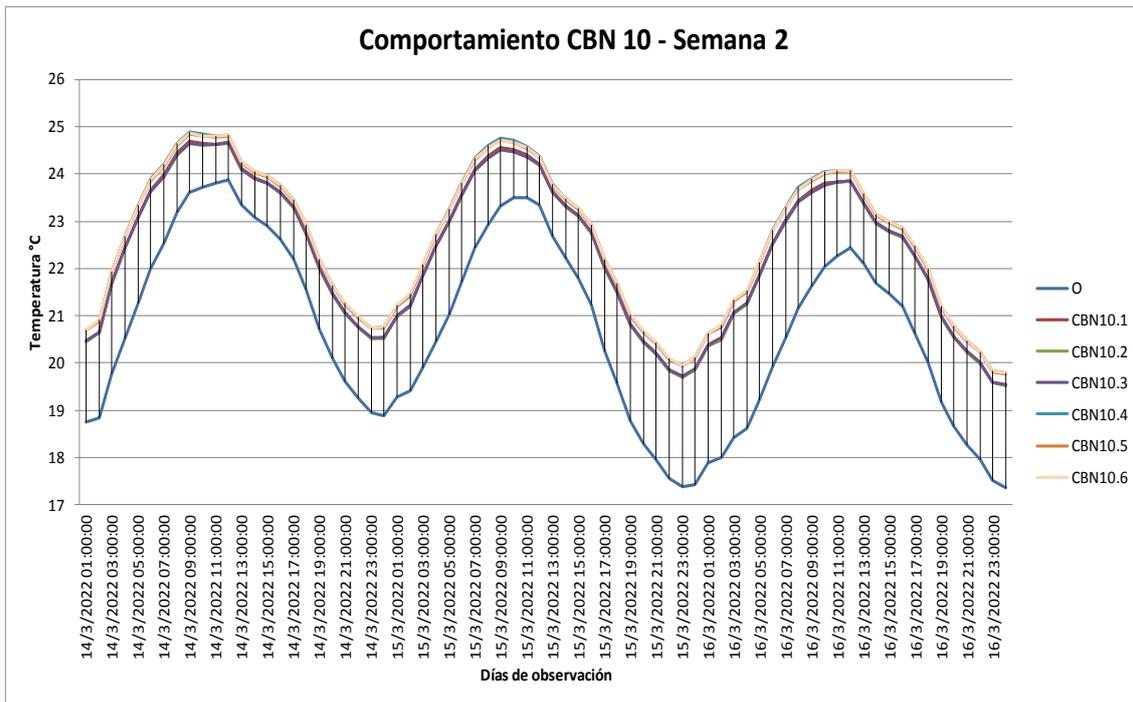


Figura 5.74. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 10 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

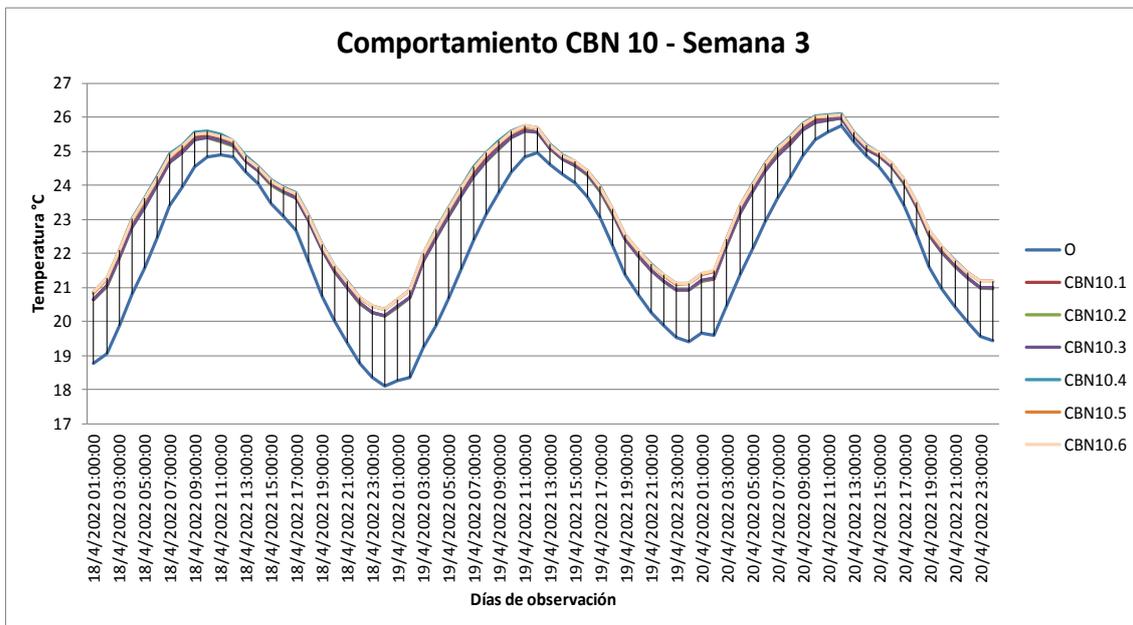


Figura 5.75. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 10 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

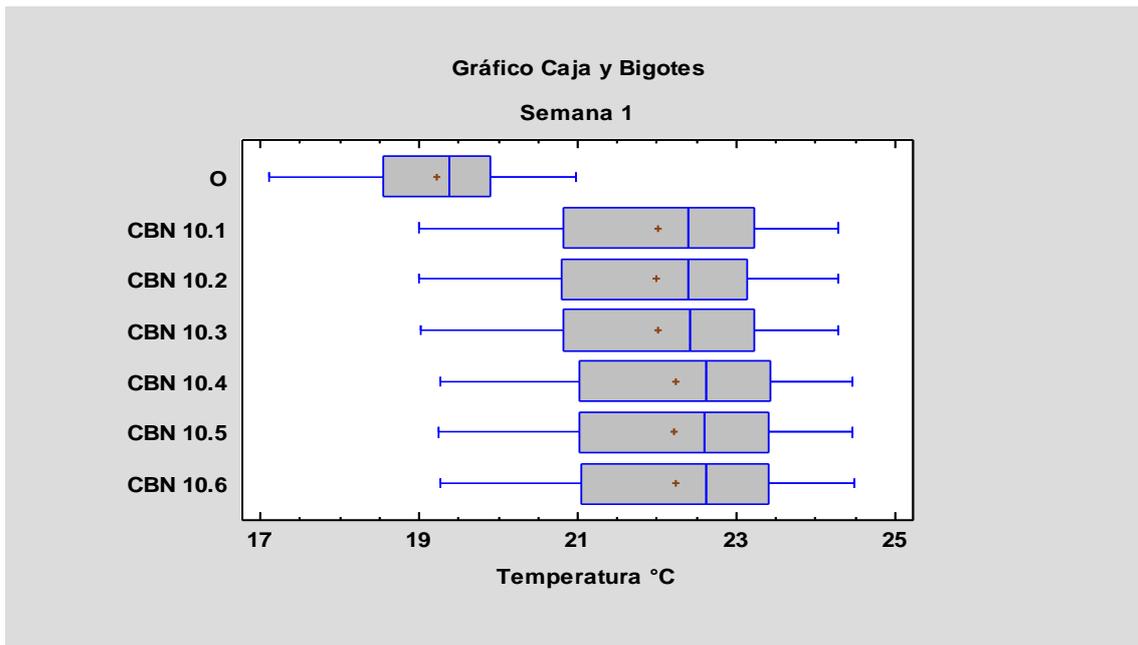


Figura 5.76. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 10 - Semana del 14 al 20 de febrero.

Fuente: Archivo del autor.

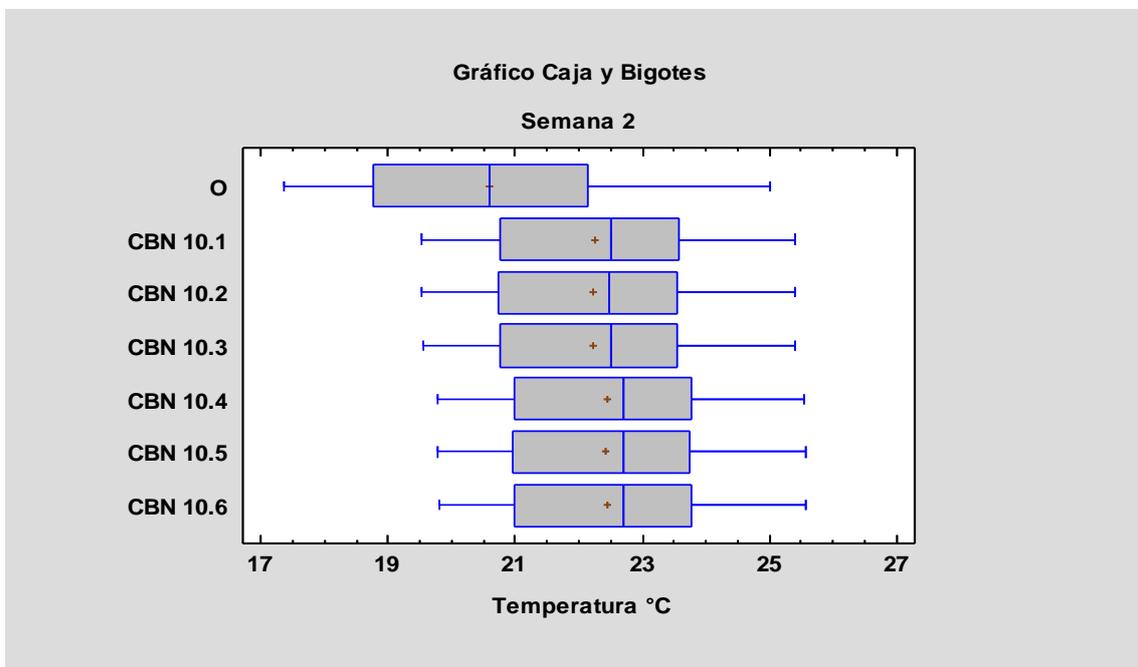


Figura 5.77. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 10 - Semana del 14 al 20 de marzo.

Fuente: Archivo del autor.

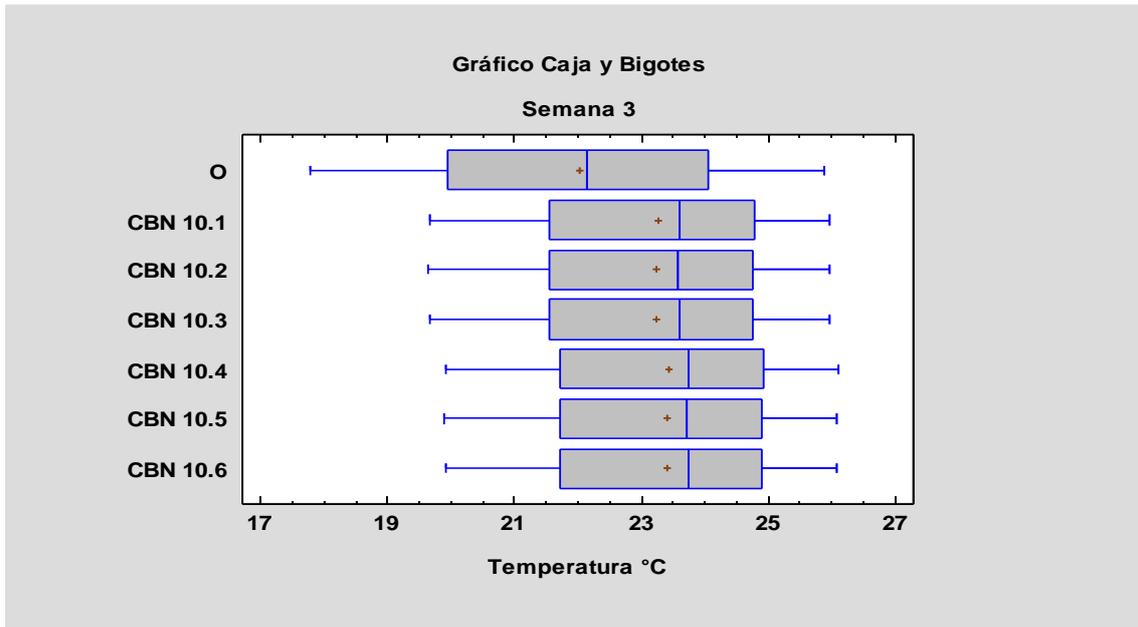


Figura 5.78. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 10 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.13), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Con las propuestas de mejora, según la figura 5.76 el 50% del tiempo de la semana del mes de febrero, las temperaturas están entre 20.5 y 23.5 °C aproximadamente; mientras que en el mes de marzo el 50% del tiempo las temperaturas se ubican entre 20.5 y 24 °C aproximadamente según la figura 5.77; finalmente en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21.5 y 25 °C aproximadamente según la figura 5.78.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación presentan un buen desenvolvimiento en alcanzar el rango de temperaturas de confort entre los 20 y 26 °C.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 10.4, mientras que la menor respuesta se obtuvo con la combinación CBN 10.2 en la semana del mes de febrero.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN10.1	24,90	14,43%	19,00	11,11%	22,35
	CBN10.2	24,88	14,34%	19,00	11,11%	22,33
	CBN10.3	24,89	14,38%	19,01	11,17%	22,35
	CBN10.4	25,04	15,07%	19,26	12,63%	22,56
	CBN10.5	25,02	14,98%	19,25	12,57%	22,55
	CBN10.6	25,04	15,07%	19,26	12,63%	22,56
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN10.1	25,79	1,30%	19,53	12,50%	22,36
	CBN10.2	25,78	1,26%	19,52	12,44%	22,34
	CBN10.3	25,79	1,3%	19,54	12,56%	22,35
	CBN10.4	25,93	1,85%	19,78	13,94%	22,56
	CBN10.5	25,91	1,77%	19,77	13,88%	22,55
	CBN10.6	25,92	1,81%	19,79	14,00%	22,56
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN10.1	25,98	0,39%	19,65	10,52%	23,33
	CBN10.2	25,95	0,27%	19,65	10,52%	23,31
	CBN10.3	25,96	0,31%	19,66	10,57%	23,32
	CBN10.4	26,12	0,93%	19,91	11,98%	23,51
	CBN10.5	26,07	0,73%	19,90	11,92%	23,48
	CBN10.6	26,07	0,73%	19,91	11,98%	23,49

Tabla 5.13. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de las combinaciones CBN 10 en las tres semanas de observación.

Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 19.00 y 25.04 °C, es decir se logró subir 2.16 grados a la temperatura promedio mínima y 3.28 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 19.52 y 25.93 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir en 0.24 y 2.13 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Combinación CBN 11

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN11:

- CBN 11.1.- Lana de Oveja en fachada, Lana de vidrio en cubierta carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 11.2.- Lana de Oveja en fachada, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 11.3.- Lana de Oveja en fachada, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.79 - 5.84) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 11 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

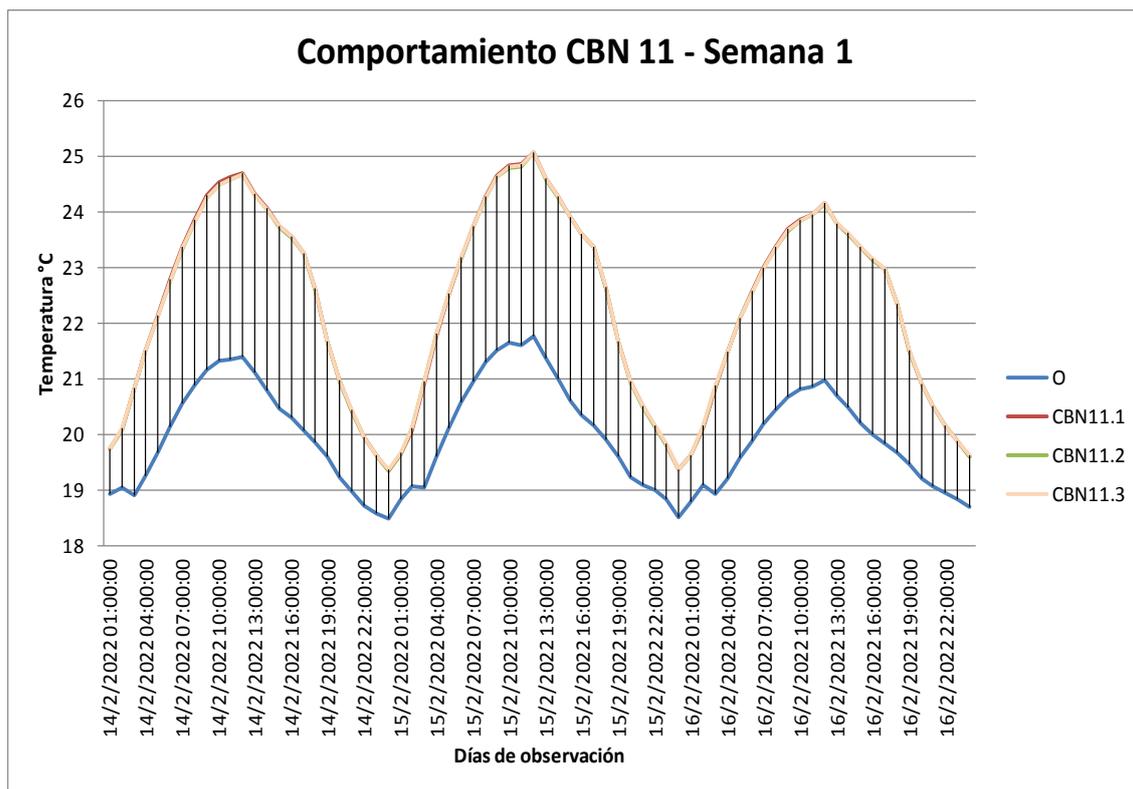


Figura 5.79. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 11 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

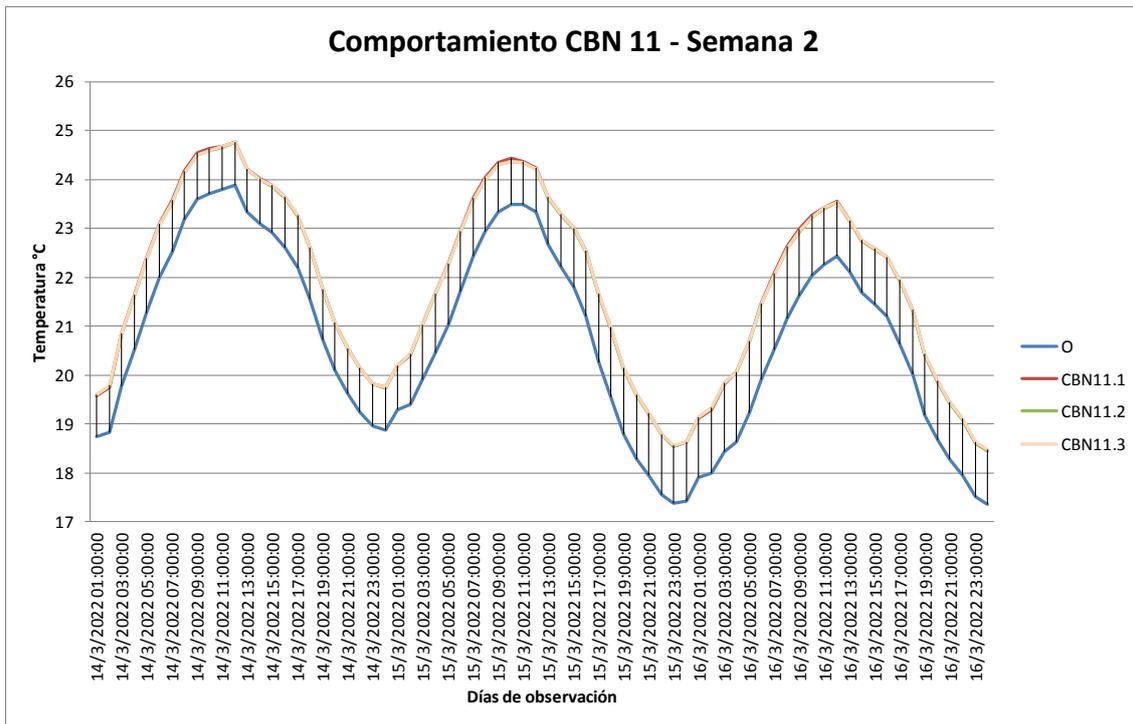


Figura 5.80. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 11 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

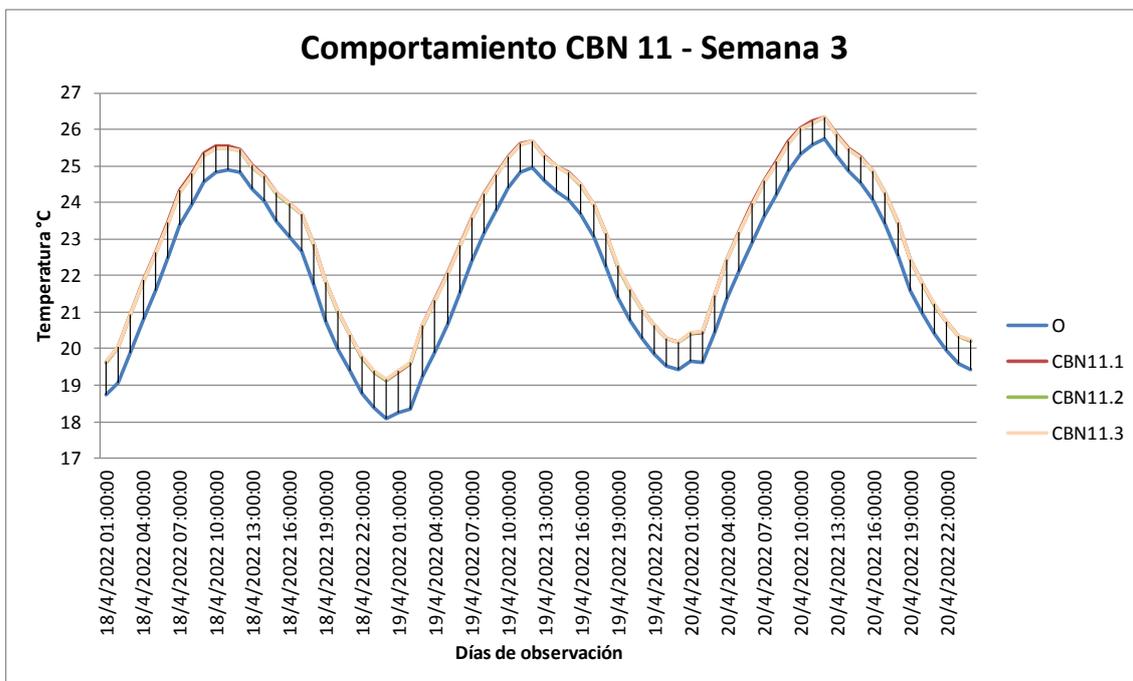


Figura 5.81. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 11 - Semana del 18 al 24 de abril. Fuente: Archivo del autor.

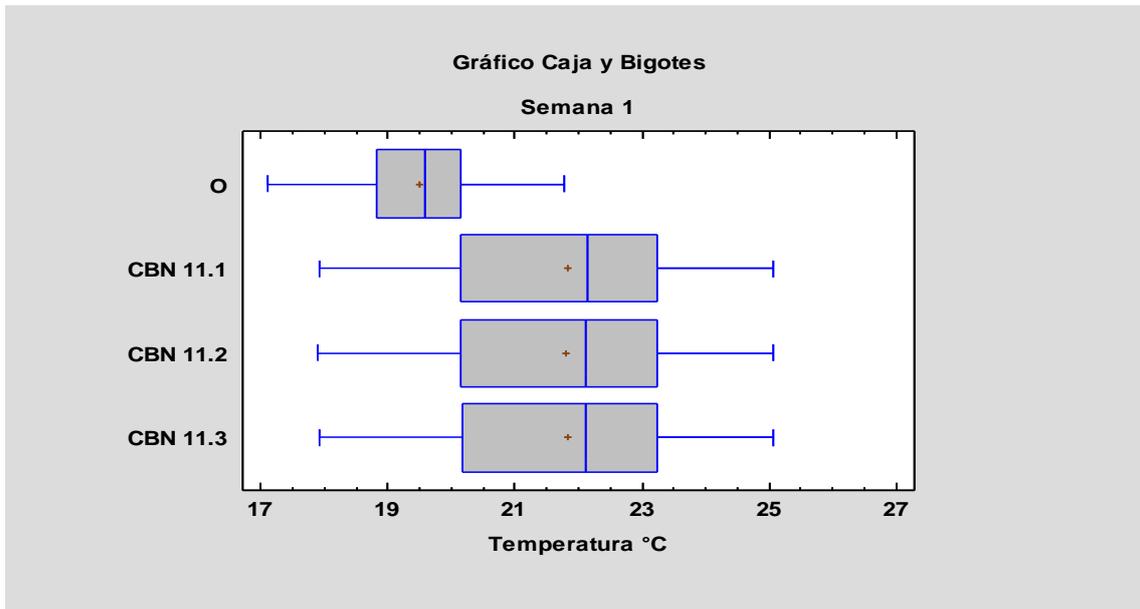


Figura 5.82. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 11 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

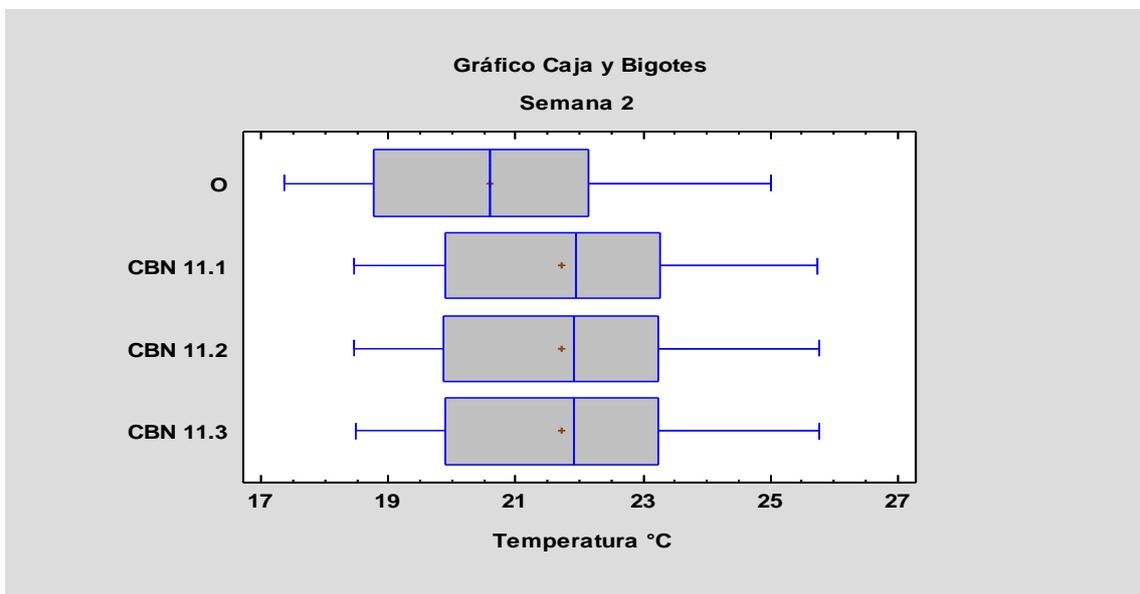


Figura 5.83. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 11 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

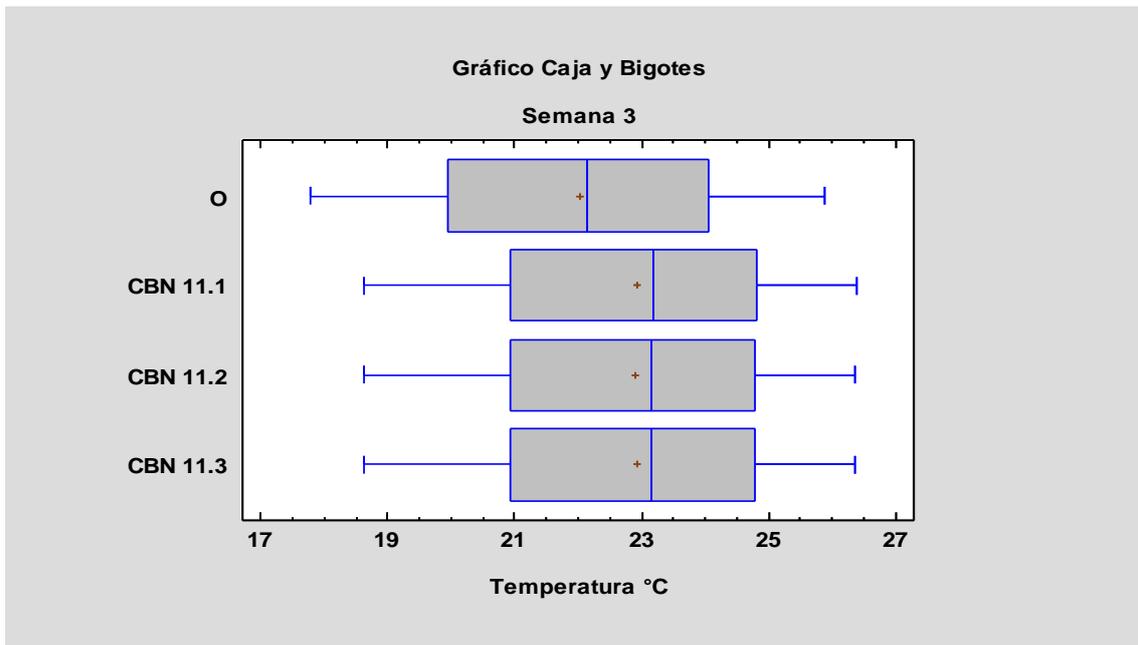


Figura 5.84. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 11 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.14), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura a Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura a Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN11.1	25,08	15,26%	17,91	4,74%	21,91
	CBN11.2	25,06	15,17%	17,91	4,74%	21,90
	CBN11.3	25,07	15,21%	17,92	4,80%	21,91
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN11.1	26,12	2,59%	18,47	6,39%	21,88
	CBN11.2	26,12	2,59%	18,47	6,39%	21,86
	CBN11.3	26,13	2,63%	18,49	6,51%	21,87
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN11.1	26,38	1,93%	18,62	4,72%	23,02
	CBN11.2	26,35	1,82%	18,62	4,72%	23,00
	CBN11.3	26,35	1,82%	18,63	4,78%	23,00

Tabla 5.14. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de las combinaciones CBN 11 en las tres semanas de observación.
Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 17.91 y 25.08 °C, es decir se logró subir 0.82 grados a la temperatura promedio mínima y 3.32 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 18.47 y 26.13 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir la temperatura en 0.47 y 0.85 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.82 y 5.83, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 19.5 y 23.5 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21 y 25 °C aproximadamente según la figura 5.84.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no tienen un buen desenvolvimiento en las temperaturas bajas.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 11.1, mientras que la opción CBN 11.2 tuvo el más bajo rendimiento en la semana del mes de marzo.

Combinación CBN 12

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN12:

- CBN 12.1.- Lana de Roca en fachada, Lana de vidrio en cubierta carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 12.2.- Lana de Roca en fachada, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 12.3.- Lana de Roca en fachada, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.85 - 5.90) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 12 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

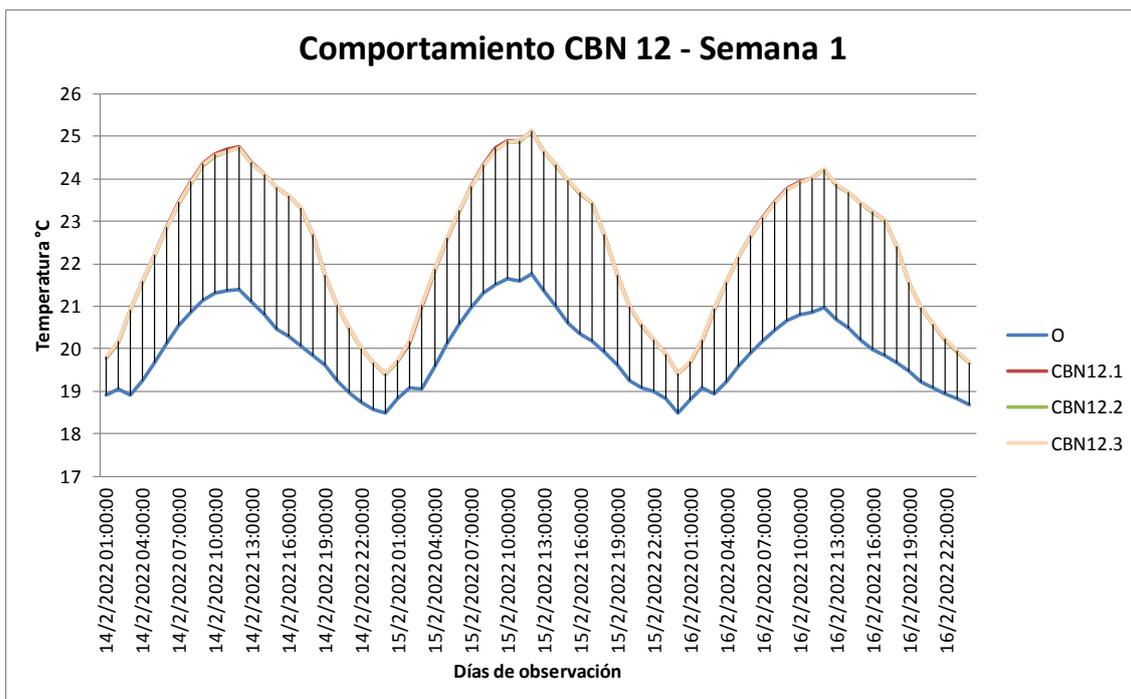


Figura 5.85. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 12 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

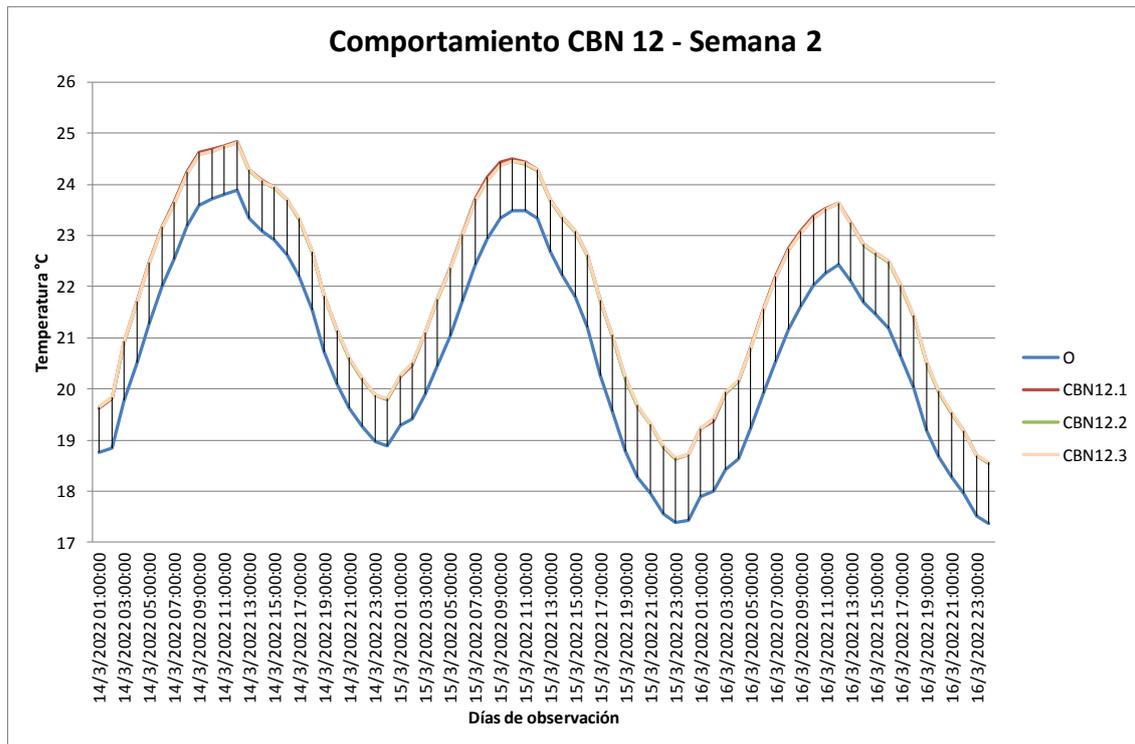


Figura 5.86. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 12 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

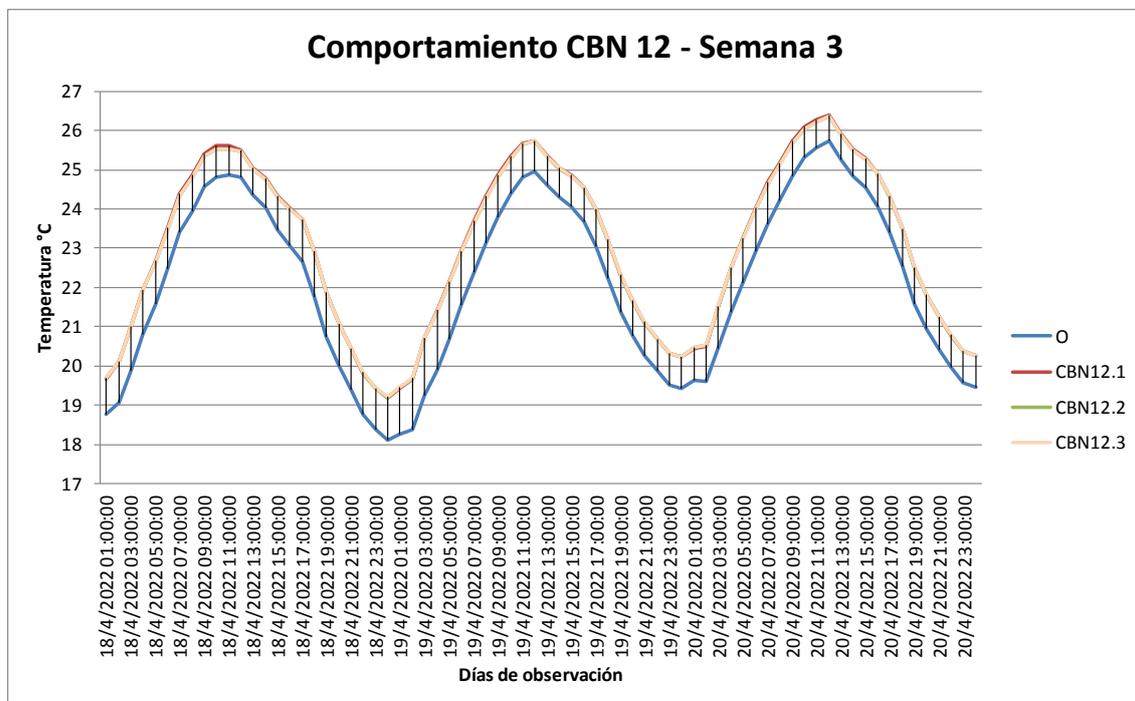


Figura 5.87. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 12 - Semana del 18 al 24 de abril. Fuente: Archivo del autor.

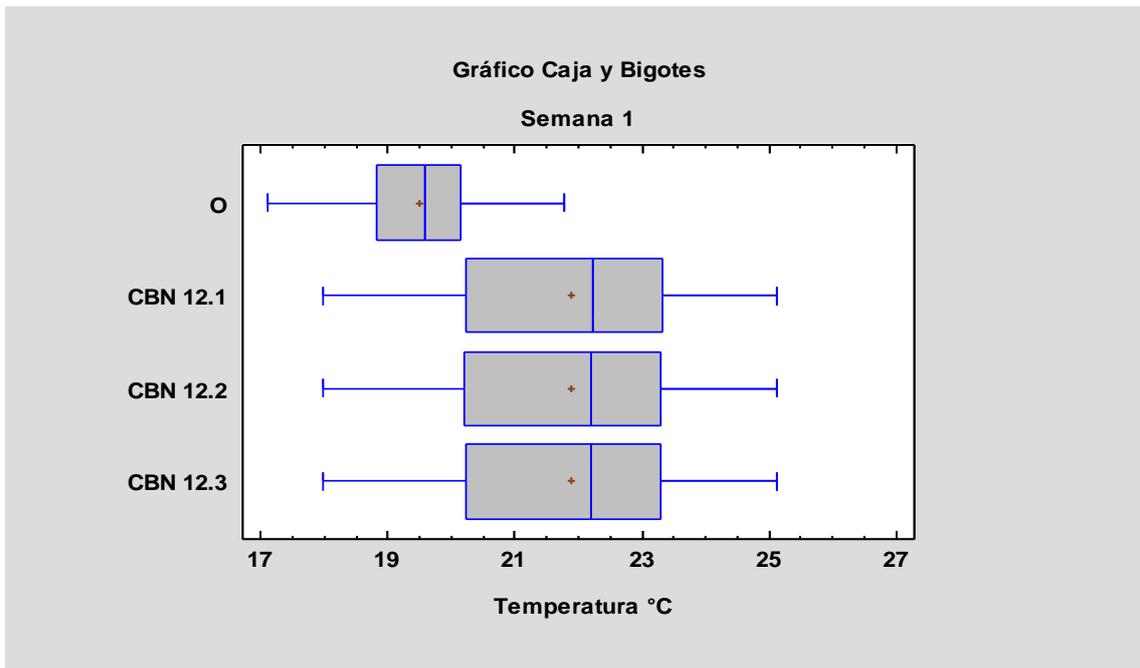


Figura 5.88. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 12 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

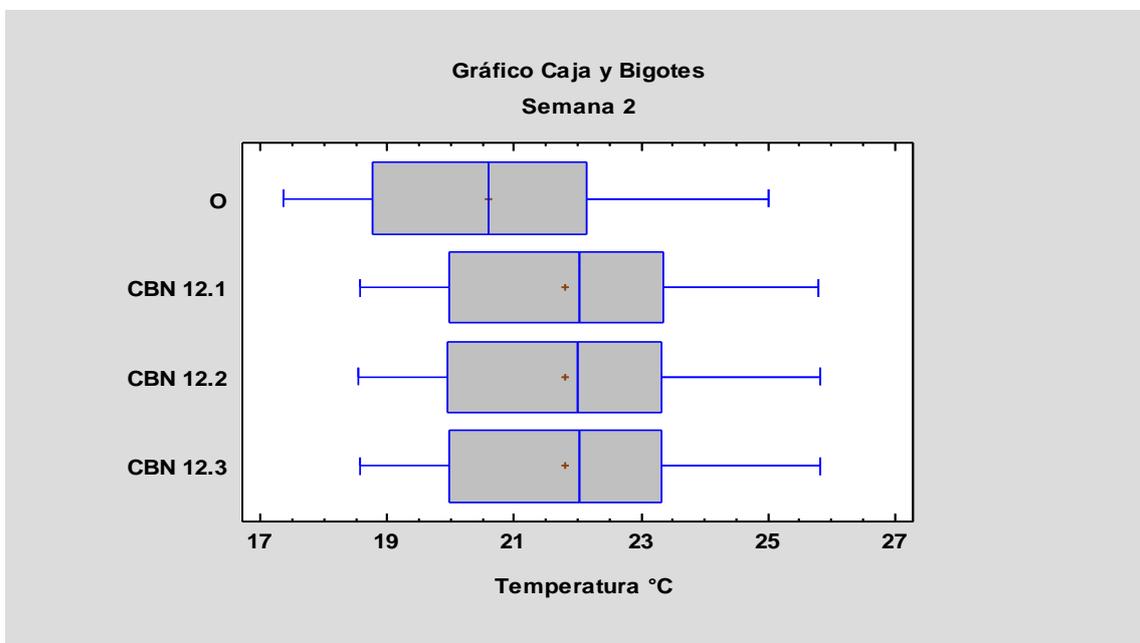


Figura 5.89. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 12 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

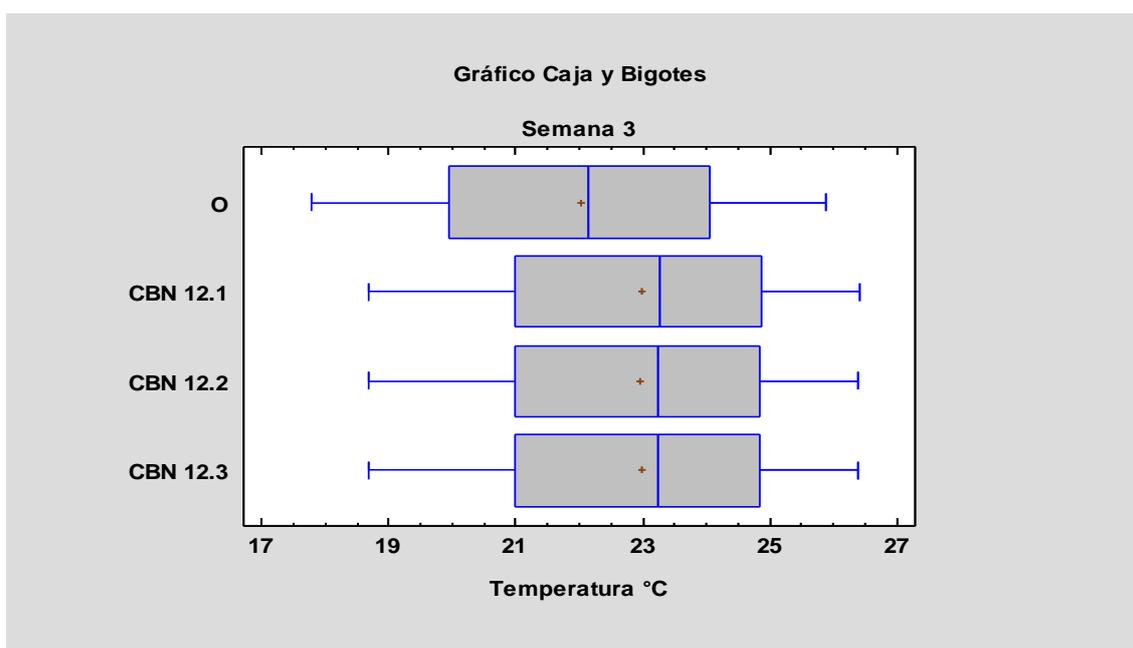


Figura 5.90. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 12 - Semana del 18 al 24 de abril.
Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.15), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura a Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura a Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN12.1	25,13	15,49%	17,98	5,15%	21,93
	CBN12.2	25,11	15,4%	17,98	5,15%	21,97
	CBN12.3	25,12	15,44%	17,99	5,20%	21,98
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN12.1	26,17	2,79%	18,56	6,91%	21,95
	CBN12.2	26,17	2,79%	18,54	6,80%	21,94
	CBN12.3	26,18	2,83%	18,56	6,91%	21,95
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN12.1	26,42	2,09%	18,67	5,01%	23,07
	CBN12.2	26,39	1,97%	18,67	5,01%	23,05
	CBN12.3	26,39	1,97%	18,68	5,06%	23,06

Tabla 5.15. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de las combinaciones CBN 12 en las tres semanas de observación.
Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 19:00 y las 04:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 17.98 y 25.13 °C, es decir se logró subir 0.89 grados a la temperatura promedio mínima y 3.37 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 18.54 y 26.18 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir la temperatura en 0.51 y 0.90 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.88 y 5.89, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20 y 23.5 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21 y 25 °C aproximadamente según la figura 5.90.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no tienen un buen desenvolvimiento en las temperaturas bajas.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 12.1, sin embargo la misma opción tuvo el más bajo rendimiento en la semana del mes de febrero.

Combinación CBN 13

La simulación y comparación de comportamiento se realizó entre los siguientes elementos de la combinación CBN13:

- CBN 13.1.- Lana de Vidrio en fachada, Lana de vidrio en cubierta carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 3-6mm.
- CBN 13.2.- Lana de Vidrio en fachada, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-6mm.
- CBN 13.3.- Lana de Vidrio en fachada, Lana de vidrio en cubierta, carpintería con rotura de puente térmico y doble cristal de 6-13mm.

Después de realizar las simulaciones se pasó a extraer los resultados obtenidos y a compararlos de una manera gráfica (Figuras 5.91 - 5.96) para observar el comportamiento de las combinaciones CBN 13 en relación al cerramiento original.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos:

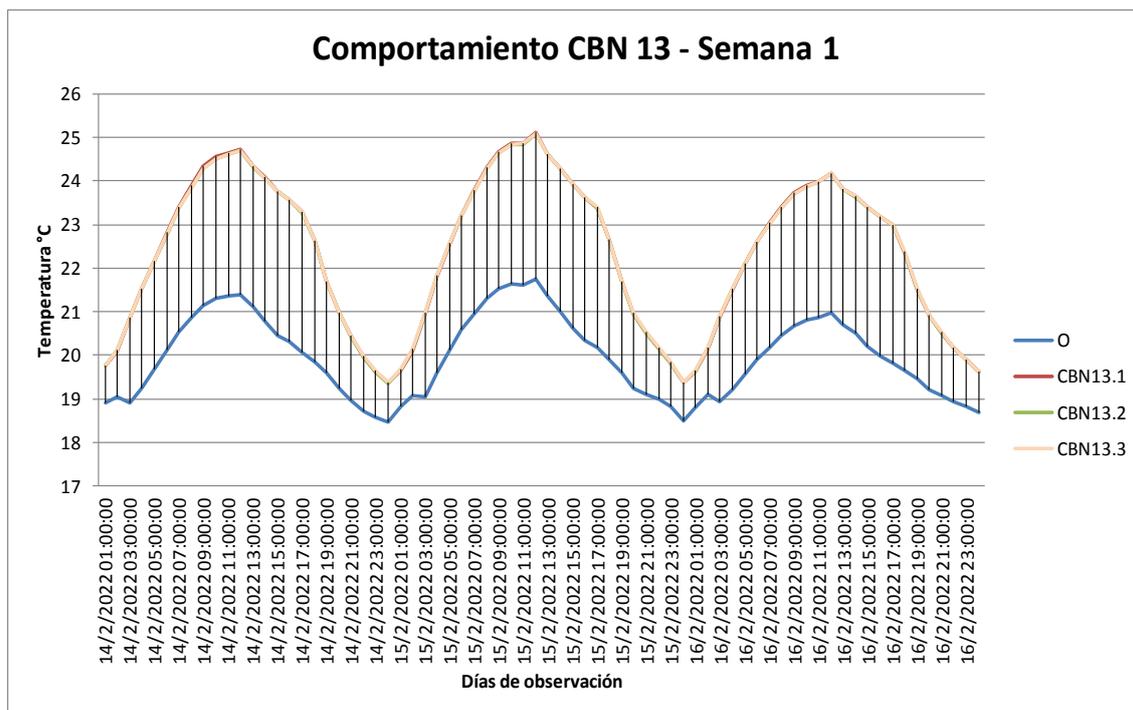


Figura 5.91. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 13 - Semana del 14 al 20 de febrero. Fuente: Archivo del autor.

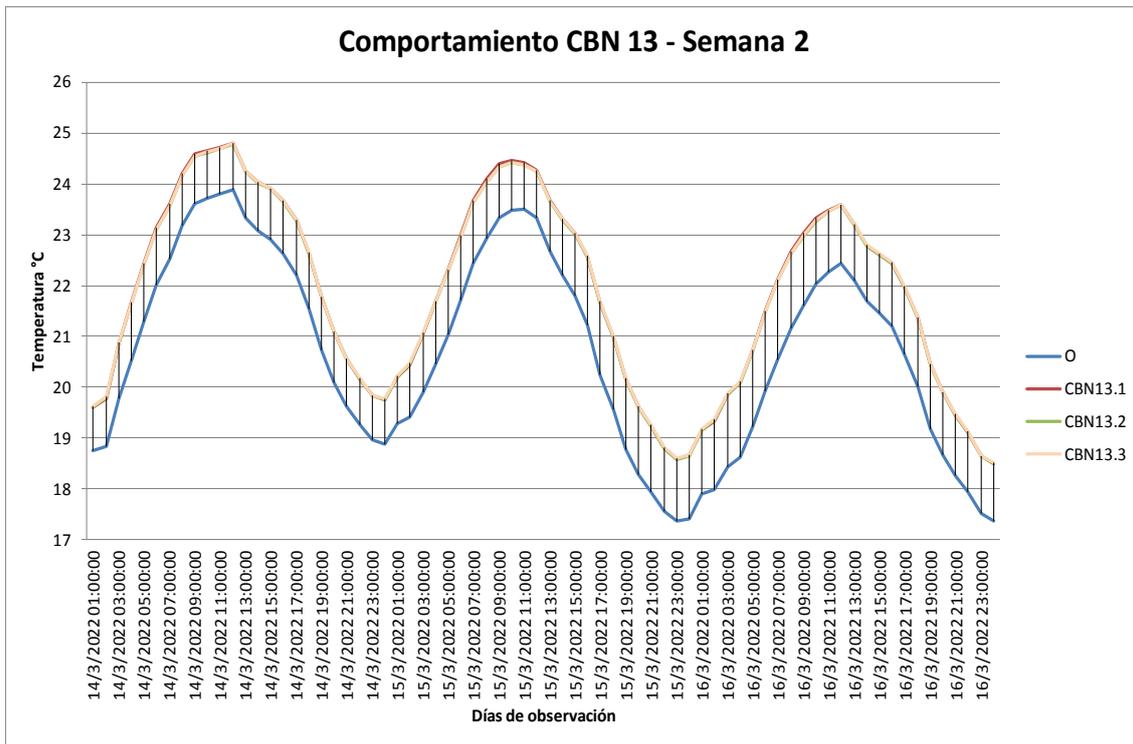


Figura 5.92. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 13 - Semana del 14 al 20 de marzo. Fuente: Archivo del autor.

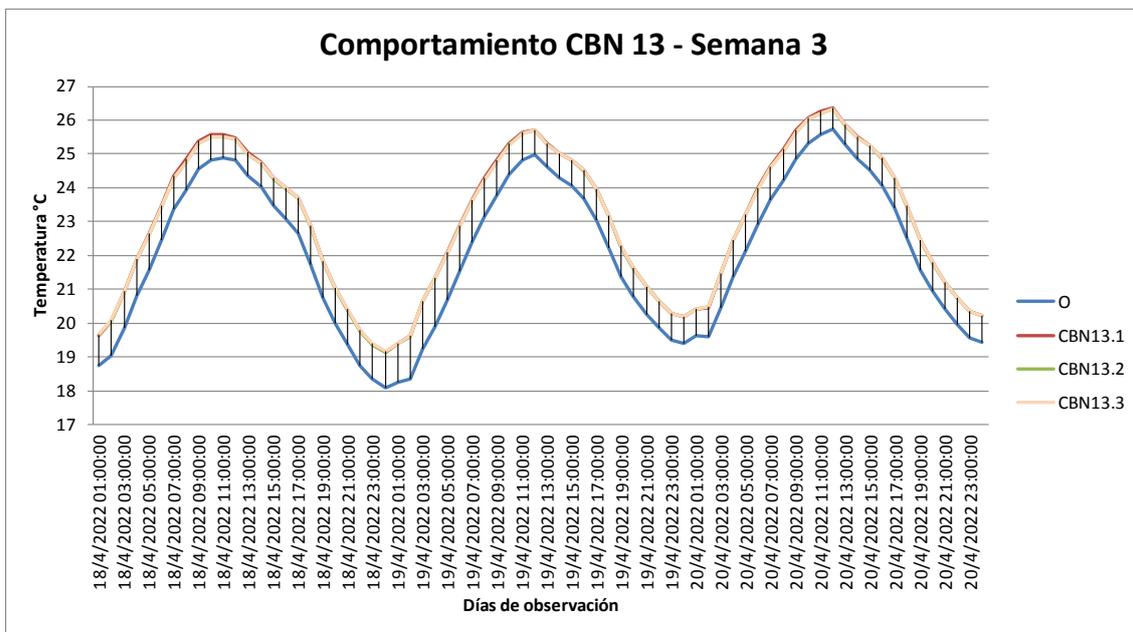


Figura 5.93. Gráfica del comportamiento diario de las combinaciones CBN 13 - Semana del 18 al 24 de abril. Fuente: Archivo del autor.

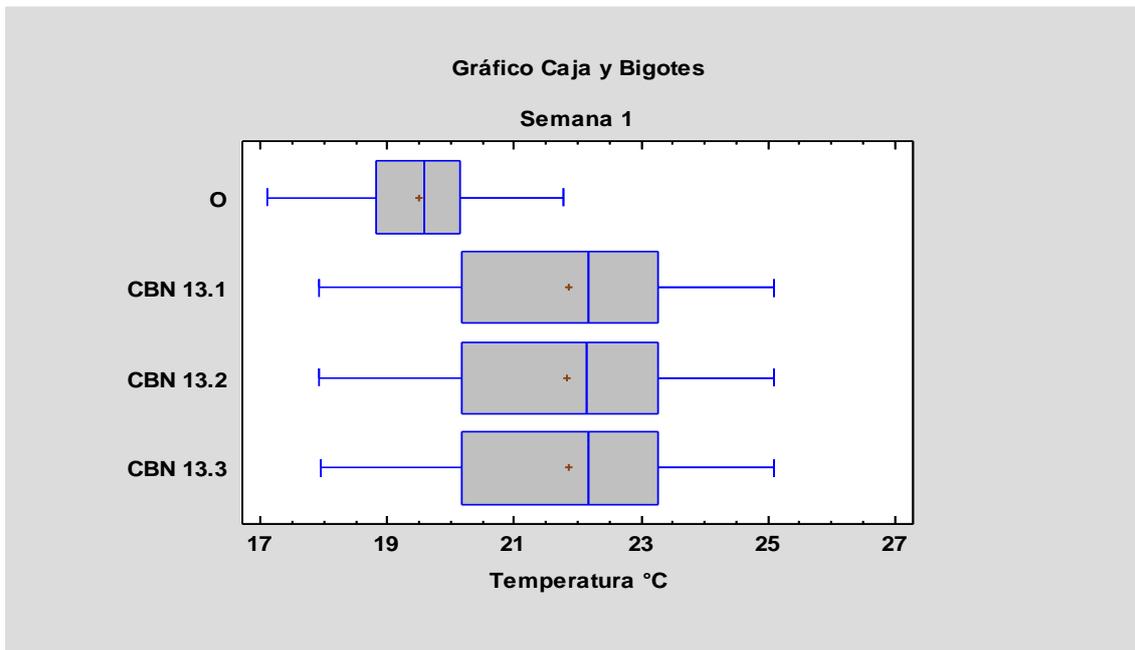


Figura 5.94. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 13 - Semana del 14 al 20 de febrero.
Fuente: Archivo del autor.

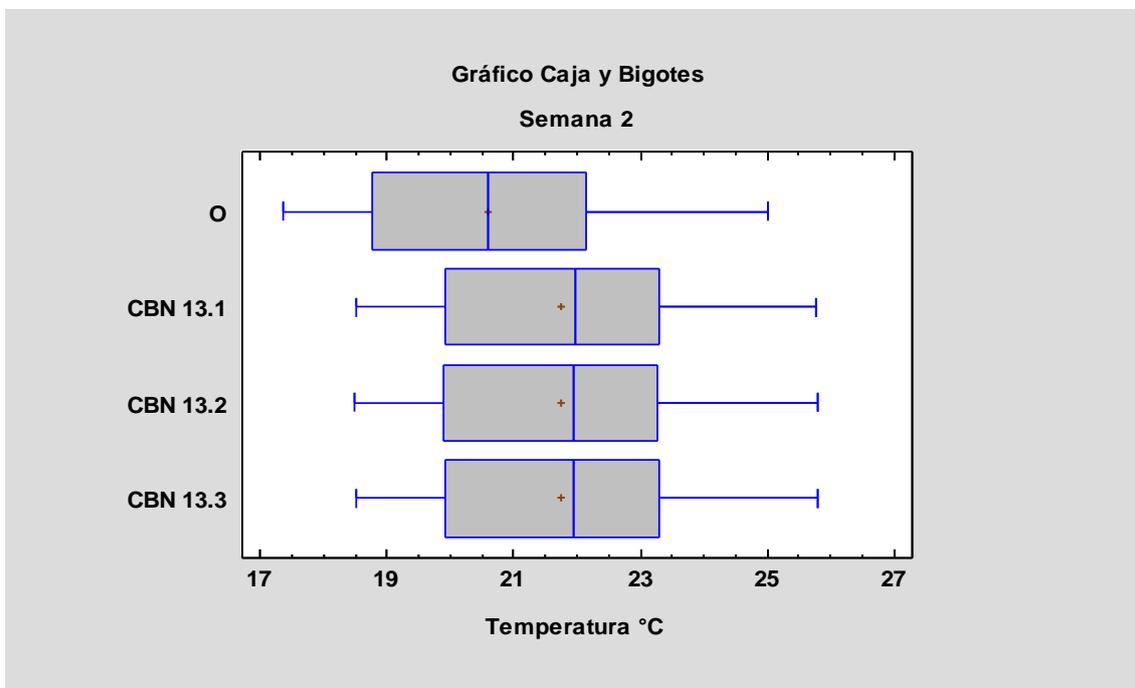


Figura 5.95. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 13 - Semana del 14 al 20 de marzo.
Fuente: Archivo del autor.

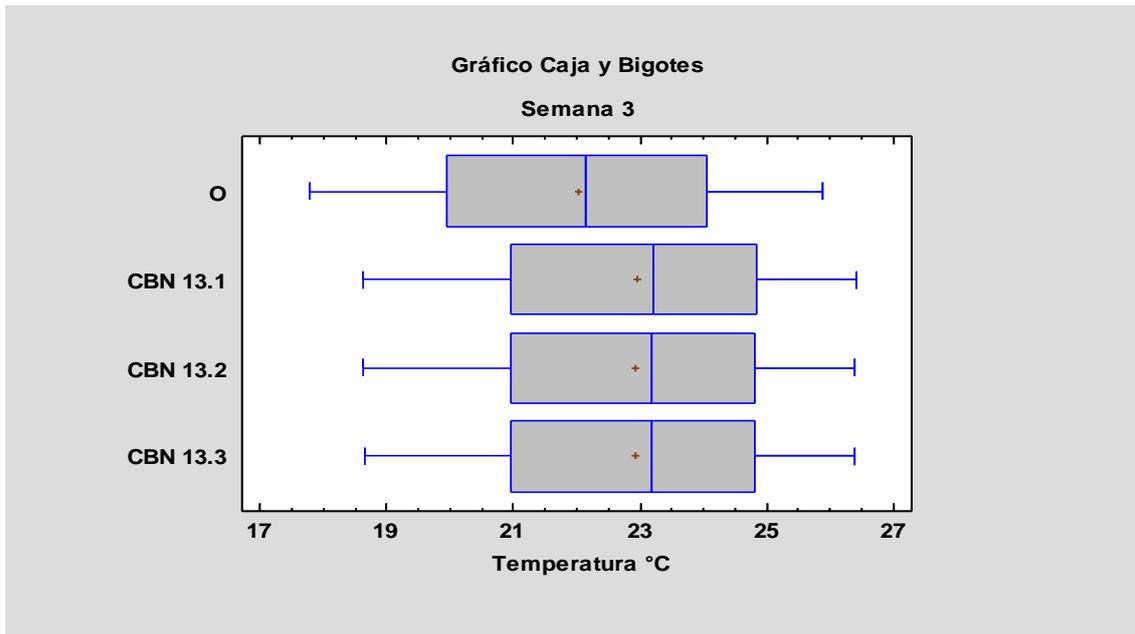


Figura 5.96. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las combinaciones CBN 13 - Semana del 18 al 24 de abril. Fuente: Archivo del autor.

Con los rangos de datos observados en las semanas de estudio se revisaron los porcentajes de incrementos en las temperaturas máximas y mínimas (Tabla 5.16), con el fin de obtener valores que puedan ser comparados con las demás opciones.

Semana	Cod.	Temperatura Máxima (°C)	Incremento Tra. Máx. respecto a O (%)	Temperatura Mínima (°C)	Incremento Tra. Mín. respecto a O (%)	Promedio (°C)
1	O	21,76	-	17,10	-	19,53
	CBN13.1	25,10	15,35%	17,93	4,85%	21,94
	CBN13.2	25,09	15,30%	17,93	4,85%	21,93
	CBN13.3	25,10	15,35%	17,94	4,91%	21,94
2	O	25,46	-	17,36	-	20,78
	CBN13.1	26,15	2,71%	18,51	6,62%	21,91
	CBN13.2	26,15	2,71%	18,49	6,51%	21,89
	CBN13.3	26,15	2,71%	18,51	6,62%	21,91
3	O	25,88	-	17,78	-	22,03
	CBN13.1	26,40	2,01%	18,63	4,78%	23,04
	CBN13.2	26,38	1,93%	18,63	4,78%	23,02
	CBN13.3	26,38	1,93%	18,64	4,84%	23,03

Tabla 5.16. Tabla comparativa de máximos, mínimos y promedio de las combinaciones CBN 13 en las tres semanas de observación. Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la semana de invierno del 14 al 20 de febrero, podemos observar una oscilación de temperaturas internas medias entre 17.10 y 21.76 °C en el estado original, siendo las temperaturas medias más bajas registradas entre las 21:00 y las 03:00. Con la simulación, se alcanzó un incremento en la oscilación de las temperaturas internas medias entre 17.93 y 25.10 °C, es decir se logró subir 0.84 grados a la temperatura promedio mínima y 3.34 grados a la temperatura promedio máxima.

En la semana de equinoccio del 14 al 20 de marzo, la temperatura promedio mínima interior en estado original no tiene un cambio significativo, sin embargo la temperatura máxima interior sube cerca de 4°C con relación al mes anterior ubicándose las mismas en 17.36 y 25.46 °C, después de la simulación se consiguió ubicar las temperaturas promedio en un rango entre 18.51 y 26.15 °C.

En la semana de primavera del 18 al 24 de abril, las temperaturas promedio máximas y mínimas interior sufren un leve incremento en su estado original en relación al mes de marzo y se ubican entre 17.78 y 25.88 °C. Después de haber realizado las simulaciones conseguimos subir la temperatura en 0.52 y 0.86 °C a las temperaturas promedio máximas y mínimas.

Con las propuestas de mejora, según las figuras 5.94 y 5.95, el 50% del tiempo de las semanas del mes de febrero y marzo las temperaturas están entre 20 y 23.5 °C aproximadamente; mientras que en la semana del mes de abril el 50% del tiempo, las temperaturas se ubican entre 21 y 25 °C aproximadamente según la figura 5.96.

Podemos apreciar también que los materiales propuestos en esta combinación no tienen un buen desenvolvimiento en las temperaturas bajas.

La semana del mes de abril alcanzó la mejor respuesta de temperatura promedio con la combinación CBN 13.1, mientras que la opción CBN 13.2 tuvo el más bajo rendimiento en la semana del mes de marzo.

Combinaciones Agrupadas

En este apartado se han elaborado las gráficas (Figuras. 5.97, 5.98 y 5.99) de cajas y bigotes de todas las combinaciones planteadas en cada semana de estudio, con el objetivo de realizar un comparativo entre las mismas.

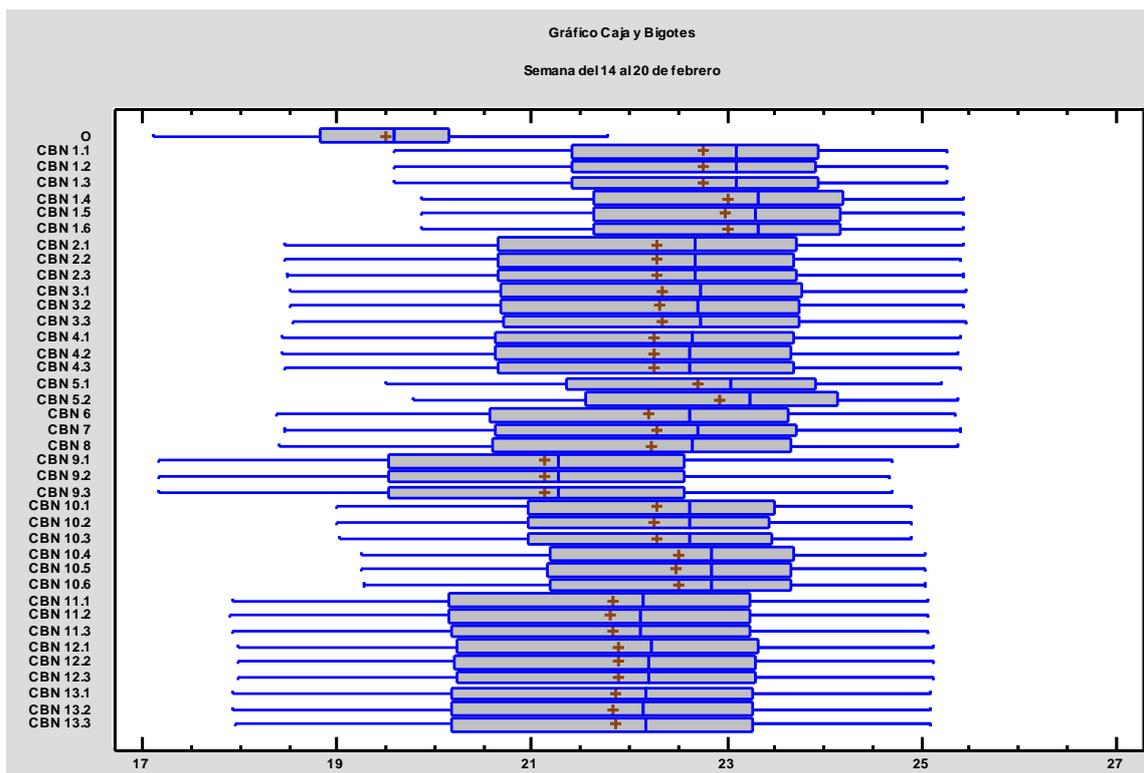


Figura 5.97. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las todas las combinaciones propuestas en la semana del 14 al 20 de febrero de 2022.

Fuente: Archivo del autor.

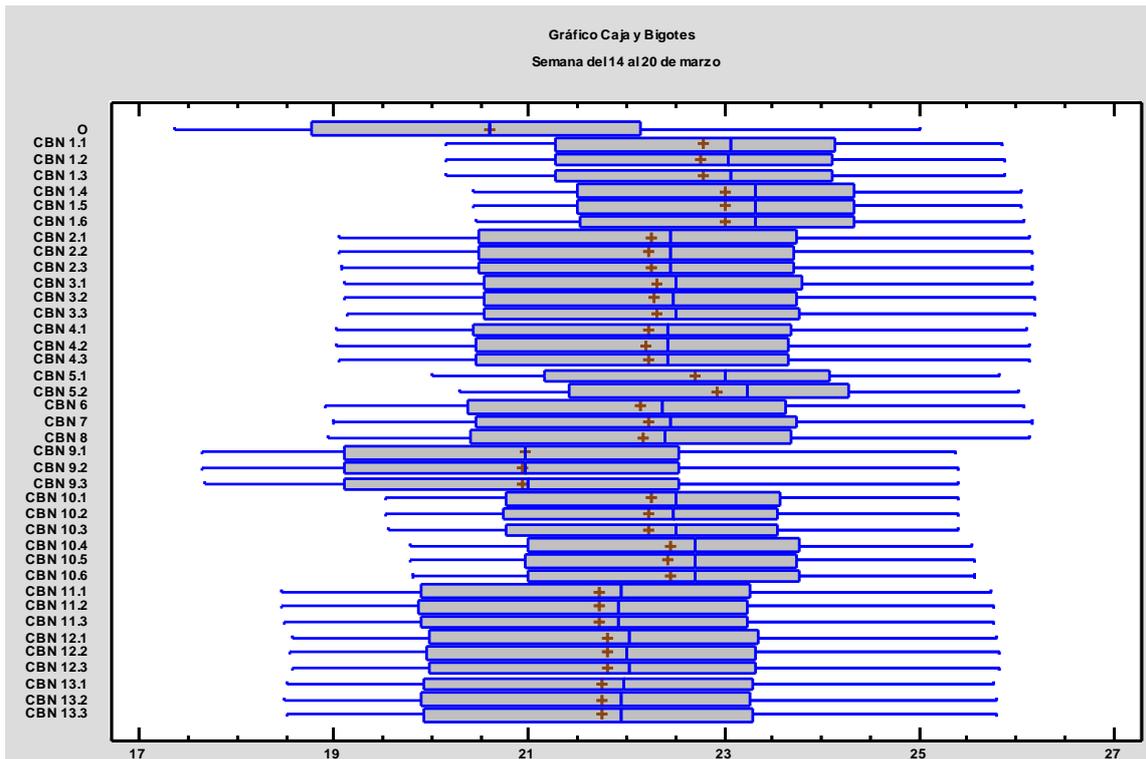


Figura 5.98. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las todas las combinaciones propuestas en la semana del 14 al 20 de marzo de 2022.
Fuente: Archivo del autor.

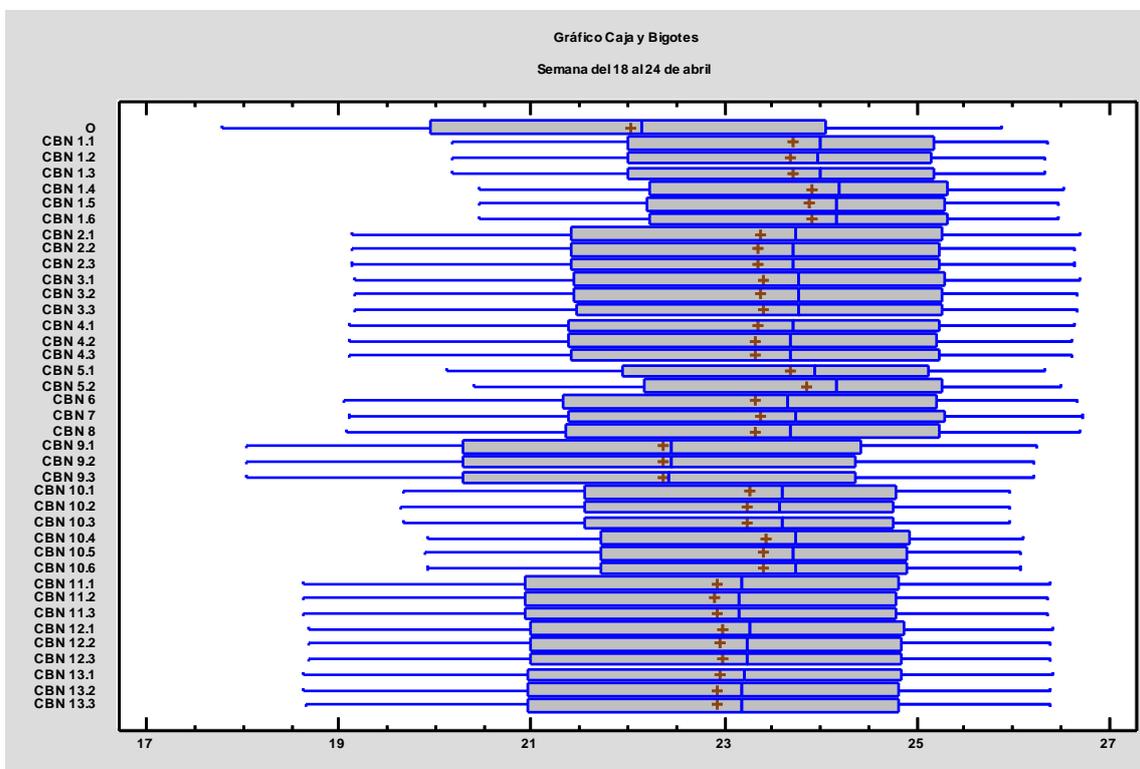


Figura 5.99. Gráfica comparativa de cajas y bigotes de las todas las combinaciones propuestas en la semana del 14 al 20 de febrero de 2021.
Fuente: Archivo del autor.

Análisis:

En la figura 5.97 referente a la semana del 14 al 20 de febrero, podemos observar claramente que el cerramiento original está alejado de los rangos que se alcanzan con las todas las combinaciones, podemos apreciar la influencia de las temperaturas de invierno por cuanto es el mes con la temperatura baja más alta del año, en contraposición es uno de los meses con los días más largos, lo cual influencia en la captación solar en los materiales que se colocaron en la fachada, es así que las combinaciones que tienen un aislamiento exterior como las CBN 1 y CBN 5 destacan sobre las demás. También observamos que el rango de temperaturas se ubican entre los 19.5 y 25.5 °C.

En la figura 5.98 referente a la semana del 14 al 20 de marzo, podemos observar que un 50% del tiempo se encuentran las temperaturas internas en un rango de confort con el cerramiento original, teniendo en cuenta que marzo al igual que febrero es uno de los meses con los días más largos del año también aprovecha la captación solar en los materiales externos, es así que las combinaciones que tienen un aislamiento exterior como las CBN 1 y CBN 5 destacan sobre las demás. También observamos que el rango de temperaturas se ubican entre los 20 y 26 °C.

En la figura 5.99 referente a la semana del 18 al 24 de abril, podemos observar que un 75% del tiempo se encuentran las temperaturas internas en un rango de confort con el cerramiento original, teniendo en cuenta que abril es uno de los meses con menos luz solar del año, aprovecha la captación solar en los materiales externos con el fin de almacenar calor, es así que las combinaciones que tienen un aislamiento exterior como las CBN 1 y CBN 5 destacan sobre las demás. También observamos que el rango de temperaturas se ubican entre los 20 y 26.5 °C.

Finalmente hemos podido verificar que los sistemas de aislamiento térmico por el exterior se acoplan de una manera adecuada a estos tipos de vivienda por los siguientes factores:

- Al colocarse los SATE por el exterior no se reducen espacios al interior de la vivienda.
- Se puede colocar por etapas, no necesariamente se debe colocar alrededor de toda la vivienda.
- El factor económico es también muy importante, por cuanto es una opción económica con respecto a las opciones de la colocación de lanas. (Tabla 4.6)

6. CONCLUSIONES

Este trabajo de investigación utilizó un caso particular como metodología por conveniencia para buscar una solución general adecuada para mejorar la envolvente constructiva en climas de tipo continental templado de la sierra ecuatoriana que han sido construidas con materiales propios de la zona.

En el desarrollo del trabajo se revisó el proceso de elaboración de un ladrillo macizo típico de la región así como también se elaboró un modelo de vivienda en donde parametrizamos tanto los materiales utilizados actualmente como los materiales que se usarán para mejorar el aislamiento.

Se utilizaron 13 combinaciones de materiales para adicionarlos en las fachadas, ventanas y cubierta; los resultados promedios de temperaturas internas que se obtuvieron al realizar estas simulaciones fueron:

• Con la combinación CBN 1:	Tra. Mín. 20.11°C	Tra. Máx. 26.02°C
• Con la combinación CBN 2:	Tra. Mín. 18.88°C	Tra. Máx. 26.19°C
• Con la combinación CBN 3:	Tra. Mín. 18.93°C	Tra. Máx. 26.22°C
• Con la combinación CBN 4:	Tra. Mín. 18.86°C	Tra. Máx. 26.16°C
• Con la combinación CBN 5:	Tra. Mín. 20.00°C	Tra. Máx. 26.00°C
• Con la combinación CBN 6:	Tra. Mín. 18.78°C	Tra. Máx. 26.15°C
• Con la combinación CBN 7:	Tra. Mín. 18.85°C	Tra. Máx. 26.21°C
• Con la combinación CBN 8:	Tra. Mín. 18.80°C	Tra. Máx. 26.18°C
• Con la combinación CBN 9:	Tra. Mín. 17.62°C	Tra. Máx. 25.59°C
• Con la combinación CBN 10:	Tra. Mín. 19.52°C	Tra. Máx. 25.61°C
• Con la combinación CBN 11:	Tra. Mín. 18.34°C	Tra. Máx. 25.85°C
• Con la combinación CBN 12:	Tra. Mín. 18.40°C	Tra. Máx. 25.90°C
• Con la combinación CBN 13:	Tra. Mín. 18.36°C	Tra. Máx. 25.88°C

En conclusión, las combinaciones CBN 1 y CBN 5 alcanzaron los rangos entre 20.11°C - 26.02°C y 20.00°C - 26.00°C respectivamente, mostrando un mejor rendimiento con respecto a las temperaturas internas promedio del caso de estudio que se ubican entre 17.41°C - 24.37°C; dichas combinaciones tienen materiales pertenecientes a los sistemas de aislamiento térmico por el exterior, los cuales, al ser combinados con opciones como el doble vidrio o el aislamiento de la cubierta, nos ubican en el rango de confort térmico permisible de la carta psicométrica de Givoni, es decir en el rango de temperatura de 20°C a 27°C, un rango que es ideal para un clima donde la temperatura externa se ubica entre 3.8 y 13.6°C

Una desventaja encontrada en el proceso de simulación utilizando Design Builder y principalmente en su motor de simulaciones Energy Plus, es que no se cuenta con

un archivo climático propio de la localidad, sin embargo existe la posibilidad de poder elaborarlo manualmente a través de datos que se han introducido.

Los datos fueron capturados por data loggers ubicados en la vivienda de estudio, sin embargo, existe la incertidumbre sobre la integridad de los mismos debido a que han sido obtenidos a través de equipos electrónicos caseros.

6.1. INVESTIGACIONES A FUTURO

El presente trabajo de Fin de Máster es una antesala a trabajos de investigación más pormenorizados, puesto que todavía existe mucho por investigar en el campo de las estrategias bioclimáticas pasivas, brevemente podríamos comentar que existen en el mercado opciones de aislamiento que aún están en fases de desarrollo y que en un futuro cercano podrían utilizarse de manera más común en el aislamiento de fachadas, dichas opciones podrían estar al alcance de cualquier persona y su instalación y eficacia pueden ser mejores que las revisadas en este trabajo.

De igual manera los equipos que han sido utilizados para el monitoreo y recolección de datos de las temperaturas interiores y exteriores, son equipos que no cuentan con una certificación profesional para fines investigativos, lo cual limita en cierta manera la eficacia rigurosa de tener medidas exactas.

Adicionalmente, en el trabajo se incorporó la opción de utilizar la lana de oveja por cuanto en el lugar existen granjas con fines de crianza de ganado ovino, sin embargo la falta de industrialización de este elemento en el cantón Chambo puede cambiar en un futuro.

También se debería investigar a más de la eficiencia, el tiempo de vida de los diferentes materiales revisados en el presente trabajo, los mismos que están expuestos a condiciones de un clima continental templado con una alta precipitación anual.

Las Universidades son fuentes de experimentos que podrían usarse con el fin de mejorar y descubrir nuevos materiales, que sean más sostenibles y eficaces al momento de buscar soluciones pasivas para mejorar espacios que buscan tener un confort térmico adecuado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Organización de Naciones Unidas. (n.d.). *Las personas se ven afectadas por el cambio climático de diversas maneras*.
<https://www.un.org/es/climatechange/what-is-climate-change>
- [2] GAD Municipal de Chambo. (2019). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial 2019-2023*.
<https://www.gobiernodechambo.gob.ec/chambo/index.php/component/content/article/54-documentos-municipales/291-documentos-municipales>
- [3] Reddy, T. A. (2006). Literature review on calibration of building energy simulation programs. *Ashrae Trans*, 112(1), 226–240.
- [4] US Department of Energy, “EnergyPlus engineering reference: The reference to energyplus calculations,”2010.
- [5] Manzano-Agugliaro, F., Montoya, F. G., Sabio-Ortega, A., y García-Cruz, A. (2015). Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 49, 736–755.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>
- [6] DesignBuilder Lat. (2018). Módulo Simulaciones. Características y Especificaciones. Obtenido de Design Builder Lat. www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/modulo-simulacion
- [7] Fanger, P. (1970). *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Copenhagen: Danish Technical Press; URL <http://books.google.es/books?id=S0FSAAAAMAAJ>
- [8] *Passive Low Energy Architecture*,
<http://plea-arch.org/>
[Google Scholar](#)
- [9] Mulvaney, D. (2019). Green new deal, *Solar Power*, 47-65,
<https://doi.org/10.2307/j.ctvd1c6zh.7>
- [10] EU
Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 may 2010 on the energy performance of buildings (recast)
Off. J. Eur. Union (2010), pp. 13-35.
<http://dx.doi.org/10.3000/17252555.L 2010.153.eng>.

- [11] Commission, E. (2011) A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050. vol. 112, COM
<https://core.ac.uk/download/pdf/10592331.pdf>
- [12] Eur-Lex
32018L0844 - EN - EUR-Lex (n.d.)
[https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj"\t" _blank](https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/844/oj)
- [13] Asamblea Nacional Constituyente del Ecuador. (2011). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito, Ecuador.
<https://www.asambleanacional.gob.ec/>
- [14] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2020). Normas Ecuatorianas de la Construcción. Quito, Ecuador.
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/biblioteca/>
- [15] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (Diciembre, 2014). Código NEC-SE-VIVIENDA - Vivienda de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 m Norma Ecuatoriana de la Construcción
<https://construccionesuce.wordpress.com/nec-se-vivienda-parte-1>
<https://construccionesuce.wordpress.com/nec-se-vivienda-parte-2>
<https://construccionesuce.wordpress.com/nec-se-vivienda-parte-3>
<https://construccionesuce.wordpress.com/nec-se-vivienda-parte-4>
- [16] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (Febrero, 2018). Código NEC-HS-EE - Eficiencia Energética Norma Ecuatoriana de la Construcción
<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wpcontent/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- [17] Organización de Naciones Unidas. (Octubre, 2016). *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Vivienda y Desarrollo Urbano Sostenible: Hábitat III | Naciones Unidas*.
<https://www.un.org/es/conferences/habitat/Quito2016>
- [18] Olgyay, V y Olgyay A. (1963)
Design With Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism (1st edition), Princeton University Press, Princeton, New Jersey
<http://www.us.debiblio.com/login?url=https://www.jstor.org/stable/43323219>
- [19] B. Givoni, B. Man (1969)
Climate and Architecture
Elsevier Publ, Co. Amsterdam
<https://www.osti.gov/biblio/5058042>
- [20] Givoni, B. (1992) Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy Build* 1992;18(1):11-23.
[http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788\(92\)90047-K](http://dx.doi.org/10.1016/0378-7788(92)90047-K) URL
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037877889290047K>.

- [21] Manzano-Agugliaro, F., Montoya G., Sabio-Ortega, A., & García-Cruz, A. (2015)
Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort
Renew. Sustain. Energy Rev., 49, pp. 736-755,.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.095>.
- [22] Hernández-Sánchez, J.M. (2012). Consumo energético y emisiones asociadas del sector residencial. A: *International Congress on Project Engineering*. "15th International Congress on Project Engineering". Huesca: Asociación Española de Ingeniería de Proyectos.
<http://hdl.handle.net/2117/15059>
- [23] Celis Damico, F., Escorcía Oyola, O., Díaz Cisternas, M., García Alvarado, R., y Echeverría Valiente, E. (2012, December).
Incidencia de la forma y envolvente en el desempeño térmico de las viviendas del centro-sur de Chile - Dialnet.
Hábitat Sustentable, Vol. 2. [https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?Codigo=5224368)
Codigo=5224368
- [24] Jelle, B.P. (2011)
Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions - Properties, requirements and possibilities
Energy Build., 43, pp. 2549-2563.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.05.015>
- [25] Larsson, U, Moshfegh, B y Sandberg M. (1999)
Thermal analysis of super insulated windows (numerical and experimental investigations)
Energy Build., 29, pp. 121-128.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788\(98\)00041-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0378-7788(98)00041-3).
- [26] Acampa, G, García, G, O, Grasso, M. y Díaz-López, C. (2019)
Project sustainability: criteria to be introduced in BIM
Valori e Valutazioni, pp. 119-128.
[http://refhub.elsevier.com/S0360-1323\(21\)00238-9/sref20](http://refhub.elsevier.com/S0360-1323(21)00238-9/sref20)
- [27] Melgar, S. G., Bohórquez, A., Manuel, M. J, y Marquez, A. (n.d.).
Caracterización efectiva de la envolvente térmica del edificio antes y después de su rehabilitación energética.
Conference: REHABEND 2018 Euro-American Congress on Construction Pathology, Rehabilitation Technology and Heritage Management. At: Cáceres (Spain), Mayo 2018.
<https://www.researchgate.net/publication/328737952>
- [28] Coronado Hernández, Gabriela. (2017). Influencia de las estrategias de diseño pasivo en la reducción del consumo energético de la tipología de edificio docente de la República Dominicana mediante el BIM. Tesis de maestría. Universidad de Sevilla. Sevilla, España

- [29] Levy, F. (2011). *BIM in Small-Scale Sustainable Design*.
<https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=8HDoNSZJ48AC&oi=fnd&pg=PR9&dq=BIM+in+Small-Scale+Sustainable+Design&ots=hl6Pz-ehY9&sig=b4KdanmCdYpdMOEyekOiZjzofPs#v=onepage&q=BIM%20in%20Small-Scale%20Sustainable%20Design&f=false>
- [30] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., y Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*.
- [31] Weather Atlas. (2022).(n.d.). *Chambo, Ecuador - Pronóstico del tiempo y Temperatura por hora - Hoy*. Retrieved August 12, 2022, from
<https://www.weather-atlas.com/es/ecuador/chambo>
- [32] Moreno Llango, M. J., y Polo Funes, M. C. (2012). *Análisis y elaboración de un ladrillo de barro producido con los materiales del cantón Chambo que cumplan con las especificaciones de calidad necesarias*.
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/503>
- [33] González Escobar, M. I. (2011). *Determinar los Perfiles de Temperatura de un Horno para Ladrillos del Sector Chambo*.
<http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1400>
- [34] Caldas, L. (2008). Generation of energy-efficient architecture solutions applying GENE_ARCH: an evolution-based generative design system
Adv. Eng. Inf., 22 pp. 59-70.
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2007.08.012>
- [35] Raftery, P., Keane, M., y Costa, A. (2011). Calibrating whole building energy models: detailed case study using hourly measured data, *Energy Build.* 43 (12)3666–3679.
- [36] Ashrae, (2002). *Ashrae Guide and Data Book(Fundamentals)*, 148.
- [37] Domínguez-Amarillo S., Fernández-Aguera J., Sendra J J., Roaf S., 2019. "The performance of Mediterranean low-income housing in scenarios involving climate change", *Energy Buildings*. 202:1-17.
doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.109374
- [38] Coakley, D., Raftery, P., Molloy, P., y White, G. (2011). Calibration of a detailed BES model to measured data using an evidence-based analytical optimisation approach, in: *Proceedings of 12th Conference of International Building Performance Simulation Association (IBPSA)* 374–381
- [39] Ordoñez García, Arturo. (2017). Manual de ayuda Design Builder en español, Versión 5. [versión PDF]. Sol-Arq. www.designbuilder-lat.com/soporte/manual-de-ayuda

- [40] Statgraphics Technologies, Inc. (2014). Manual de usuario de Statgraphics Centurion XVII. [versión PDF]. Statpoint Inc. www.statgraphics.com

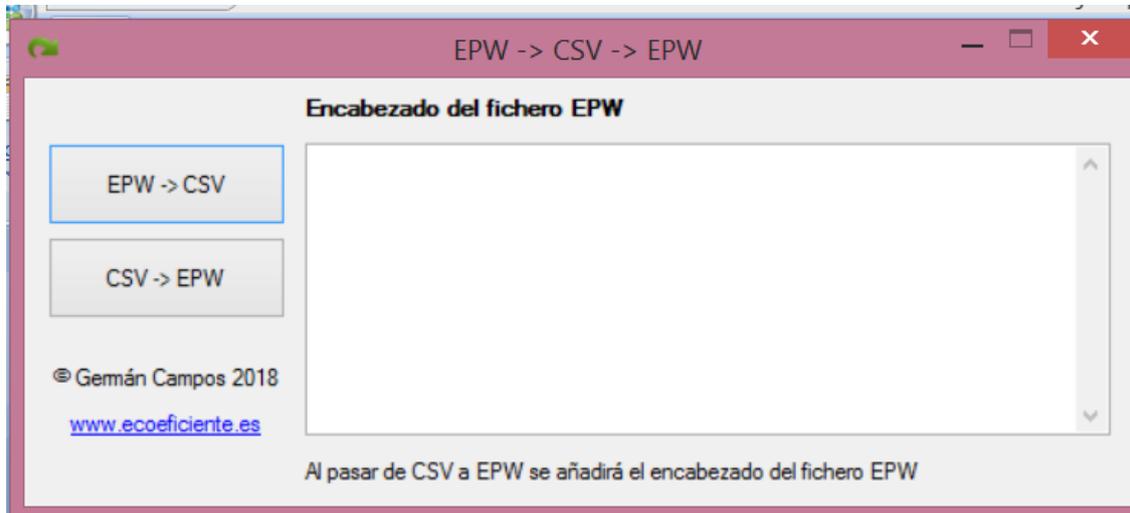
ANEXOS

ANEXO I

CREACIÓN DEL ARCHIVO CLIMÁTICO EPW

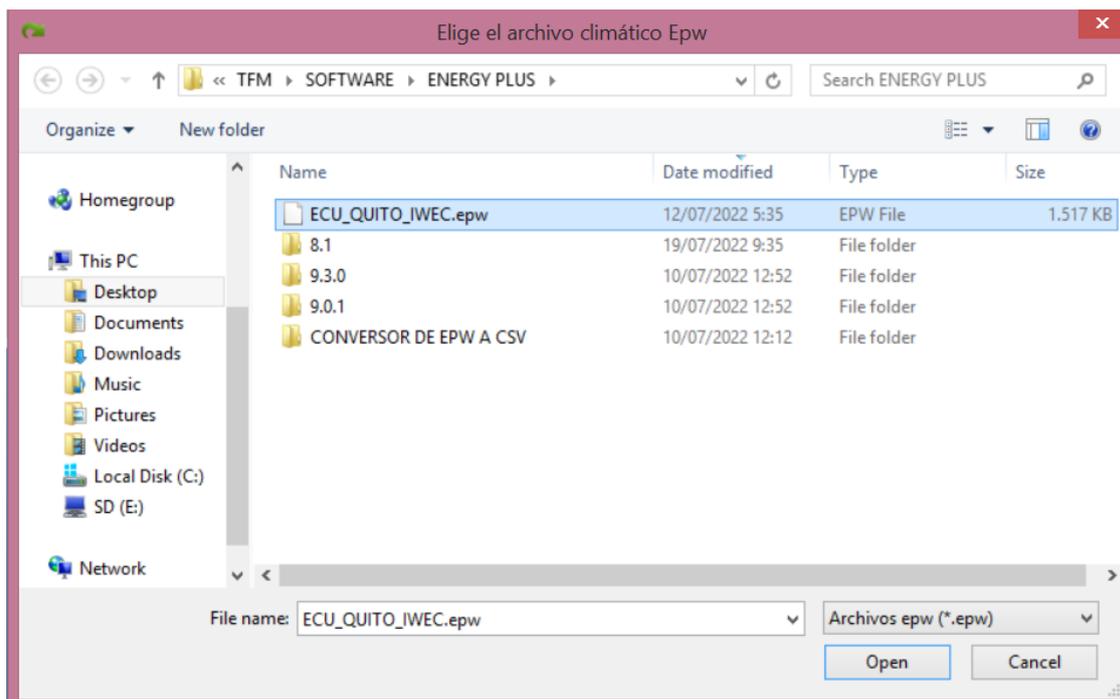
Primero ejecutamos el programa utilitario DeEPWaCSV.exe:

Figura AI.1. Programa DeEPWaCSV.



Luego escogemos el archivo ECU_QUITO_IWEC.epw (Figura AI.2) que pertenece a la región más cercana para poder cambiarlo de extensión, con el objetivo de editar los valores que hemos recolectado en la mediciones de la temperatura y humedad.

Figura AI.2. Configuración archivo EPW.



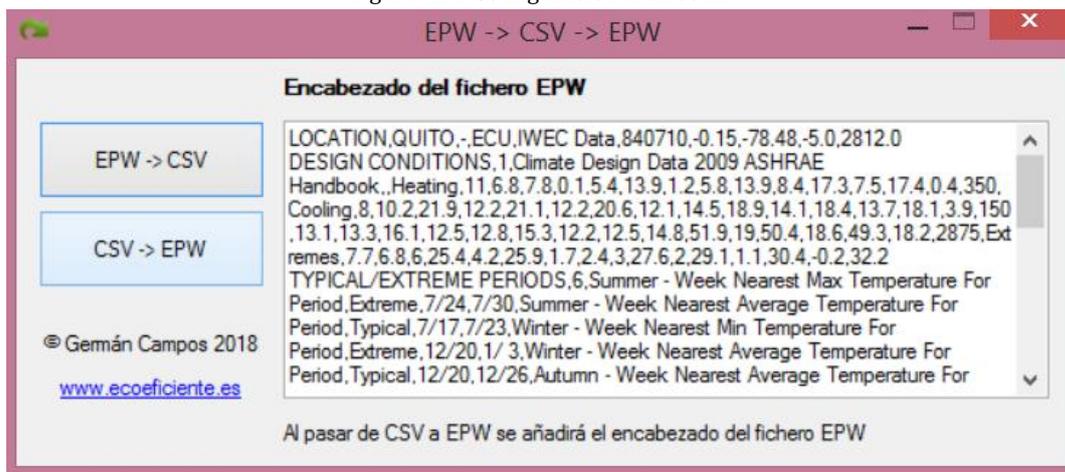
Una vez que se cambió la extensión a CSV, lo abrimos en Microsoft Excel para poder editarlo. (Figura A1.3)

Figura A1.3. Configuración archivo EPW

Año	*Mes	*Día	*Hora	*Minuto	Origen de dat	*Tseca(°C)	*Troció(°C)	*HR(%)	*Patm(Pa)
2002	1	1	1	1	60 C9C9C9*0*0?	11	2	9	0
2002	1	1	1	2	60 C9C9C9*0*0?	10	7	8	6
2002	1	1	1	3	60 C9C9C9*0*0?	10	2	8	1
2002	1	1	1	4	60 C9C9C9*0*0?	9	7	7	6
2002	1	1	1	5	60 C9C9C9*0*0?	9	3	7	3
2002	1	1	1	6	60 C9C9C9*0*0?	9	0	7	0
2002	1	1	1	7	60 A7A7E8*0*0?	9	0	8	0
2002	1	1	1	8	60 A7A7E8*0*0?	10	0	8	0
2002	1	1	1	9	60 B8B8E8*0*0?	13	0	8	0
2002	1	1	1	10	60 A7A7E8*0*0?	16	0	8	0
2002	1	1	1	11	60 A7A7E8*0*0?	16	0	10	0
2002	1	1	1	12	60 A7A7E8*0*0?	17	0	10	0
2002	1	1	1	13	60 A7B8E8*0*0?	25	0	10	0
2002	1	1	1	14	60 A7A7E8*0*0?	19	0	10	0
2002	1	1	1	15	60 A7A7E8*0*0?	18	0	9	0
2002	1	1	1	16	60 A7A7E8*0*0?	17	0	10	0
2002	1	1	1	17	60 A7A7E8*0*0?	14	0	10	0
2002	1	1	1	18	60 A7A7E8*0*0?	13	0	11	0

Una vez editados los valores medidos, grabamos los cambios y mantenemos la extensión del archivo en CSV, para volver a convertirlo en un archivo EPW. (Fig. A1.4)

Figura A1.4. Configuración archivo EPW

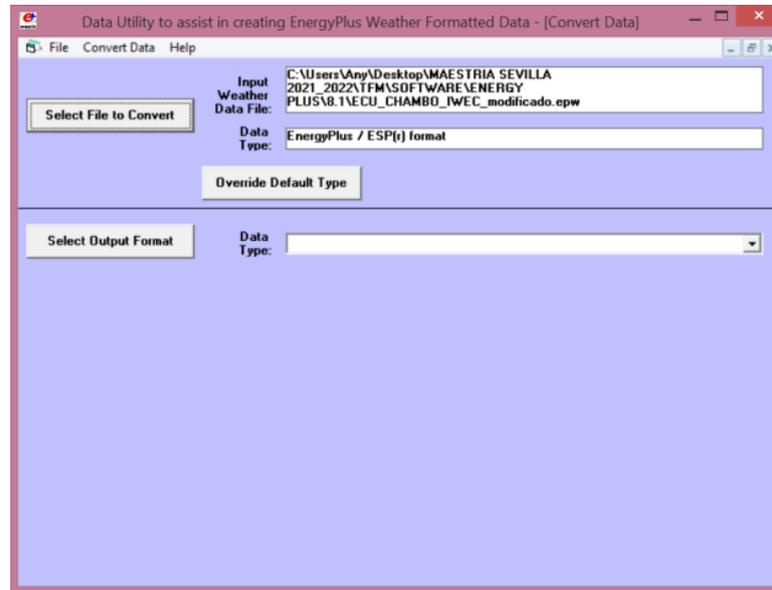


Con el nuevo archivo modificado de extensión EPW, vamos a utilizar otro programa utilitario que viene por defecto en la instalación del programa Energy

Plus con el fin de crear los archivos de librerías (.stat y .ddy) que se usarán en el programa Design Builder.

Posteriormente ejecutamos el programa que se encuentra ubicado en la carpeta C:\\EnergyPlus\\PreProcess\\WeatherConverter\\Weather.exe (Figura A1.5).

Figura A1.5. Configuración archivo EPW.

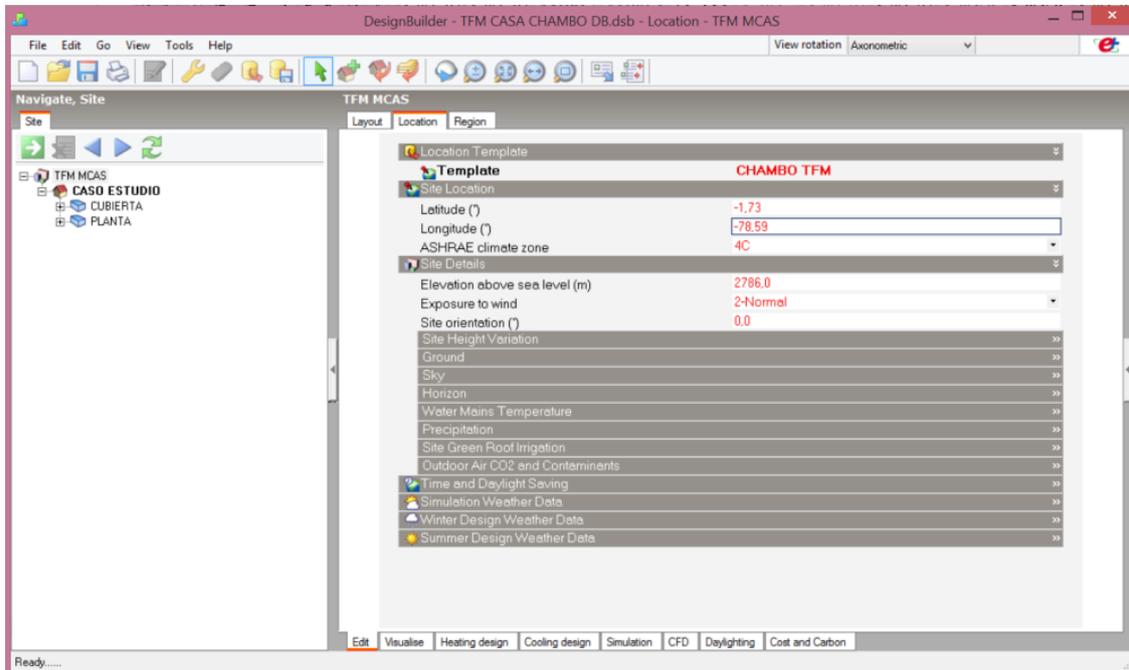


Y una vez ejecutado obtendremos las librerías necesarias para usarlas en las simulaciones del programa Design Builder.

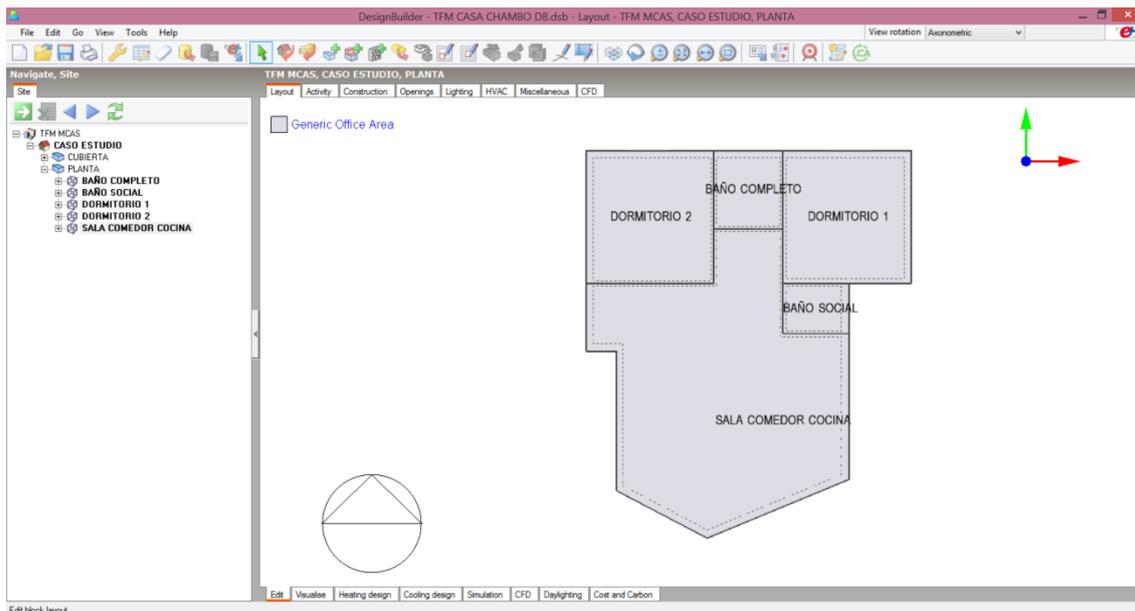
ANEXO II

CONFIGURACIÓN MODELO BASE (VIVIENDA NO OCUPADA)

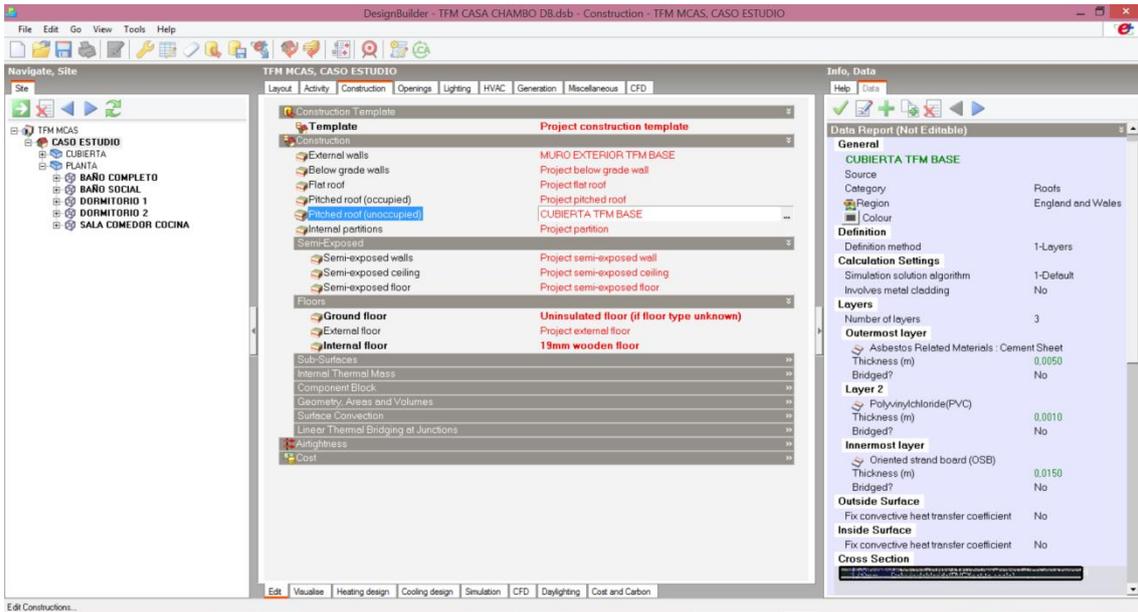
Para calibrar el modelo base utilizado para este trabajo de investigación, incorporaremos primero el archivo climático de la zona de estudio.



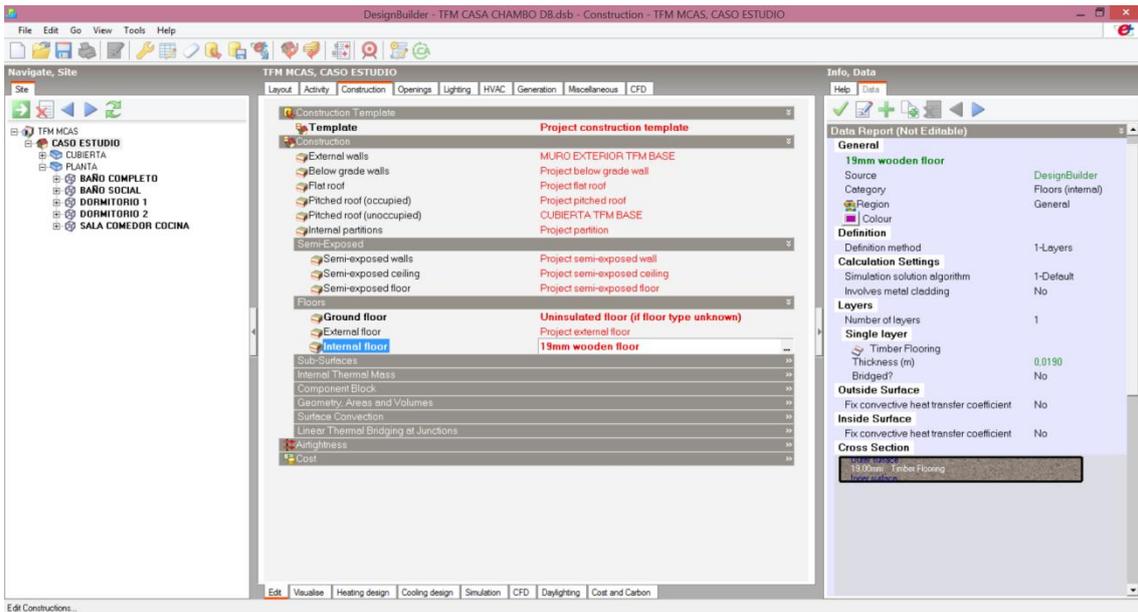
Una vez importado el modelo desde Revit se asocian las zonas.



Cubierta:



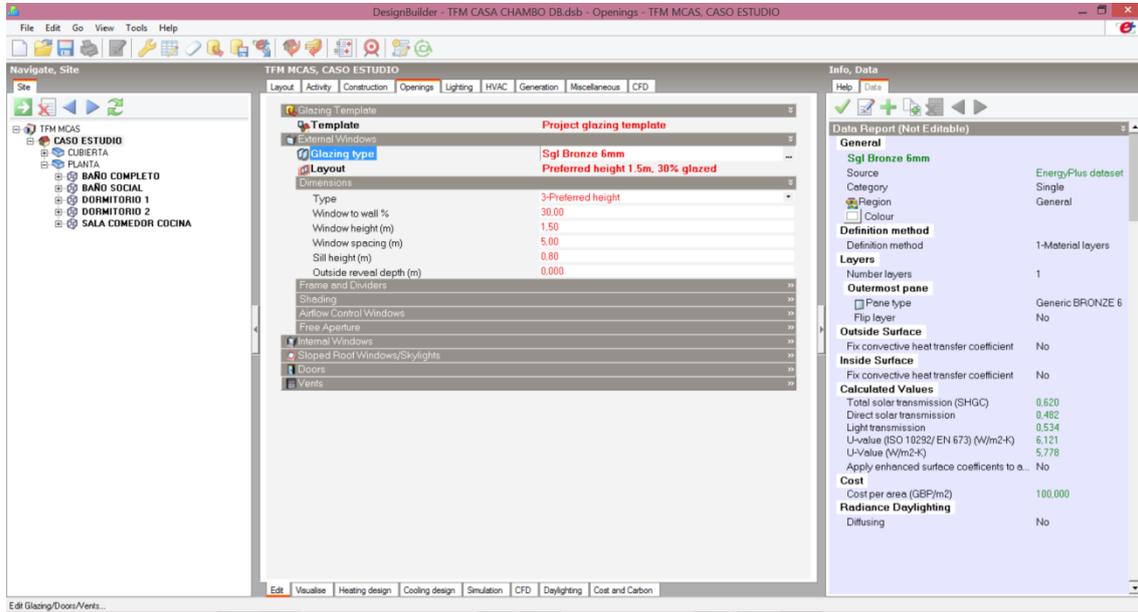
Suelo:



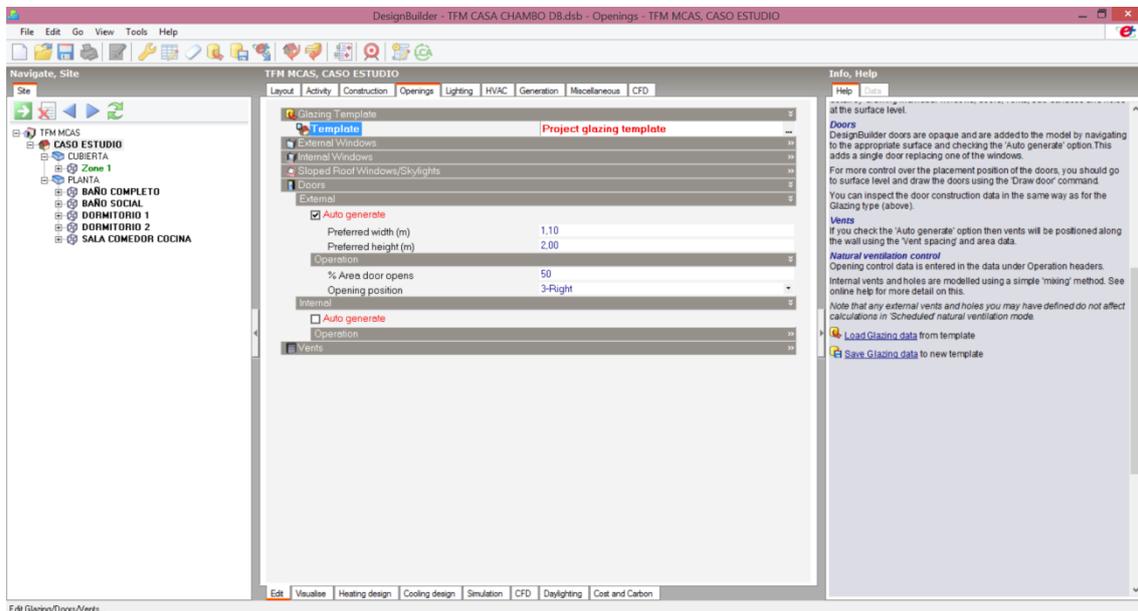
Luego de configurar los elementos constructivos de la fachada, cubierta y suelo; se procede a configurar las aberturas (ventanas) de la vivienda.

En la pestaña de "**Aberturas**", configuramos las ventanas y las puertas de la vivienda.

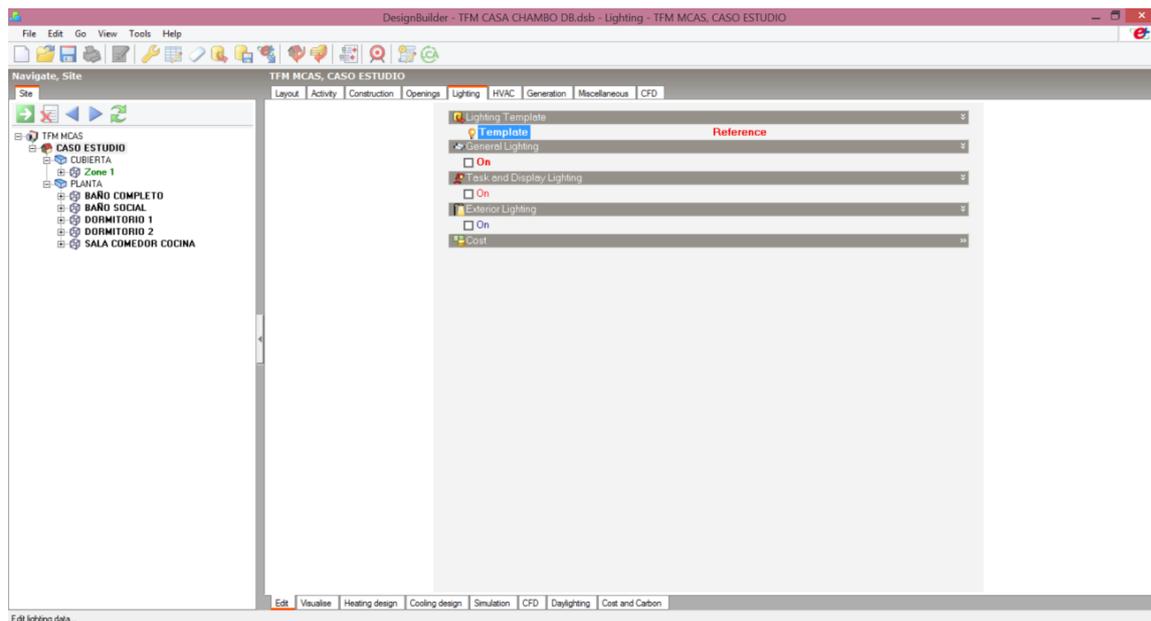
Ventanas:



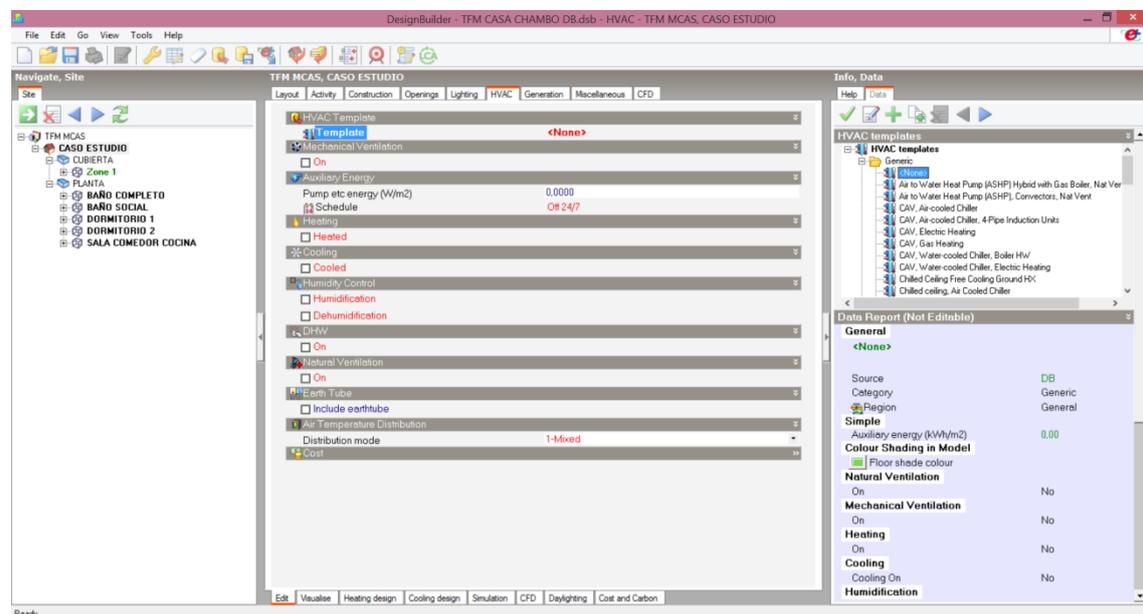
Puertas:



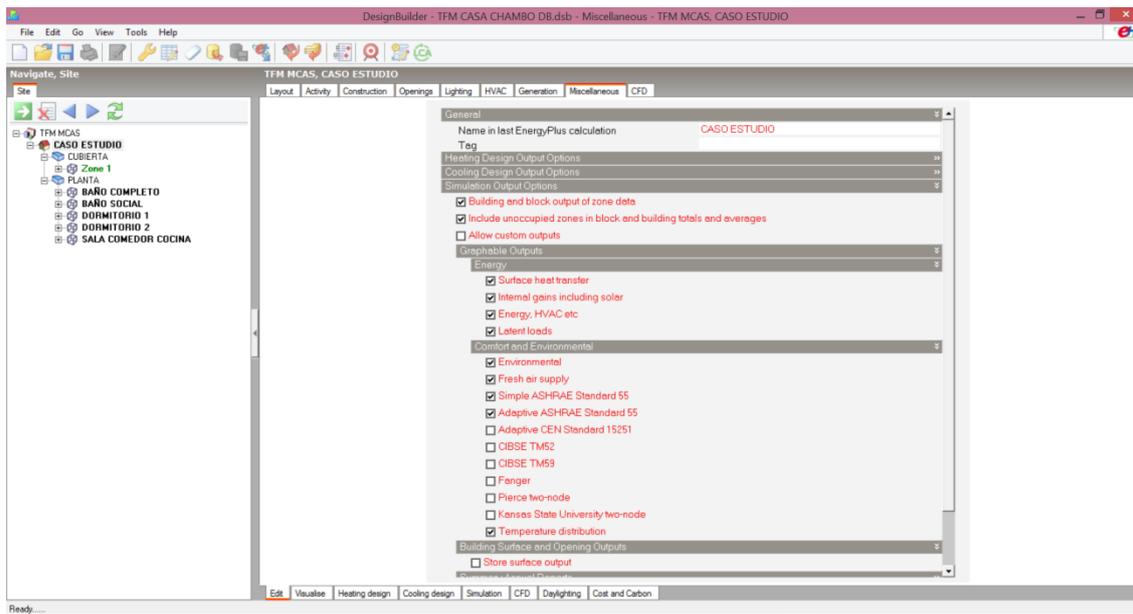
Siguiendo con la configuración base de la vivienda, nos ubicamos en la pestaña "**Iluminación**", en donde desactivaremos los check box por estar deshabilitada.



En cuanto a la pestaña que incluye a los sistemas "HVAC", de igual manera se deshabilitarán todos los casilleros.



En la pestaña "Misceláneos", se marcarán las casillas que son necesarias para la simulación del estado actual de la vivienda sin ocupación.

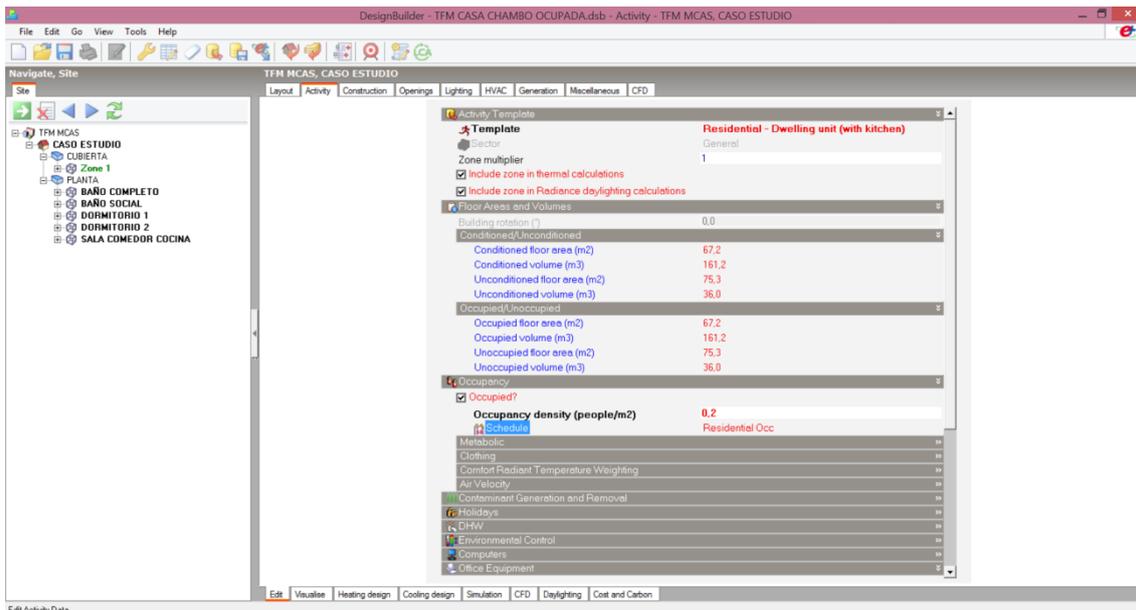


ANEXO III

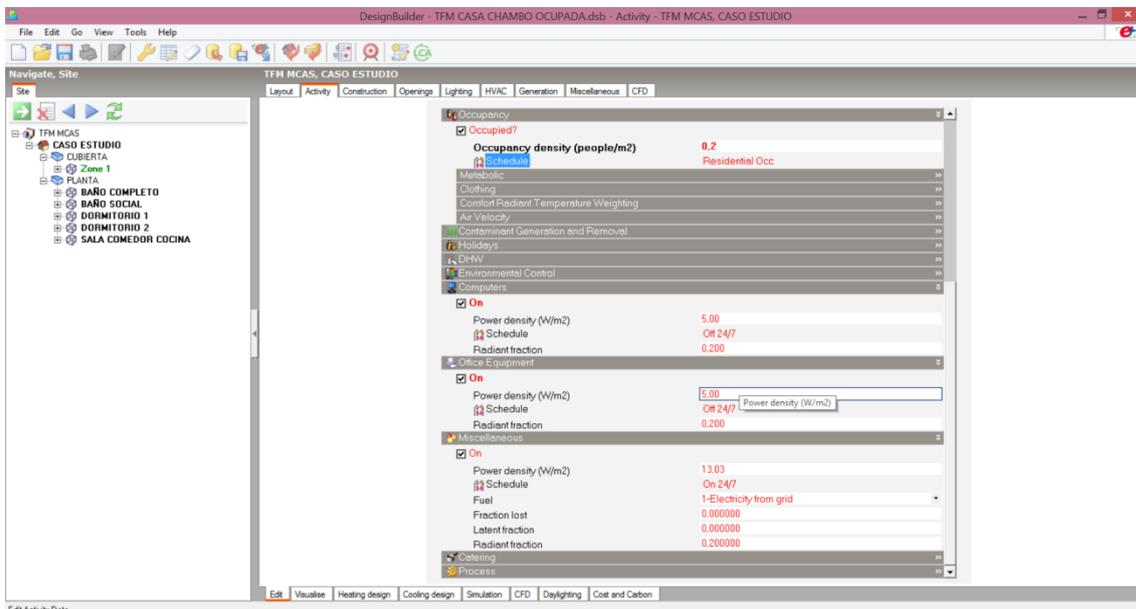
CONFIGURACIÓN MODELO BASE (VIVIENDA OCUPADA)

En este apartado configuraremos las zonas y equipos de acuerdo a su ocupación.

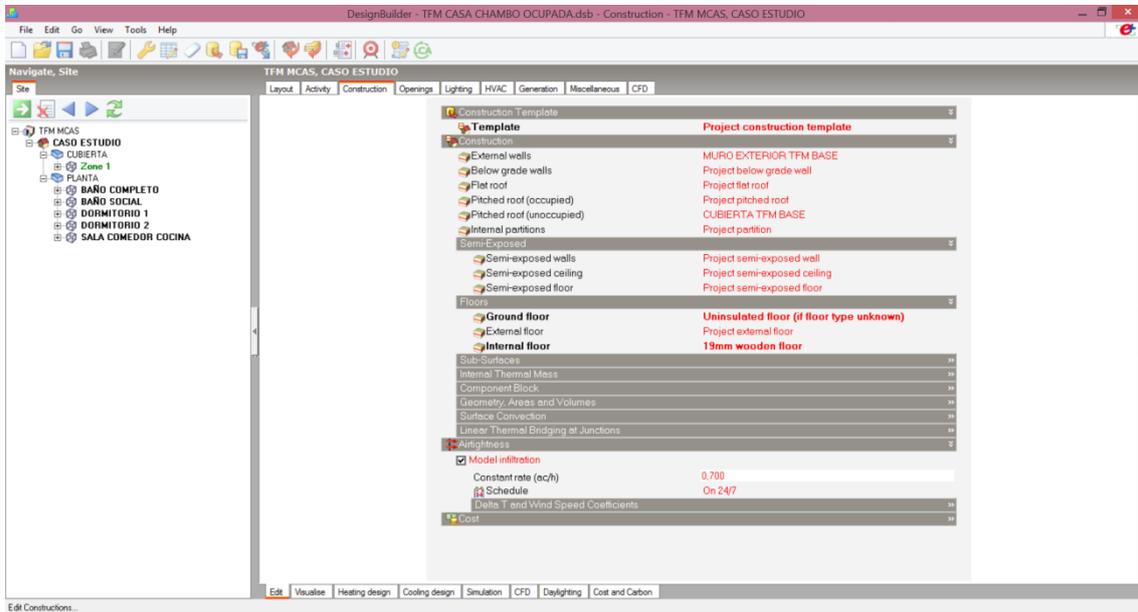
En la pestaña "**Actividad**", configuramos la vivienda unifamiliar con el uso promedio de 4 habitantes.



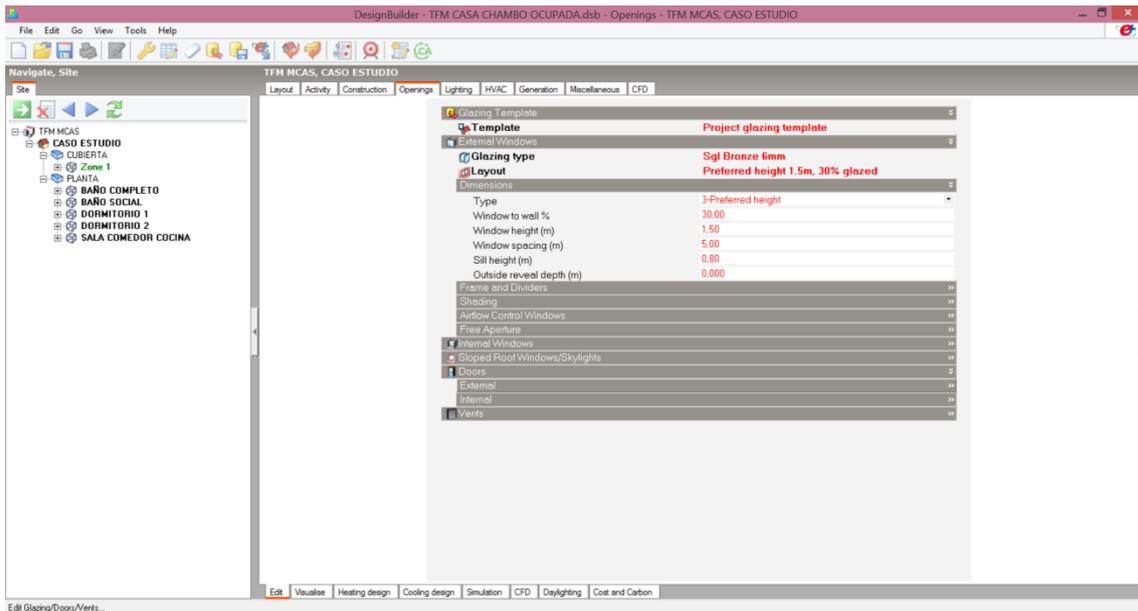
En la misma pestaña de "**Actividad**", configuramos el uso de equipos de la vivienda, de acuerdo a las siguientes casillas. Es importante activar las casillas del uso de los equipos debido a que los mismos generan calor que influye en la temperatura y humedad interna de la vivienda.



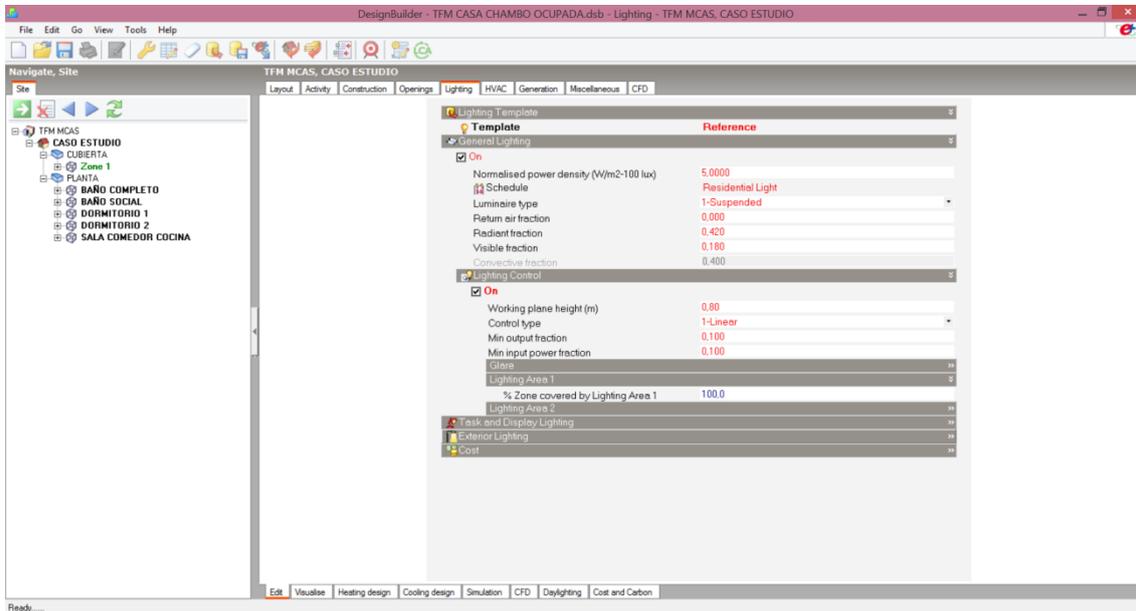
Luego en la pestaña "**Construcción**", dejamos la configuración inicial y solo activamos el modelo de infiltración de aire, el cual nos va a servir para las simulaciones que ejecutaremos más adelante.



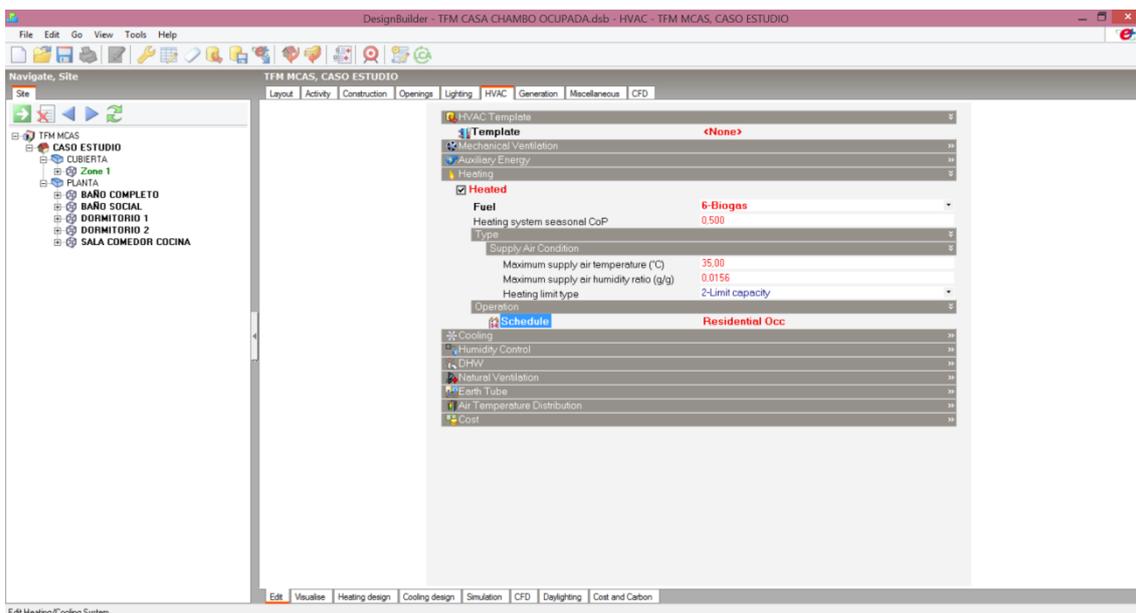
En la pestaña de las "**Aberturas**", dejaremos las opciones configuradas por defecto.



En la pestaña "**Iluminación**", activamos las casillas de Iluminación general y Control de iluminación debido a que estarán interactuando los 4 habitantes en la vivienda.



En la pestaña que incluye a los sistemas "**HVAC**", habilitaremos la casilla referente a calefacción en donde se selecciona la opción del sistema de Biogas, por cuanto es el más usado en las viviendas de la localidad por ser el más económico.



Las pestañas de "**Generación**", "**Misceláneos**" y "**CFD**", no se las configuró.

ANEXO IV.

CALCULO DE INDICADORES MBE Y CV RMSE

Para obtener los indicadores MBE y CV RMSE se elaboró una base de datos por semana con los datos observados y los simulados incluidos las infiltraciones, como se muestra en el siguiente ejemplo:

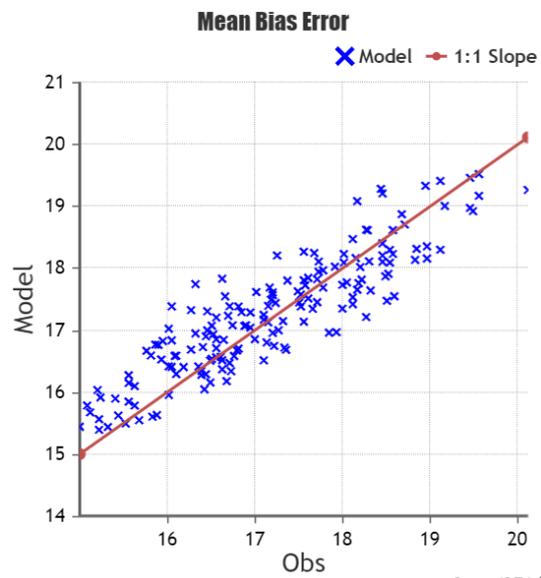
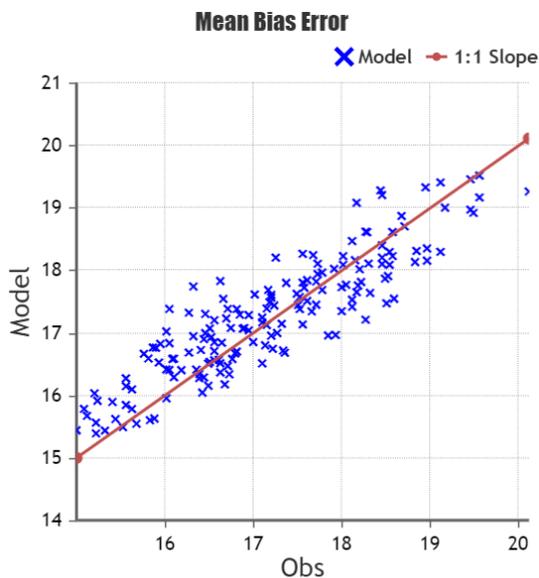
Semana 1	Tra. Interior Datalogger	Tra. Interior Infiltración 5	Tra. Interior Infiltración 8	Tra. Interior Infiltración 10	Tra. Interior Infiltración 15	Tra. Interior Infiltración 20	Tra. Interior Infiltración 25	Tra. Interior Infiltración 30	Dif DataLog-Simul Inf. 5	Dif DataLog-Simul Inf. 8	Dif DataLog-Simul Inf. 10	Dif DataLog-Simul Inf. 15	Dif DataLog-Simul Inf. 20	Dif DataLog-Simul Inf. 25
14/02/2022 01:00	16,52	16,54513	16,45818	16,4031	16,27368	16,15491	16,04514		-0,03	0,06	0,12	0,25	0,37	0,47
14/02/2022 02:00	16,41	16,73469	16,65911	16,61132	16,49958	16,39748	16,30352		-0,32	-0,25	-0,20	-0,09	0,01	0,11
14/02/2022 03:00	16,46	17,00546	16,93842	16,89615	16,79773	16,70816	16,6261		-0,55	-0,48	-0,44	-0,34	-0,25	-0,17
14/02/2022 04:00	16,05	17,39248	17,33396	17,2969	17,21096	17,13325	17,0625		-1,34	-1,28	-1,25	-1,16	-1,08	-1,01
14/02/2022 05:00	16,64	17,83754	17,7819	17,7472	17,66733	17,59558	17,53065		-1,20	-1,14	-1,11	-1,03	-0,96	-0,89
14/02/2022 06:00	17,68	18,25389	18,20935	18,17485	18,09495	18,02306	17,95879		-0,57	-0,53	-0,49	-0,41	-0,34	-0,28
14/02/2022 07:00	18,59	18,62267	18,56584	18,52647	18,43402	18,35179	18,28115		-0,03	0,02	0,06	0,16	0,24	0,31
14/02/2022 08:00	19,50	18,9283	18,86366	18,82248	18,72316	18,63665	18,56179		0,57	0,64	0,68	0,78	0,86	0,94
14/02/2022 09:00	19,56	19,17469	19,10904	19,06758	18,96818	18,87937	18,80139		0,39	0,45	0,49	0,59	0,68	0,76
14/02/2022 10:00	18,95	19,33748	19,26162	19,21207	19,09788	18,99555	18,90462		-0,39	-0,31	-0,26	-0,15	-0,05	0,05
14/02/2022 11:00	18,44	19,28803	19,20505	19,15271	19,03162	18,92533	18,83099		-0,85	-0,77	-0,71	-0,59	-0,49	-0,39
14/02/2022 12:00	18,18	19,09032	18,9977	18,94017	18,81054	18,69644	18,59351		-0,91	-0,82	-0,76	-0,63	-0,52	-0,41
14/02/2022 13:00	18,69	18,88065	18,78063	18,7197	18,5808	18,45784	18,34644		-0,19	-0,09	-0,03	0,11	0,23	0,34
14/02/2022 14:00	18,30	18,62009	18,51664	18,45332	18,30876	18,17893	18,06026		-0,32	-0,22	-0,15	-0,01	0,12	0,24
14/02/2022 15:00	18,46	18,40674	18,30872	18,24835	18,10968	17,98447	17,86984		0,05	0,15	0,21	0,35	0,48	0,59
14/02/2022 16:00	18,15	18,17156	18,07745	18,01886	17,88337	17,76071	17,64823		-0,02	0,07	0,13	0,27	0,39	0,50
14/02/2022 17:00	17,74	17,95065	17,85618	17,7974	17,66191	17,5394	17,42718		-0,21	-0,12	-0,06	0,08	0,20	0,31
14/02/2022 18:00	17,58	17,73297	17,63753	17,57781	17,43923	17,31455	17,20077		-0,15	-0,06	0,00	0,14	0,27	0,38
14/02/2022 19:00	17,19	17,49942	17,39935	17,33621	17,19014	17,05837	16,93846		-0,31	-0,21	-0,15	0,00	0,13	0,25
14/02/2022 20:00	16,96	17,29396	17,19452	17,13152	16,98262	16,84809	16,72577		-0,33	-0,23	-0,17	-0,02	0,11	0,23
14/02/2022 21:00	16,75	17,08672	16,988	16,92507	16,77611	16,63853	16,51324		-0,34	-0,24	-0,18	-0,03	0,11	0,24
14/02/2022 22:00	16,44	16,90812	16,81297	16,75245	16,60971	16,47704	16,35362		-0,47	-0,37	-0,31	-0,17	-0,04	0,09
14/02/2022 23:00	16,28	16,69536	16,59512	16,53125	16,38044	16,24036	16,10876		-0,42	-0,32	-0,25	-0,10	0,04	0,17
15/02/2022 00:00	16,09	16,59332	16,49137	16,42645	16,27331	16,1312	15,99729		-0,50	-0,40	-0,34	-0,18	-0,04	0,09

Para calcular el MBE procedemos a ingresarnos a la calculadora virtual que se encuentra en la página web <https://agrimetsoft.com/calculators/Mean%20Bias%20Error> e ingresamos las dos columnas que se quieran comparar, en nuestro caso ingresamos la columna de los datos observados y la columna de los datos simulados de acuerdo a la infiltración, aquí podemos obtener el resultado general así como un gráfico de cada cálculo.

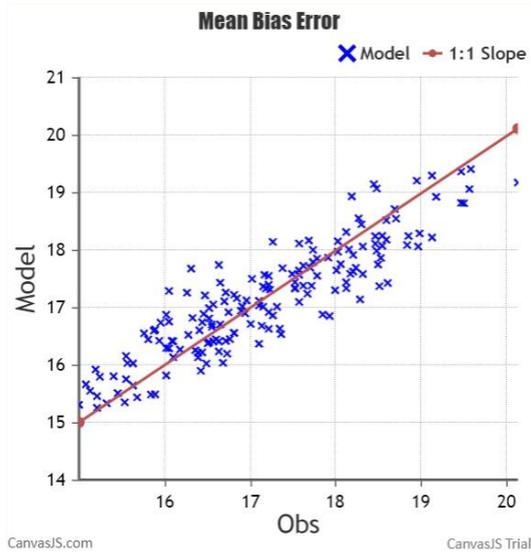
Gráficos MBE Semana 1. (Fuente: <https://agrimetsoft.com/calculators/Mean%20Bias%20Error>)

Infiltración 5
MBE: 0.092

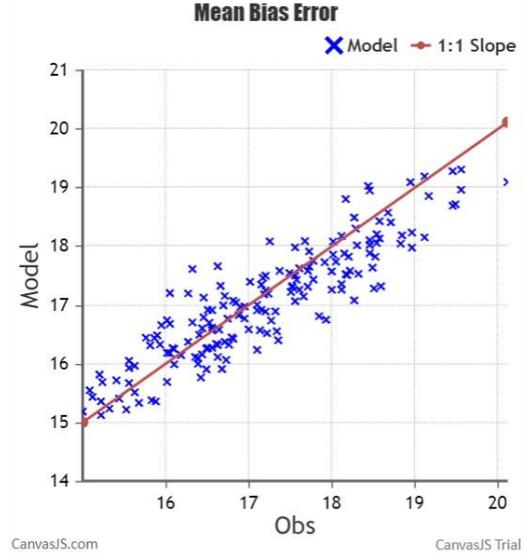
Infiltración 8
MBE: 0.022



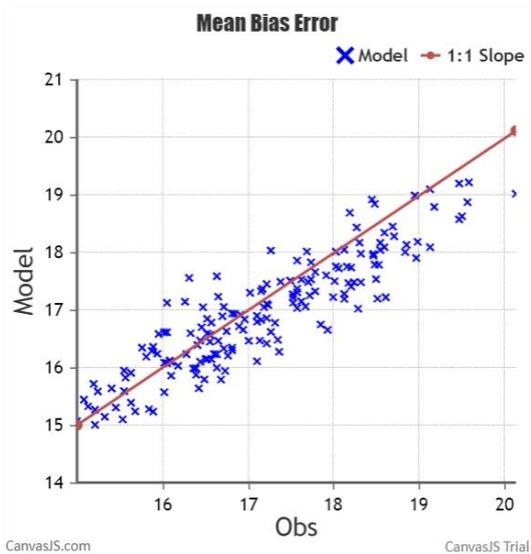
Infiltración 10
MBE: -0.022



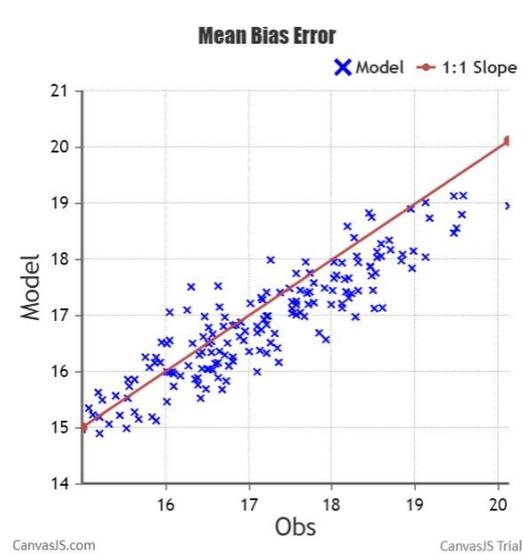
Infiltración 15
MBE: -0.125



Infiltración 20
MBE: -0.219

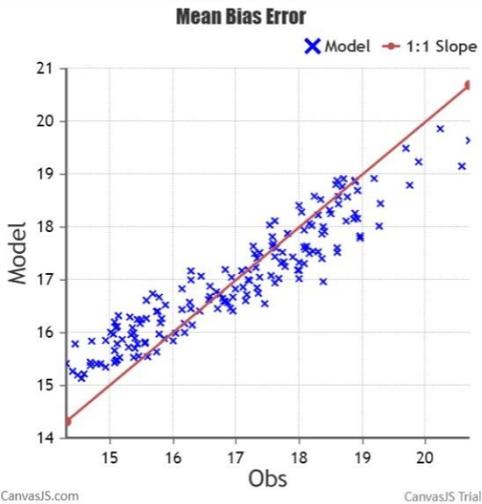


Infiltración 25
MBE: -0.304

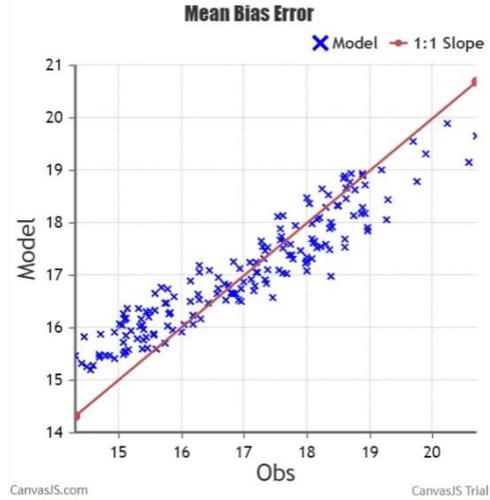


Gráficos MBE Semana 2. (Fuente: <https://agrimetsoft.com/calculators/Mean%20Bias%20Error>)

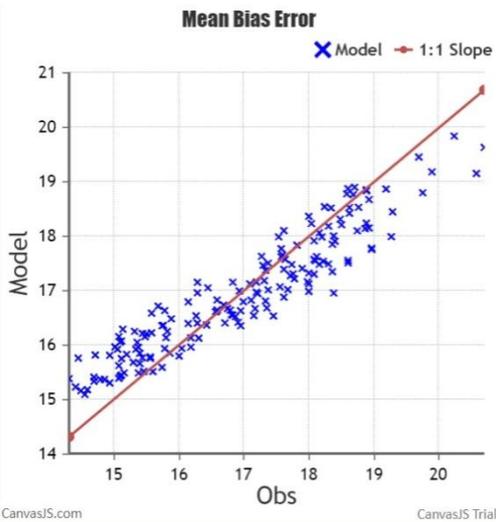
Infiltración 5
MBE: 0.081



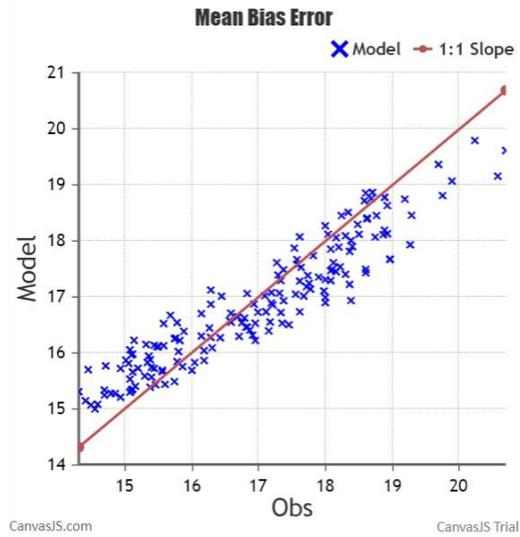
Infiltración 8
MBE: 0.029



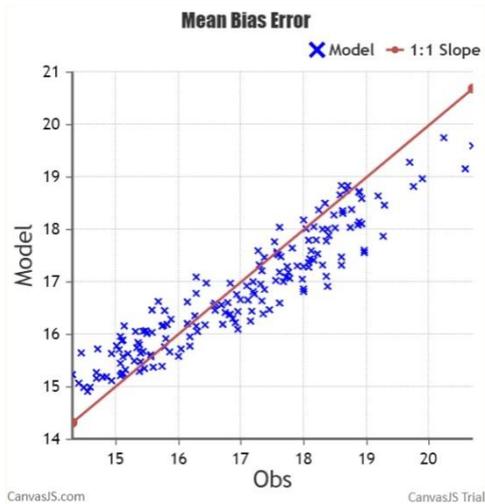
Infiltración 10
MBE: -0.004



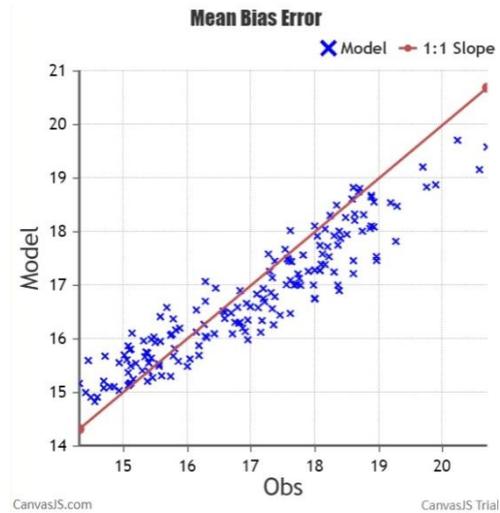
Infiltración 15
MBE: -0.081



Infiltración 20
MBE: -0.151

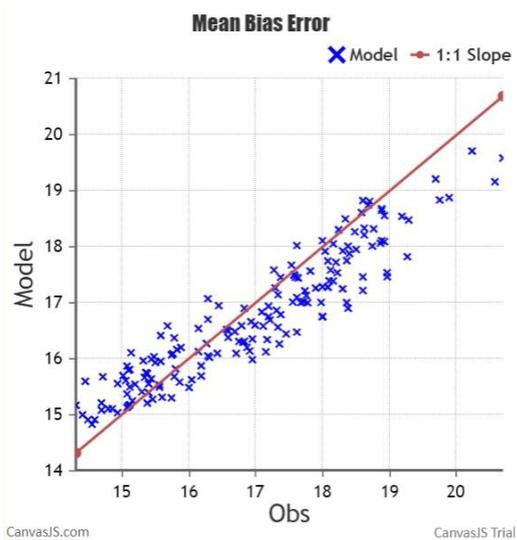


Infiltración 25
MBE: -0.216

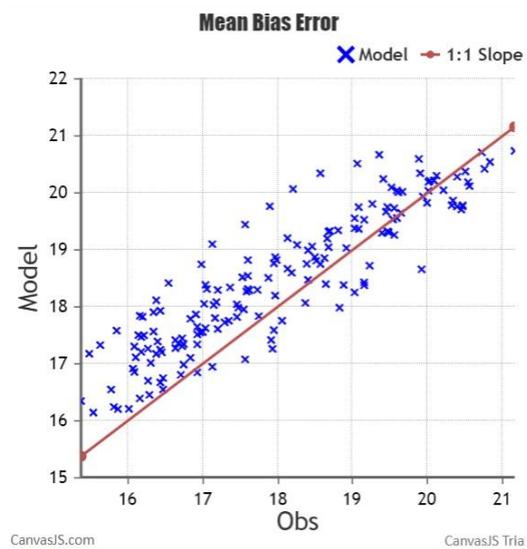


Gráficos MBE Semana 3. (Fuente: <https://agrimetsoft.com/calculators/Mean%20Bias%20Error>)

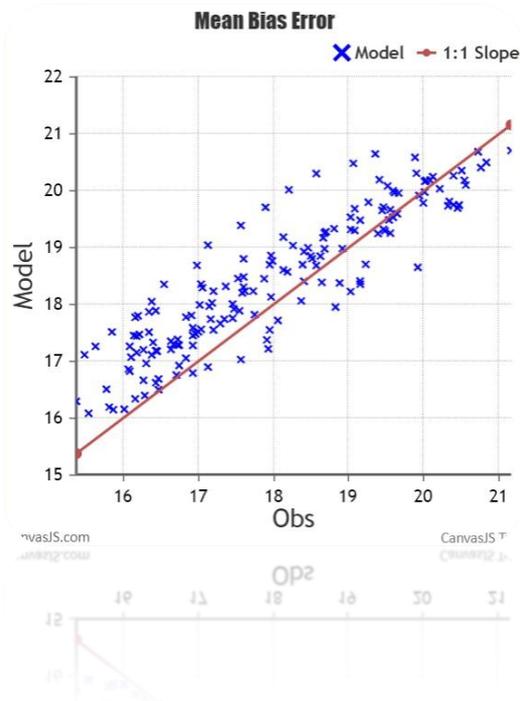
Infiltración 5
MBE: 0.545



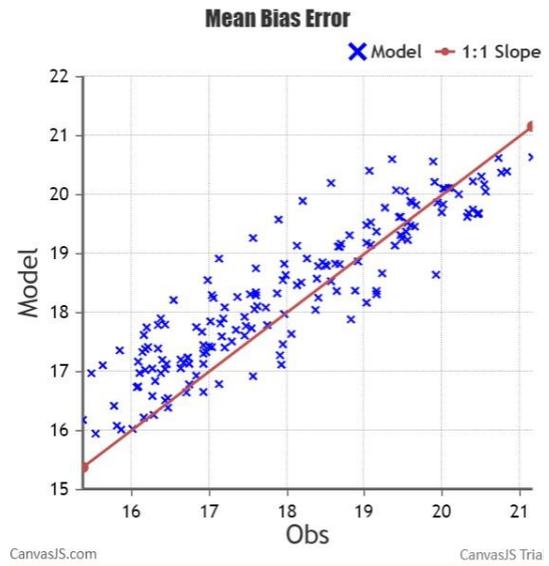
Infiltración 8
MBE: 0.478



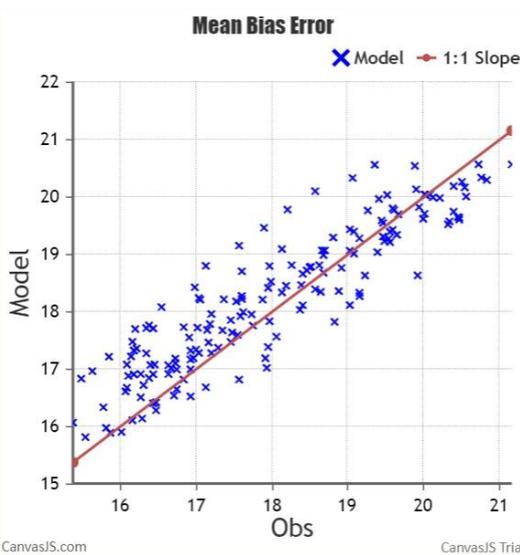
Infiltración 10
MBE: 0.436



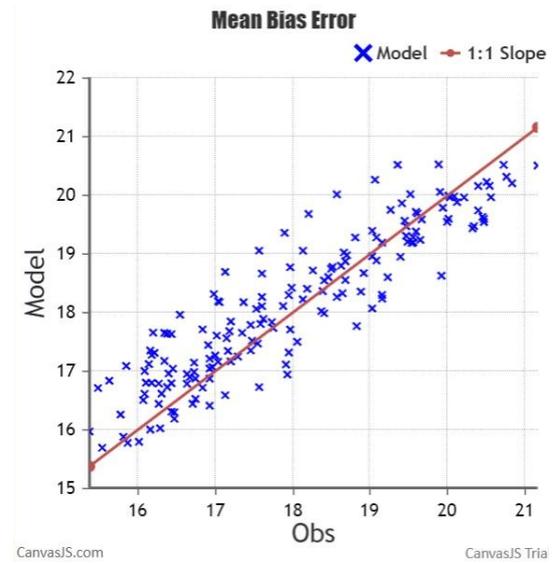
Infiltración 15
MBE: 0.338



Infiltración 20
MBE: 0.249



Infiltración 25
MBE: 0.168



Para calcular el valor del CV RMSE realizamos en la tabla de datos una diferencia ente los datos observados y los datos simulados con el objetivo de aplicar las siguientes fórmulas:

1.- Calcular el Error Cuadrático Medio (MSE).

Se obtiene de la diferencia de los valores elevado al cuadrado y dividido para el número de observaciones.

$$=SUMA.CUADRADOS(I2:I169)/CONTAR(I2:I169)$$

2.- Calcular la Raíz cuadrada del Error Cuadrático Medio (RMSE).

$$=RAIZ(Q2)$$

3.- Obtener el valor promedio de los datos observados (Ys).

$$=SUMA(C2:C169)/168$$

4.- Calcular el Coeficiente de Variación de la Raíz del Error Cuadrático Medio (CV RMSE)

Se obtiene dividiendo el valor obtenido de la raíz cuadrada para el promedio.

$$=Q9/Q16$$

En resumen de nuestros datos se obtuvieron los siguientes valores:

Semana 1.

MSE 5	0,26382965	RMSE 5	0,51364351	Ys 5	17,2832717	CVRMSE 5	0,02971911
MSE 8	0,25112982	RMSE 8	0,50112855	Ys 8	17,2134602	CVRMSE 8	0,0291126
MSE 10	0,24854959	RMSE 10	0,49854748	Ys 10	17,1693315	CVRMSE 10	0,02903709
MSE 15	0,25914419	RMSE 15	0,50906206	Ys 15	17,0665293	CVRMSE 15	0,0298281
MSE 20	0,28901341	RMSE 20	0,53759968	Ys 20	16,9729226	CVRMSE 20	0,03167396
MSE 25	0,33344398	RMSE 25	0,57744609	Ys 25	16,8871871	CVRMSE 25	0,03419433

Semana 2.

MSE 5	0,36407614	RMSE 5	0,60338722	Ys 5	17,0525575	CVRMSE 5	0,03538397
MSE 8	0,35181673	RMSE 8	0,59314141	Ys 8	17,0006396	CVRMSE 8	0,03488936
MSE 10	0,34730031	RMSE 10	0,58932191	Ys 10	16,9676713	CVRMSE 10	0,03473204
MSE 15	0,34660733	RMSE 15	0,58873367	Ys 15	16,8906746	CVRMSE 15	0,03485554
MSE 20	0,3582266	RMSE 20	0,59852034	Ys 20	16,8202419	CVRMSE 20	0,03558334
MSE 25	0,37913055	RMSE 25	0,61573578	Ys 25	16,7556274	CVRMSE 25	0,036748