

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y PARÁMETROS DE
CLIMATIZACIÓN EN EL EDIFICIO UISALUD MEDIANTE UNA SIMULACIÓN
COMPUTACIONAL EN DESIGN BUILDER**

**DANIEL ORLEY URIBE PARRA
MATEO ANDRÉS CHAVARRO LEÓN**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA**

2020

**EVALUACIÓN DEL CONSUMO ENERGÉTICO Y PARÁMETROS DE
CLIMATIZACIÓN EN EL EDIFICIO UISALUD MEDIANTE UNA SIMULACIÓN
COMPUTACIONAL EN DESIGN BUILDER**

**DANIEL ORLEY URIBE PARRA
MATEO ANDRÉS CHAVARRO LEÓN**

Trabajo de grado para optar título de Ingeniero Mecánico

Director

**Julián E. Jaramillo Ibarra
PhD En Ingeniería Mecánica**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
INGENIERÍA MECÁNICA
BUCARAMANGA
2020**

DEDICATORIA

*A mis padres, por su inmenso amor paternal, sacrificio, esfuerzo y paciencia,
gracias a ellos soy una mejor persona.*

*A mis hermanos quienes son mi modelo a seguir, y con su apoyo he logrado
vencer grandes obstáculos.*

*A mis sobrinas que han sido mi inspiración y motivación a lo largo de todos estos
años.*

Daniel Orley Uribe Parra

*A mi familia, principalmente a mis padres, German Humberto Chavarro Mañosca,
porque es el mejor modelo a seguir y junto con mi madre Claudia León León, mi
amor más grande, han formado un hogar digno de admirar. Todos mis logros son
dedicados a ustedes.*

Mateo Andrés Chavarro León

AGRADECIMIENTOS

Gracias a nuestra alma mater la Universidad Industrial de Santander, espacio en donde tuvimos la oportunidad de crecer y adquirir todos nuestros conocimientos. La escuela de Ingeniería Mecánica, al personal de uisalud, quienes nos brindaron todo el apoyo para desarrollar cada parte de nuestro proyecto de grado. Gracias al personal docente, administrativo por su calidad humana. Agradecimiento especial para al doctor Omar Armando Gelvez por sus oportunos consejos y ayuda.

Finalmente, un agradecimiento muy especial al director del trabajo de investigación, el doctor Julián Ernesto Jaramillo Ibarra, por su orientación y dedicación para llevar a cabo el desarrollo del presente proyecto.

Daniel Orley Uribe Parra
Mateo Andrés Chavarro León

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	14
1.OBJETIVOS.....	17
1.1.OBJETIVO GENERAL	17
1.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
2. MARCO TEÓRICO	18
2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS.....	18
2.2. CLIMATIZACIÓN	20
2.2.1 Climatización en hospitales.....	22
2.3 EXIGENCIAS DE CLIMATIZACIÓN INTERIOR	22
2.3.1 Definiciones	24
2.3.2 Clasificación del aire	28
2.3.3 Principales agentes que disminuyen la calidad del aire	30
2.3.4 Técnicas para el control de las condiciones aire interior.....	31
2.4 NORMATIVA.....	32
2.5 SOFTWARE DESIGNBUILDER	35
3. MODELAMIENTO COMPUTACIONAL.....	37
3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO UISALUD	37
3.2 MODELADO ARQUITECTONICO	39
3.3 DATOS DEL MODELO	43
3.3.1 Materiales de construcción	43
3.3.2 Iluminación.....	44

3.3.3 Consumos Energéticos	45
3.3.4 Ocupación.....	48
3.3.5 Horarios	49
3.3.6 Ubicación Geográfica Del Edificio	50
3.3.7. Plantilla climática.	50
4. CONSTRUCCIÓN DE LA SIMULACIÓN	51
4.1 OBTENCIÓN E INSERCIÓN DE DATOS	51
4.1.1. Obtención de datos.....	52
4.1.2 Inserción de datos.....	52
4.2 MODELO HVAC	52
4.3 SIMULACIÓN PRELIMINAR.....	57
4.4 REAJUSTE DEL MODELO.....	59
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA SIMULACIÓN	64
5.1 CONSUMOS ENERGÉTICOS.....	64
5.1.1. Origen de los recursos energéticos	65
5.1.2. Distribución de consumos.....	65
5.1.3 Consumo mensual.....	67
5.1.4 Consumo del sistema de climatización.....	69
5.1.5 Ganancias De Calor.....	70
5.1.6 Consumo De Iluminación Interior.....	72
5.2. CONFORT TÉRMICO.....	73
5.2.1. Distribución de temperaturas.....	78
5.2.2 Confort según el modelo de Fanger.....	80
5.3 EXIGENCIAS DE CLIMATIZACIÓN	86

5.3.1 Temperatura del aire.....	86
5.3.2 Humedad Relativa	88
5.3.3 Ventilación	90
5.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	92
5.4.1. Control de Iluminación	95
5.4.2. Aumento de temperatura de trabajo	97
5.4.3 Calentamiento Global	100
CONCLUSIONES	103
FUTUROS TRABAJOS.....	105
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	107

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación de algunas áreas hospitalarias en norma ISO y UNE.....	29
Tabla 2. Estadísticas del departamento de residencia.....	38
Tabla 3. Propiedades de los materiales.....	43
Tabla 4. Datos de acristalamiento de UISALUD.....	44
Tabla 5. Cargas por pisos en el edificio UISALUD.....	45
Tabla 6. Consumos de energía de computadores en el edificio UISALUD.....	45
Tabla 7. Equipos médicos.....	46
Tabla 8. Datos primer piso para la simulación de HVAC.....	47
Tabla 9. Consumo de potencia eléctrica ascensor.....	48
Tabla 10. Ocupación.....	48
Tabla 11. Horario de ocupación consultorios primer piso.....	49
Tabla 12. Datos plantilla del edificio UISALUD.....	50
Tabla 13. Información general del edificio.....	64
Tabla 14. Detallada de consumos.....	66
Tabla 15. Línea base de consumos base.....	66
Tabla 16. Consumos mensuales con divisiones.....	68
Tabla 17. Niveles de luminancia.....	72
Tabla 18. Constante para la temperatura operativa.....	75
Tabla 19. Rangos de temperatura del primer piso.....	78
Tabla 20. Confort según el modelo de Fanger.....	82
Tabla 21. Confort según el estándar ASHRAE 55.....	83
Tabla 22. Temperaturas promedio y rangos de normativa.....	87
Tabla 23. Resultados de porcentajes de Humedad Relativa primer piso.....	88
Tabla 24. Ventilación de zonas térmica.....	91
Tabla 25. Porcentajes de ahorro que deberán cumplirse durante el segundo periodo de la vigencia de la presente resolución y en adelante.....	93
Tabla 26. Comparación del consumo con los estándares propuestos.....	94

Tabla 27. Distribución de sensores de regulación del primer piso96

Tabla 28. Ahorro anual de iluminación.....97

Tabla 29. Consumos del sistema en funcionamiento actual y en funcionamiento
modificado.....98

Tabla 30. Humedades relativas con temperatura modificada98

Tabla 31. Comparación de funcionamiento actual y funcionamiento futuro previsto
.....101

LISTA DE ILUSTRACIONES

	Pág.
Ilustración 1. Ejemplo Sistema de Ventilación	21
Ilustración 2. Módulos de trabajo dentro de un modelador 3D.....	36
Ilustración 3. Primer piso UISALUD	40
Ilustración 4. Modelo terminado del edificio UISALUD.....	41
Ilustración 5. Modelo terminado y sus alrededores.....	42
Ilustración 6. Perfiles de temperatura Bucaramanga.	51
Ilustración 7. Sistema HVAC.....	53
Ilustración 8. Configuración unidad VRF exterior.....	54
Ilustración 9. Wall mounted VRV	55
Ilustración 10. Configuración unidad interior VRV.....	55
Ilustración 11. Ventilador mecánico	56
Ilustración 12. Configuración ventilador de extracción.....	57
Ilustración 13. Resultados de la primera simulación en DesignBuilder.....	58
Ilustración 14. Error por distribución solar.....	59
Ilustración 15. Corrección error de distribución solar	60
Ilustración 16. Error por rejillas de ventilación	60
Ilustración 17. Corrección del error rejillas de ventilación	61
Ilustración 18. Error de cámara ventilada	61
Ilustración 19. Corrección de error cámara ventilada.....	62
Ilustración 20. Error programación de ventiladores.....	62
Ilustración 21. Corrección de error programación de ventiladores.....	63
Ilustración 22. Distribución de consumos en el edificio real.....	65
Ilustración 23. Consumo en kWh por tecnología.....	67
Ilustración 24. Perfiles de carga del sistema de climatización	69
Ilustración 25. Ganancias de calor sensible.....	71

Ilustración 26. Rangos de temperatura operativa aceptables para espacios acondicionados naturalmente	76
Ilustración 27. Respuestas a sensación térmica en trabajadores	77
Ilustración 28. PPD en función del PMV.	81
Ilustración 29. Temperatura operativa	85
Ilustración 30. Mapa de iluminación natural	95

RESUMEN

Título: Evaluación del consumo energético y parámetros de climatización en el edificio uisalud mediante una simulación computacional en DesignBuilder^{1*}.

AUTOR: DANIEL ORLEY URIBE PARRA
MATEO ANDRÉS CHAVARRO LEÓN**

PALABRAS CLAVE: Simulación Computacional, Climatización, Eficiencia energética.

DESCRIPCIÓN:

Siendo los edificios uno de los mayores focos de consumo energético, por eso se busca que todos los procesos sean realizados con la mayor eficiencia sin afectar las condiciones de climatización interna en especial en ambientes sensibles como hospitales. Con el propósito de determinar los parámetros energéticos y las exigencias de climatización interiores, se desarrolló una simulación computacional que permite analizar y determinar los consumos eléctricos junto con algunos parámetros térmicos de las instalaciones, así como un estudio de las posibles mejoras que se puedan implementar en ambos aspectos. La simulación realizada tuvo en cuenta los parámetros reales del edificio UISALUD ubicado en la ciudad de Bucaramanga. Se contrastaron los datos obtenidos con los lineamientos energéticos vigentes, principalmente la resolución de construcción sostenible 0549 de 2015, analizando el consumo energético/metro cuadrado y también los resultados de parámetros de climatización con la norma española UNE 100713. El edificio se encontró dentro de los rangos establecidos por la resolución de consumo energético, pero no dentro de los parámetros de la norma española, sugiriendo posibles oportunidades de mejora en el sistema de refrigeración. De manera que para futuras construcciones se puede plantear un diseño previo en DesignBuilder para predecir el comportamiento energético obteniendo un mejor ajuste con los estándares propuestos.

* Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Ingeniería Mecánica. Director: Ing. Julian Jaramillo, Ing. Mecánico.

ABSTRACT

Title: Evaluation of energy consumption and climate parameters in the uisalud building through a computer simulation in design builder²*

AUTHOR: DANIEL ORLEY URIBE PARRA
MATEO ANDRÉS CHAVARRO LEÓN **

KEY WORDS: Computational simulation, air conditioning, energy efficiency.

DESCRIPTION:

Due to the high consumption of energy by buildings is why it is sought that all processes are carried out with the best efficiency as possible, without affecting the internal air conditioning conditions, especially in sensitive environments such as hospitals. In order to establish energy parameters and indoor air conditioning requirements, a computer simulation was run and the results allowed the analysis and establishment of electrical consumption and some thermal parameters of the facilities, as well as a study of the possible improvements that can be implemented in both aspects. The simulation was made with real parameters of the UISALUD building, located in the city of Bucaramanga. The obtained data was correlated with the current energy guidelines, mainly the resolution of sustainable construction 0549 of 2015, the energy consumption / square meter was analyzed as well as the results of air conditioning parameters with the Spanish standard UNE 100713. As final conclusion it was found that the building was within the established ranges by the energy consumption resolution, but not within the air conditioning parameters of the Spanish standard, which suggest possible improvement opportunities for the cooling system. For future constructions it is recommended to carry out a prior design in DesignBuilder, in this way it would be possible to predict energy and thermal behavior and obtain a better adjustment to international standards.

* Degree work

** Faculty of Physical-Mechanical Engineering. School of Mechanical Engineering. Director: Ing. Julián Jaramillo, Mechanical Engineer.

INTRODUCCIÓN

La transición del comportamiento humano en la actualidad está sujeta a diferentes estímulos del contexto que los rodea; sin embargo, uno de los comportamientos más recurrentes en las personas es la cantidad de tiempo que pasan en instalaciones cerradas ya sea en sus sitios donde desempeñan sus ocupaciones laborales, en sus espacios de recreación o en sus hogares; según el autor Xavier Guardino se estima que entre un 58% hasta un 78% los seres humanos pasan la mayor cantidad de tiempo en dichos espacios³.

Por lo anterior, múltiples empresas alrededor del mundo unen sus capacidades para solventar las necesidades del consumidor, incluso al día de hoy gran parte de los esfuerzos investigativos, académicos y de desarrollo tecnológico se orientan a garantizar buenas experiencias en las personas como también óptimas condiciones en los recintos o espacios cerrados y así permitir un eficiente desarrollo en las actividades cotidianas de sus ocupantes; para lograrlo, existen ciertas condiciones a cumplir, siendo la climatización de la instalación uno de los requisitos imprescindibles y entendida en su noción más simple como el “conjunto de condiciones de temperatura, humedad, velocidad y calidad del aire que aseguren un estado de confort”⁴.

Con relación al contexto de la presente investigación, siendo los espacios relacionados con el área de salud, es particularmente interesante estudiar el caso de los hospitales, dado que, en ellos, la calidad del interior del aire no sólo está relacionada con el confort de las personas que ocupan la instalación, sino también abarca la limpieza y el nivel de contaminación del aire, pudiendo tener consecuencias perjudiciales para el bienestar de los pacientes, e incluso la del

³ GUARDINO SOLA, Xavier. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, Capítulo44: Calidad del aire interior. España, INSST, 2006, 2 p.

⁴ ACAIRE, Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones. Bogotá, ACAIRE, 2017.135 p.

personal operativo o los visitantes. Ante la posibilidad de contaminación del aire, se hace válido mencionar que puede albergar microorganismos infecciosos y agentes químicos nocivos, sumado a la susceptibilidad que pueden tener los pacientes a ellos; de allí lo importante de implementar sistemas de climatización y ventilación que sean diseñados según las condiciones del espacio para posteriormente operar de tal forma que puedan satisfacer tanto las necesidades de confort térmico como dando cumplimiento a los lineamientos de seguridad, higiene y salud.

La importancia de lo anteriormente expuesto se ve reflejado al analizar las estadísticas arrojadas por la Organización Mundial de la Salud que atañen a las infecciones intrahospitalarias o enfermedades nosocomiales, como suelen ser denominadas. Siendo así la OMS estima que debido a la baja eficiencia de los sistemas HVAC y de la descontaminación del aire, en Europa los pacientes que son atendidos en instalaciones hospitalarias, entre un 5% al 10% adquieren allí una enfermedad nosocomial y el porcentaje puede ascender hasta un 15% en países en vía de desarrollo como México⁵. Las infecciones adquiridas en los hospitales son tan peligrosas que, según la Unión Europea, al año fallecen más personas a causa de ellas que debido al sida o la tuberculosis⁶; las cifras son tan alarmantes que es evidente la necesidad de tomar medidas al respecto a mitigar esta problemática.

Por otro lado, teniendo en cuenta, la estrecha relación existente entre la calidad del aire que circula al interior de un recinto hospitalario cerrado y los sistemas HVAC que implican inherentemente un consumo de energía, se desprende una variable correlacional a resaltar siendo que, debido a los esfuerzos globales en la actualidad por preservar el medioambiente, se espera que todos los procesos operacionales

⁵ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Una atención limpia es una atención más segura. [En Línea]. [Consultado el 30 de enero del 2018]. Disponible en: <https://www.who.int/gpsc/background/es/>

⁶ VILLAREAL, Antonio. Mueren más personas en Europa por infecciones en el hospital que por sida o tuberculosis. El español, 2016. [En Línea]. [Consultado el 15 de febrero del 2018]. Disponible en: https://www.elespanol.com/ciencia/investigacion/20161018/163984040_0.html

de las empresas se den en el marco del mejor rendimiento energético posible, en aras de disminuir la demanda energética como las emisiones de gases de efecto invernadero, de manera que no sólo se requiere garantizar una determinada calidad en el aire, sino también lograr una alta eficiencia energética.

De manera que el presente estudio realizó un análisis del consumo energético y exigencias de climatización de las instalaciones de salud UISALUD ubicadas en la ciudad de Bucaramanga, como medio de evaluación diagnóstica de su estado actual, el cual se comprobó con los datos obtenidos mediante una simulación en el programa DesignBuilder y se identificaron eventuales problemas reconociendo posibles deficiencias y estrategias de mejoramiento a corto, mediano y largo plazo.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el consumo energético y los parámetros de climatización del edificio UISALUD, contribuyendo a la misión de la escuela de ingeniería mecánica de la UIS, en cuanto a la construcción aplicación y divulgación de conocimiento.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar la información arquitectónica correspondiente a planos y materiales constructivos, además de equipos, HVAC y condiciones climáticas del edificio UISALUD.
- Obtener los consumos de energía de los equipos, las diferentes ganancias de calor, el nivel de aprovechamiento de la iluminación natural, de manera que se pueda tener una referencia de la eficiencia energética, comparando con lo planteado en la Resolución 0549 de 2015.
- Generar una simulación computacional del consumo de energía del edificio UISALUD en DesignBuilder, que tiene en cuenta su orientación, materiales de construcción, relación ventana-fachada, propiedades del sistema HVAC y validar la exactitud de los resultados con los datos ya obtenidos.
- Determinar y analizar las exigencias de climatización dentro del edificio mediante la simulación en DesignBuilder basados en parámetros tales como temperatura, humedad relativa y renovaciones de aire por hora dentro de diferentes recintos del edificio, y revisar su correspondencia con la Norma UNE 100713.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS

Uno de los objetivos de la eficiencia energética es lograr la reducción de los consumos de energía, mediante el uso inteligente optimizando los procesos productivos. No sólo ahorrando el recurso, sino produciendo más con un menor uso de energía. Más de la mitad de los recursos humanos producidos son consumidos en los edificios por lo cual se han puesto grandes esfuerzos en la disminución y uso efectivo de estos; más adelante se introduce el término de edificaciones sostenibles las cuales hacen uso de energía, agua y materiales de un modo eficiente mientras que provee confort y salud a los usuarios, esto gracias a un proceso de diseño, el cual es consciente del entorno natural en el que se encuentra la edificación adquiriendo el término de construcción sostenible.

En los edificios en específico se tienen dos medidas para el ahorro energético y el aprovechamiento al máximo de la energía las cuales se clasifican en medidas activas y pasivas.

Las medidas pasivas se refieren a todas aquellas que no requieren de sistemas mecánicos o eléctricos, incorporadas en el diseño arquitectónico de las edificaciones y se encaminan para el aprovechamiento de las condiciones climáticas del entorno como fuentes de control térmico, ventilación y reducción energética para la creación de las condiciones de confort. Una de estas es la relación ventana/pared (RVP) la cual representa la medida del área de ventanas exteriores divididos por el área del muro exterior. Debido a los coeficientes térmicos de las ventanas estas pueden transmitir calor hasta 10 veces más que el concreto,

por esto un edificio con una RVP mayor ganará más calor que una edificación con una RVP más baja.⁷

Es importante considerar que, aunque las ventanas permiten un mayor flujo de calor también permiten el paso de la iluminación natural, de manera que el uso de iluminación artificial se ve reducido; para poder tener un equilibrio entre estos dos aspectos se debe tener en cuenta las variables de transmisión solar del vidrio, así como su coeficiente de ganancia solar, además de los diferentes componentes de sombra que se pueden incorporar en el diseño arquitectónico. Otras medidas que se pueden encontrar son:

- Orientación
- Techos verdes
- Recubrimientos en los vidrios
- Protecciones solares
- Aislantes térmicos

Frente a las medidas activas, estas se caracterizan por el uso de sistemas mecánicos y/o eléctricos, tales como calderas y aire acondicionado, ventilación mecánica, iluminación artificial y demás, con el fin de crear las condiciones de confort al interior de las edificaciones. Estas medidas usualmente son:

- Iluminación: La iluminación artificial contribuye en gran parte al consumo de energía, generalmente se suelen acompañar de sensores de ocupación, sensores fotovoltaicos y demás sistemas de control para realizar la mayor disminución al consumo de energía posible.

⁷ MINISTRO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO, Resolución 0549 de 2015. Bogotá, 10 p. [En Línea]. [Consultado el 14 de febrero del 2018]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>

- HVAC (Sistema de climatización artificial): Cuando las medidas pasivas no son suficientes para asegurar el confort térmico se pasa a los sistemas artificiales. Generalmente estos equipos representan el mayor consumo de energía en las edificaciones es por esto por lo que la tecnología de estos equipos siempre avanza en busca de un mejor funcionamiento y un menor consumo de energía para alcanzar el punto de confort térmico.

2.2. CLIMATIZACIÓN

La conceptualización del término de climatización se ha evolucionado como también mejorado gracias a la investigación con el paso de los años. En la literatura inicialmente se refería estrictamente con el confort térmico y el control de condiciones en el ambiente como la temperatura, la humedad relativa y la velocidad del aire⁸. No obstante, este concepto se ha extendido y actualmente contempla también la higiene del aire que se suministra, lo cual conlleva considerar parámetros adicionales como su nivel de contaminación, olor y calidad en general.

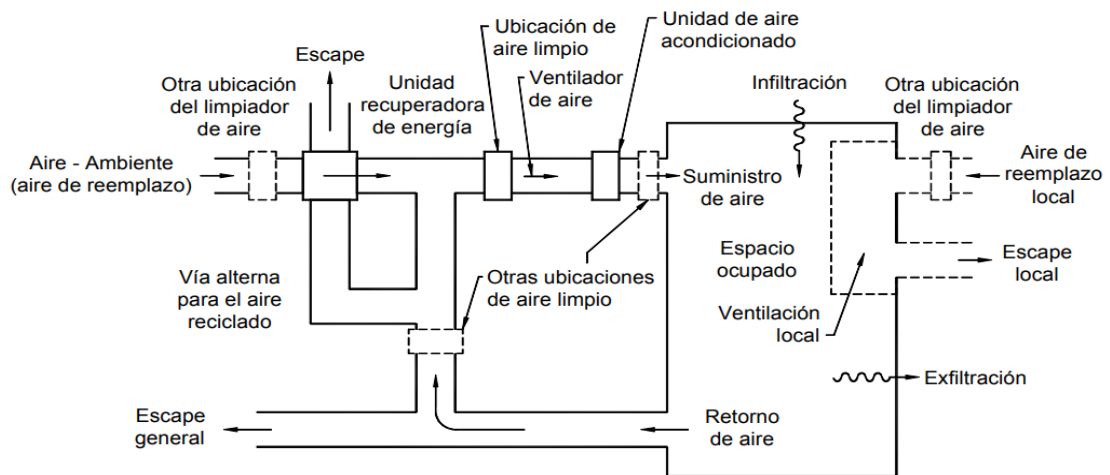
La climatización se puede definir como “dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas”⁹, para lo cual se debe hacer uso de equipos como sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación. Para el diseño de estos sistemas se deben diferenciar factores que influyen en el comportamiento térmico del recinto a climatizar, entre los que se encuentran:

⁸ GÓMEZ DE PEROZO, Nersa. Estrategias para el control micro climático del espacio entre edificaciones en clima cálido – húmedo. Universidad Politécnica de Madrid, 2012. [En Línea]. [Consultado el 25 de junio de 2019]. Disponible en: http://oa.upm.es/12266/1/NERSA_GOMEZ_DE_PEROZO.pdf

⁹ ACAIRE, Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones. Bogotá, ACAIRE, 2017.135 p.

- Las cargas térmicas a las que está expuesto, procedentes de fuentes como Radiación solar, temperatura exterior, ventilación, iluminación, ofimática, etc.¹⁰
- El ambiental, que hace referencia al medio en el que se ubica el espacio y que está compuesto de dos partes: el aire ambiente con sus parámetros de velocidad, temperatura y humedad relativa; y el espacio físico mismo, afectado por aspectos como la ubicación, orientación, materiales de construcción, arquitectura, etc.
- El factor humano, que tiene que ver con la ocupación del local (cantidad y tiempo), la actividad que se desarrolla al interior de este y la forma de vestir de sus habitantes.

Ilustración 1. Ejemplo Sistema de Ventilación



Fuente: Tomada de la Norma NTC 5183¹¹

¹⁰ASHRAE, Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010. 44 p.

¹¹ Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 5183. Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores. Bogotá. ICONTEC, 2003. [En Línea]. [Consultado el 03 de marzo del 2018]. Disponible en: <https://qdoc.tips/ntc-5183-calidad-de-aireventilacionpdf-pdf-free.html>

2.2.1 Climatización en hospitales: En los hospitales y demás instalaciones relacionadas con la salud, la climatización adquiere una trascendencia preponderante, ya que además de que se debe velar por el bienestar de pacientes que pueden ser muy susceptibles de adquirir o transmitir infecciones por vías respiratorias, es más frecuente la presencia de microorganismos como bacterias, hongos y virus, junto con agentes químicos peligrosos que también pueden llegar a afectar y poner en riesgo la salud del personal médico, administrativo, de los mismos pacientes y de los visitantes. Por consiguiente, las personas encargadas deberán tener en cuenta este aspecto a la hora de diseñar, instalar, operar y ejercer acciones de mantenimiento sobre los sistemas de climatización que allí se dispongan.

2.3 EXIGENCIAS DE CLIMATIZACIÓN INTERIOR

Como se ha expresado anteriormente, en sitios tan críticos como lo son los hospitales el tema de las condiciones del aire son bastante sensibles debido a que se está tratando con seres humanos en situación de vulnerabilidad; en temas como la humedad y contaminación de CO₂ que pueden existir, así como las renovaciones de aire, diferenciales de presión, procesos de filtrado pasan a ser temas de suma importancia y que requieren de gran parte de la atención del personal que diseña el sistema de HVAC.

En primer lugar, cabe definir lo que se entiende como exigencias de climatización; encontrando que en la literatura se tienen múltiples definiciones sobre este término, sin embargo, es una constante general que éstas apunten a que es el conjunto de condiciones relacionadas con temperatura, humedad relativa, nivel de contaminación, olor y velocidad del aire que se encuentra al interior de un edificio no industrial o de un recinto particular dentro de él y que están condicionados por diversos parámetros como lo son el nivel de contaminación del aire exterior, la presencia de fuentes de contaminación, el diseño arquitectónico del espacio, el

diseño, operación y mantenimiento del sistema de ventilación y acondicionamiento de aire¹².

Asimismo, este concepto da origen al cuestionamiento respecto a cómo se identificaría un espacio con unas exigencias de climatización interior aceptable, a lo cual se responde exponiendo que es aquel que contiene aire con una concentración de contaminantes no perjudicial para sus ocupantes y en el que estos últimos, o al menos su mayoría substancial (80%), se sienten conformes¹³.

Esta definición puede ser contextualizada y aplicada a los ambientes hospitalarios, en los que se fundamenta el interés de este documento. En este tipo de ambientes, sin embargo, además de requerimientos de confortabilidad, se tienen necesidades clínicas, el concepto de exigencias de climatización debe ser aún más enfático y por esto se tienen normativas específicas para ellos, como se explorará en la sección 5.4.

¹² INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo. INSST. [En Línea]. [Consultado el 14 de marzo del 2018]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_289.pdf/7299d03d-aba7-4b06-8adb-5d5732fb5eb9

¹³ ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Calidad del aire y la salud.2018. [En Línea]. [Consultado el 28 de junio del 2018]. Disponible en: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

2.3.1 Definiciones: Antes de continuar avanzando, se hace imprescindible establecer la definición de ciertos términos o expresiones que serán de uso frecuente a lo largo del documento y que constituyen parte de la base teórica que soporta el proyecto a realizar. Estas definiciones han sido recogidas por múltiples entidades y dispuestas diversos documentos. A continuación, se presentan específicamente las que han sido expuestas por ACAIRE¹⁴, ASHRAE¹⁵ y la NTC¹⁶:

- Acondicionamiento de aire: proceso de tratamiento de aire, cuyo objetivo es conseguir los requerimientos de un espacio acondicionado controlando su temperatura, humedad, limpieza y distribución.
- Aire ambiente: aire alrededor de los edificios.
- Aire de escape: aire removido del recinto que sale por un escape y se descarga fuera de una edificación mediante sistemas mecánicos o naturales.
- Aire de suministro: aire entregado a un espacio mediante ventilación mecánica o natural, formado por una combinación de aire exterior, aire recirculado y aire transferido.
- Aire de retorno: aire que se retira de un espacio para recircular o permitir que escape nuevamente.
- Aire de mezcla: combinación de aire exterior y aire transferido con la intención de reemplazar el aire del escape y exfiltrado.

¹⁴ ACAIRE, Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones, BPI03 calidad del aire interior. Bogotá, ACAIRE, 2017.

¹⁵ *Ibid.* Estándar 62.1.

¹⁶ Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. NTC 5183. Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores. Bogotá. ICONTEC, 2003. [En Línea]. [Consultado el 03 de marzo del 2018]. Disponible en: <https://qdoc.tips/ntc-5183-calidad-de-aireventilacionpdf-pdf-free.html>

- Aire interior: aire contenido dentro del espacio ocupado.
- Aire recirculado: aire retirado de un espacio y que se utiliza nuevamente como aire de suministro.
- Aire transferido: aire que pasa de un espacio interior a otro.
- Aire de ventilación: la porción del aire de suministro que es la suma del aire exterior más alguna porción de aire recirculado que ha sido tratado con el fin de mantener unos parámetros aire interior aceptables.
- Aire exterior: aire del ambiente que entra a un edificio por medio de un sistema de ventilación, de forma natural o por infiltración.
- Concentración: cantidad de un constituyente disperso en una cantidad definida de otro.
- Contaminante: constituyente indeseado del aire que disminuye su calidad.
- Espacio acondicionado: recinto de un edificio que es calentado, enfriado o ambos para comodidad de sus ocupantes.
- Espacio neto ocupable: el área del piso de un espacio ocupable definido por las superficies interiores de sus paredes, excluyendo conductos, columnas, alacenas y otras áreas inaccesibles, permanentemente. Las obstrucciones del espacio como muebles, mostradores o anaqueles, bien sea temporales o permanentes, no se restan del área de espacio.
- Espacio ocupable: Espacio encerrado dedicado a las actividades humanas, excluyendo espacios dedicados primariamente para otros propósitos como

por ejemplo bodegas de almacenamiento, cuartos de máquinas, que son ocupados sólo ocasionalmente y durante periodos cortos de tiempo.

- **Exfiltración:** Escapes de aire no controlados desde espacios acondicionados a través de aberturas no intencionales en techos, pisos y paredes debido a diferencias de presión en estas aberturas producidas por el viento, diferencias de temperatura y desbalanceo de la rata de aire de entrada y salida.
- **Fácilmente accesible:** Susceptible de ser alcanzado rápidamente por una persona para operación sin necesidad de vencer obstáculos o recurrir a elementos como escaleras, sillas u otras ayudas.
- **Infiltración:** Entrada no controlada de aire a los espacios acondicionados a través de aberturas en techos, pisos y paredes desde espacios no acondicionados o desde el exterior y causados por las mismas diferencias de presión que ocasionan la exfiltración.
- **Sistemas de limpieza de aire:** dispositivo, o una combinación de dispositivos, utilizados para reducir la concentración de contaminantes en el aire, por ejemplo, microorganismos, polvo, humo, partículas respirables, otra materia particulada, gases y/o vapores en el aire.
- **Sistema de ventilación con recuperación de energía:** Equipo o combinación de equipos utilizados para enfriar el aire exterior para la ventilación en el cual la energía es transferida entre las líneas de flujo de aire de entrada y extracción.
- **Olor:** cualidad de líquidos, gases o partículas que estimulan el órgano olfativo.

- Ventilación: proceso de suministrar o retirar aire de un espacio con el fin de controlar los niveles de contaminación, la humedad o la temperatura del aire dentro del espacio.
- Ventilación mecánica: ventilación suministrada mediante equipos con energía mecánica, como ventiladores y sopladores eléctricos, pero no mediante dispositivos como ventiladores de turbina impulsada por aire y ventanas que funcionan mecánicamente.
- Ventilación natural: ventilación suministrada por efectos térmicos, de viento o de difusión a través de puertas, ventanas y otras aperturas intencionales dentro del edificio.
- Volumen: el volumen total que se puede ocupar en un espacio delimitado por la fachada del edificio, además de cualquier espacio permanentemente abierto hacia el espacio que se puede ocupar, como un techo y que se usa como plenum de un retorno.
- Zona: Uno o varios espacios ocupados con similar categoría de ocupación, densidad de ocupación y efectividad de distribución de aire zonal y zona primaria de flujo de aire por unidad de superficie.
- Zona de respiración u ocupada: Región dentro de un espacio ocupado situada entre 3 y 72 pulgadas (75 y 1800 mm) por encima del piso y a más de 2 pies (600 mm) desde las paredes o el equipo de aire acondicionado.

2.3.2 Clasificación del aire: Los diferentes espacios se clasifican según el nivel de limpieza del aire que contienen; de esta manera, según el uso que esté destinado para ese espacio, las normas y estándares definen la clase mínima que debe tener el aire allí. A continuación, se describen la clasificación con sus respectivas características:

- Clase 1: Aire con baja concentración de contaminantes, olores tolerables y bajo potencial de irritación. Es adecuado para recirculación y transferencia a cualquier espacio.
- Clase 2: Aire con contaminación, olor y potencial de irritación moderado. Puede ser transferido o recirculado a cualquier espacio, siempre y cuando éste tenga propósitos y niveles de contaminación similares.
- Clase 3: Contiene un nivel de contaminación, olores y potencial de irritación considerables. Solamente puede ser recirculado o transferido dentro del mismo espacio.
- Clase 4: Aire con cantidades altamente desagradables de contaminantes, partículas potencialmente peligrosas, bio aerosoles o gases que, debido a su alta concentración, pueden ser considerados como nocivos. No es adecuado para transferirlo ni recircularlo.

Con el propósito de establecer una clasificación aún más precisa y que pueda trabajar en conjunto con la clasificación correspondiente de filtros.

En este punto, también es oportuno abarcar la clasificación de salas que se hace específicamente a las diferentes zonas que pueden existir dentro de un ambiente

hospitalario. Con este propósito nos referiremos a las normas UNE 100713 e ISO 14644-1.

En primer lugar, la norma UNE 100713¹⁷ tiene en consideración dos tipos de clases principales para categorizar los recintos dentro de un hospital. Estas son:

- Clase I: Con exigencias muy elevadas, requiere 3 niveles de filtración.
- Clase II: Con exigencias habituales, requiere 2 niveles de filtración.

Finalmente, resta establecer la comparativa entre la clasificación correspondiente a algunas zonas comunes de instalaciones hospitalarias en ambas normas mencionadas antes. Ello se hace en la siguiente tabla.

Tabla 1. Clasificación de algunas áreas hospitalarias en norma ISO y UNE.

Área de hospital	Clase ISO14644-1	Clase UNE100713
Quirófanos	ISO 6	I
Salas parto	ISO 8	I
Salas exploración	ISO 7	I
Unidades y terapias especiales	ISO 7	I
Hospitalización y consulta	N/A	II
Zonas auxiliares	N/A	II

Fuente: Elaboración propia.

¹⁷ AEM/CTN. Norma UNE 100713: Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales. Madrid. Aenor, 2005. 20 p.

2.3.3 Principales agentes que disminuyen la calidad del aire: El aire en interiores está contaminado por una cantidad muy grande de compuestos, aunque, en general, sus concentraciones son bajas. A continuación, se presenta una lista de algunos de los contaminantes principales que pueden traducirse en problemas potenciales para los pacientes:

- Dióxido de carbono
- Formaldehído
- Partículas suspendidas
- Partículas viables

Es importante hacer énfasis especial en el contenido de contaminación de dióxido de carbono, que se determinará mediante la simulación en el software y la inyección de aire exterior que se utiliza como método para la disminución de estos contaminantes.

- Dióxido de carbono: Es producido por el metabolismo humano y exhalado mediante los pulmones. La cantidad de CO₂ exhalado depende del consumo de alimentos y el nivel de actividad del individuo. Según la NTC 5183¹⁸, para un adulto sentado, con una dieta normal de grasas, carbohidratos y proteínas, la producción de CO₂ sería de aproximadamente de 0.31 L/min correspondientes a un 83% del volumen de oxígeno que el individuo está respirando para satisfacer sus funciones vitales.

¹⁸ INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 5183. Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores. Bogotá. ICONTEC,2003. [En Línea]. [Consultado el 03 de marzo del 2018]. Disponible en: <https://qdoc.tips/ntc-5183-calidad-de-aireventilacionpdf-pdf-free.html>

La exposición prolongada de personas saludables a un aire con un 1.5% puede ser causa de un moderado esfuerzo metabólico, en tanto que la exposición a un 7-10% es capaz de producir pérdida del conocimiento en pocos minutos. Uno de los aspectos primordiales que debe tenerse en cuenta a la hora de realizar el diseño de un sistema de ventilación de un recinto, será mantener el nivel de CO₂ en un rango que no tenga efectos perjudiciales sobre las personas que allí se encuentran, tengan éstas una salud normal o sean hipersensibles a ellos.

2.3.4 Técnicas para el control de las condiciones aire interior: Es posible considerar 3 técnicas principales para garantizar el cumplimiento de las exigencias de climatización en un espacio interior. Siendo las siguientes:

- **Eliminación o modificación de las fuentes de contaminación:** Tal y como su nombre indica, este método consiste básicamente en retirar del recinto de interés, todas las fuentes significativas de contaminación. Por ejemplo, en el desarrollo de diseño de un nuevo proyecto de edificación, teniendo conocimiento claro sobre los materiales de construcción a usar, el material mobiliario y los equipos que serán allí dispuestos, es posible considerar alternativas de sustitución para aquellos que puedan representar una fuente de contaminantes, sin que ello afecte el fin último a que está destinado el espacio, aún antes de empezar la construcción de este.

Por otro lado, en el caso de que haya fuentes de contaminación que no sea posible eliminar o sustituir, como podrían ser pinturas, solventes, insecticidas, limpiadores u otros compuestos volátiles, se debe procurar que éstos estén ubicados en zonas muy bien ventiladas, en caso de encontrarse al interior del edificio, o en lugares alejados de las tomas de aire, en caso de estar fuera de él.

- **Uso de aire exterior tratado:** Aunque el aire exterior está lleno de microorganismos que son necesarios para el desarrollo de las funciones

biológicas de plantas y animales, si éste se encuentra lejos de fuentes específicas de contaminación o del suelo, es bastante limpio en comparación con el aire que se puede encontrar en recintos interiores, sobre todo si se trata de entornos hospitalarios. Es ende que una forma para incrementar la calidad del aire interior es suministrando aire proveniente del exterior.

Este aire exterior debe ser generalmente tratado, ya que las condiciones del aire deseado en el local tienden a ser aún más exigentes; por tanto, el aire debe ser sometido a un proceso de acondicionamiento en el que se variará su temperatura y humedad según sea necesario, además de que pasará por una serie de filtros (u otros medios de limpieza como purificadores electrónicos), que contribuyen a la eliminación de partículas contaminantes.

- Distribución controlada del aire en el espacio: Por último, otra técnica utilizada para procurar las condiciones del aire es por medio de la ventilación por desplazamiento, la cual consiste en suministrar aire a baja temperatura y velocidad, desde rejillas que deben ubicarse próximas al nivel del piso, en tanto que se extrae aire a través de rejillas ubicadas cerca del techo. En este caso, el movimiento del aire es casi exclusivamente vertical y se da gracias a un gradiente vertical de temperatura que no debe exceder los 3°C.

De manera análoga, siguiendo este método, conociendo la ubicación de las fuentes principales del deterioro de la calidad del aire, se puede manipular cuidadosamente la ubicación de las rejillas de impulsión y de extracción, procurando alcanzar una calidad aceptable dentro del espacio.

2.4 NORMATIVA

Dado que la intención principal del presente proyecto de investigación es la de evaluar y analizar la climatización y eficiencia energética dentro de un edificio

hospitalario, debe tenerse conocimiento sobre las normas que gobiernan estos campos en la actualidad, para que sirvan a modo de punto de referencia para la comparación. En primer lugar, se dilucidan las normas existentes tanto en Colombia como a nivel internacional respecto a eficiencia energética en edificaciones y posteriormente lo referente a la calidad de aire en hospitales.

- Resolución 0549 de 2015: A nivel nacional, Colombia cuenta con la resolución 0549 de 2015, en la que se reglamentan los parámetros y lineamientos de construcción sostenible, además de una guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones¹⁹.

En esta norma se establecen distintos porcentajes de ahorro de energía según los climas en los que se encuentra zonificado el país. Por otro lado, esta norma también presenta una línea base de consumo de energía en kWh/m²-año, también para diferentes tipologías de edificios y su respectivo clima, que puede ser utilizada como referencia a la hora de analizar si una edificación determinada consume energía en exceso (ver tabla 15 línea base de consumo).

- Estándar 90.1 ASHRAE²⁰: En el panorama internacional, se cuenta con el estándar ASHRAE 90.1 (“Requisitos Energéticos para Edificios excepto los Residenciales de Baja Altura”) un estándar guía para la mayoría de las normas que se han implementado en la actualidad esto debido al gran impacto que tiene la asociación ASHRAE. En este estándar se puede encontrar la clasificación energética para distintos tipos de edificios, además de la regulación en eficiencia para los equipos de aire acondicionado, bombas y demás del edificio.

¹⁹ MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución número 0549 de 2015. Bogotá. [En Línea]. [Consultado el 20 de enero de 2019]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>

²⁰ ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019 Standard 90.1 (I-P Edition), Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ANSI Approved; IES Co-sponsored).2019.

- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificaciones (RITE): Actualmente se ha venido incentivando el uso de normas con el fin de estandarizar y asegurar la calidad del aire interior (CAI). El RITE el cual es de origen español ha sido adaptado para Colombia gracias a la Asociación Colombiana De Acondicionamiento Del Aire Y De La Refrigeración (ACAIRE), en la que se establecen parámetros de eficiencia energética, uso racional de la energía, construcción sostenible, así como la calidad de aire interior²¹.
- ASHRAE Estándar 62.1: Ventilación para una calidad aceptable de aire interior: En vista de que Colombia no cuenta con una reglamentación establecida sobre la calidad de aire interior y que la pre-norma iberoamericana de calidad de aire interior aún se encuentra en desarrollo, el estándar base será de la muy reconocida ASHRAE la sociedad líder mundial en todos los temas relacionados con calefacción, ventilación y refrigeración. El estándar ASHRAE 62.1 es la base para los temas de calidad de aire clasificando los diferentes espacios que podemos encontrar y los caudales de aire requeridos para estos.
- UNE 100713²²: Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales: Siendo la norma con la que se gobierna en España las exigencias de aire interior en instalaciones hospitalarias, entrega un estándar sobre las condiciones que debe satisfacer el aire (caudal mínimo de aire exterior, rango permisible de temperaturas, humedad relativa, presión sonora máxima) dentro de diferentes tipos de salas comunes en hospitales. También es de destacar que proporciona una tabla, en la que se recogen las direcciones de flujo de aire que se pueden permitir entre salas adyacentes, de acuerdo con el uso determinado que se dé a éstas.

²¹ ACAIRE. Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones, RITE.2017. [En Línea]. [Consultado el 26 de julio de 2019]. Disponible en: http://www.cceecol.org/images/archivos/Biblioteca/RITE_2017_FINAL.pdf

²² AEM/CTN. Norma UNE 100713: Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales. Madrid. Aenor, 2005. 20 p.

Por último, esta norma resume todos los criterios a evaluar para verificar en qué nivel ella está siendo cumplida por una instalación concreta.

2.5 SOFTWARE DESIGNBUILDER

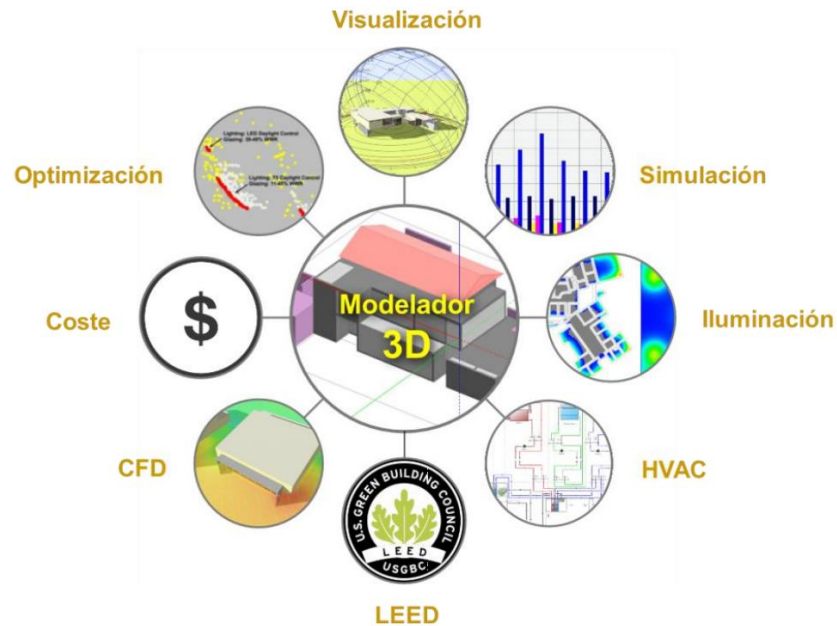
DesignBuilder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Con avanzados servicios que permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono entre otras; por otro lado, fue diseñado para facilitar los procesos de simulación, ofrece diversos módulos de análisis integrados entre sí, lo cual significa mayor productividad y eficiencia. Se trata de una herramienta de alto desempeño para el diseño, la consultoría y la certificación energética²³.

Además de ser una herramienta reconocida mundialmente y ganadora del “Proceso de trabajo más innovador” en el Congreso de Modelado Energético de ASHRAE, en Atlanta.

Este software cuenta con diferentes módulos de cálculo y simulación que permiten la aproximación a la realidad al considerar casi todos los factores en un avanzado modelador 3D.

²³ DESIGNBUILDER-LAT. Consulta las diferentes secciones en las que te brindamos ayuda. [En Línea]. [Consultado el 23 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/>

Ilustración 2. Módulos de trabajo dentro de un modelador 3D



Fuente: Tomado del Manual de ayuda de DesignBuilder²⁴

Como se evidencia en la ilustración anterior, el modelador 3D, permite múltiples características productivas para mejorar la eficiencia, como por ejemplo la visualización, la simulación para mitigar las incidencias y los riesgos para intervenir a tiempo; adicionalmente, permite iluminación, reduce la pérdida de tiempo, potencia la optimización integral, por último, los costos, CFD, LEED y HVAC.

²⁴ ORDOÑEZ, Arturo. Módulos de trabajo dentro de un modelador 3D, manual en español.2014.2 p. [En Línea]. [Consultado el 25 de julio de 2019]. Disponible en: http://files.designbuilder.cl/200000040-92fe693f9f/ManualDB-Espa%C3%B1ol_2014-12-03.pdf

3. MODELAMIENTO COMPUTACIONAL

Este capítulo muestra el proceso de modelado energético del Edificio UISALUD en el software DesignBuilder. En primer lugar, se hace una descripción de algunas de las características de la edificación, en segundo lugar, se describe el modelado arquitectónico y para finalizar con los datos del modelo.

3.1 DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO UISALUD

El edificio de UISALUD está ubicado en la sede principal de la Universidad Industrial de Santander en la ciudad de Bucaramanga, conformado por aproximadamente 46 trabajadores planta los cuales cuenta con Médicos, odontólogos y demás especialistas, este edificio cuenta con una infraestructura de 3 pisos y un área de 1080 m² construidos, conformados principalmente por consultorios, oficinas administrativas, zonas de actividad física, salas de espera y sala de juntas.

Esta es una institución de Primer Nivel de complejidad que presta los siguientes servicios ambulatorios: Consulta externa de odontología, consulta externa de medicina general y especializada, procedimientos de enfermería, pequeña cirugía, programas de promoción y prevención de riesgo cardiovascular, dispensación de medicamentos, fisioterapia, acondicionamiento físico y nutrición²⁵ tal como se expresa en el informe trimestral de la Universidad referente a la gestión de UISALUD.

Debido a la completitud de sus servicios, se estima que la entidad recibe diariamente un aproximado de 700 pacientes; lo que hizo que para el año 2019

²⁵ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Informe trimestral de UISALUD. Bucaramanga. 2019. 15 p. [En Línea]. [Consultado el 13 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/uisalud/documentos/informesTrimestrales/informeTrimestralRendicionCuentas2019.pdf>

UISALUD alcanzara una población de afiliados de 2.908 que representan 0,0060% de la población nacional y el 0,1417% del departamento de Santander, su distribución en los diferentes departamentos se indica en la siguiente tabla²⁶.

Tabla 2. Estadísticas del departamento de residencia

Departamento de Residencia	No.	%
Santander	2.817	96,90%
Cundinamarca	54	1,90%
Antioquia	17	0,60%
Boyacá	11	0,40%
Valle	5	0,20%
Risaralda	3	0,10%
Caldas	1	0,00%
Total	2.908	100,00%

Fuente: Elaboración propia

La asociación de Usuarios de UISALUD, “es una organización de carácter cívico sin ánimo de lucro, que tiene por objetivo fundamental agrupar a los usuarios del Sistema General de Seguridad Social de la UIS, con la finalidad de velar por la calidad y oportunidad de los servicios de salud ofrecidos por este Sistema y por el pleno ejercicio de los derechos y deberes de los afiliados a la Asociación, ejerciendo

²⁶ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Informe trimestral de UISALUD. Bucaramanga. 2019. 15 p. [En Línea]. [Consultado el 13 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/uisalud/documentos/informesTrimestrales/informeTrimestralRendicionCuentas2019.pdf>

el papel de intermediación entre los usuarios y la entidad prestadora de dichos servicios”²⁷.

3.2 MODELADO ARQUITECTONICO

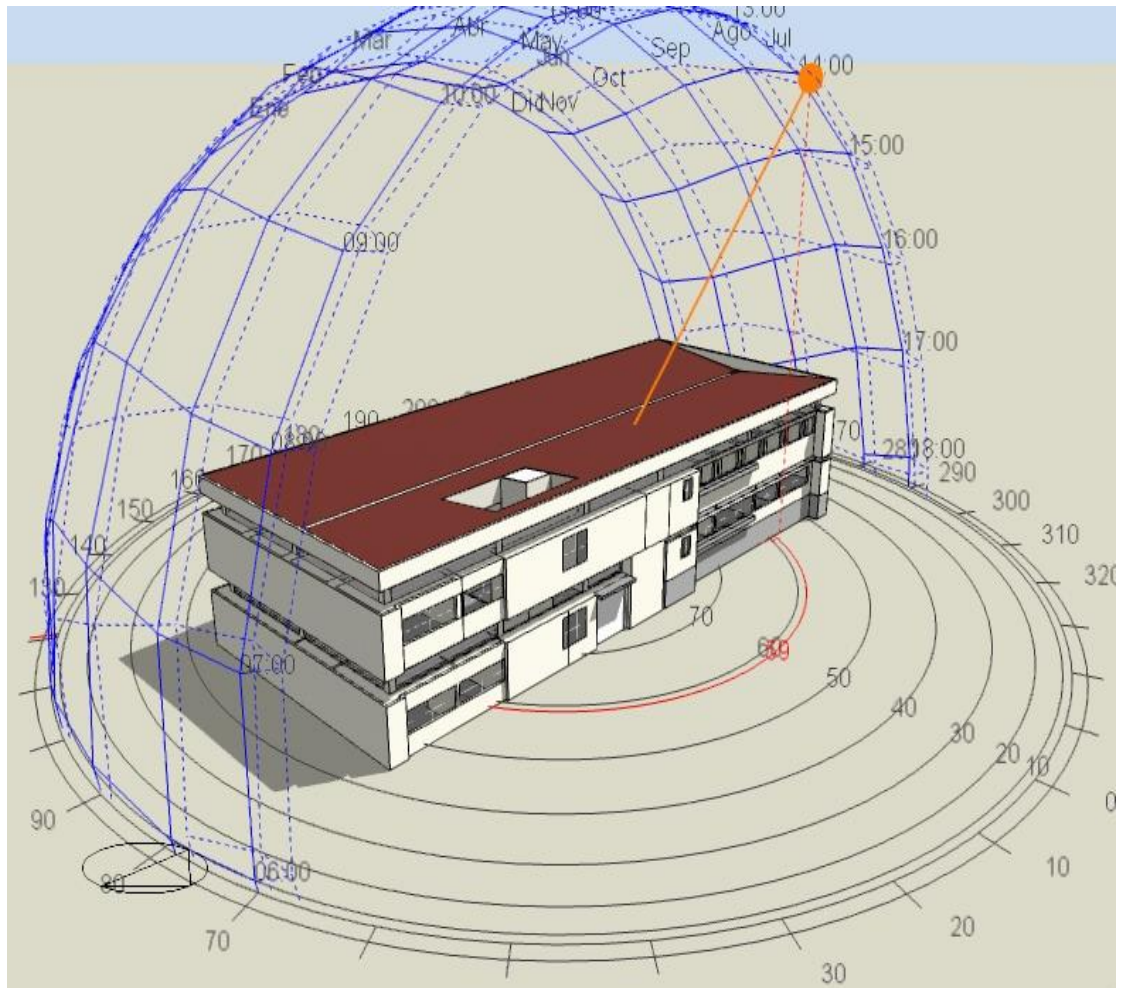
Mediante el software de diseño DesignBuilder versión 6, se elaboró un modelo tridimensional del edificio; dicho modelo tiene en cuenta múltiples parámetros, tales como, las divisiones internas, ventanas, puertas y rejillas de ventilación que afectan la simulación computacional del bloque.

Para la elaboración del modelo se dividió el bloque en tres secciones los cuales conforman cada uno de los pisos, posteriormente se realizaron subdivisiones, correspondientes a los consultorios, oficinas, pasillos, zonas de actividad física y baños, para poder así asignar de manera rigurosa la iluminación, ocupación, consumos energéticos, horarios y materiales constructivos, debido a que se desea obtener la mayor precisión posible en la simulación energética del edificio. A continuación, se muestra la construcción del modelo del piso UISALUD.

²⁷ UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Asociación de usuarios - Reseña histórica. [En Línea]. [Consultado el 30 de octubre de 2019]. Disponible en:

<https://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/uisalud/historiaAsociacion.html#:~:text=La%20Asociaci%C3%B3n%20de%20Usuarios%20de,velar%20por%20la%20calidad%20y>

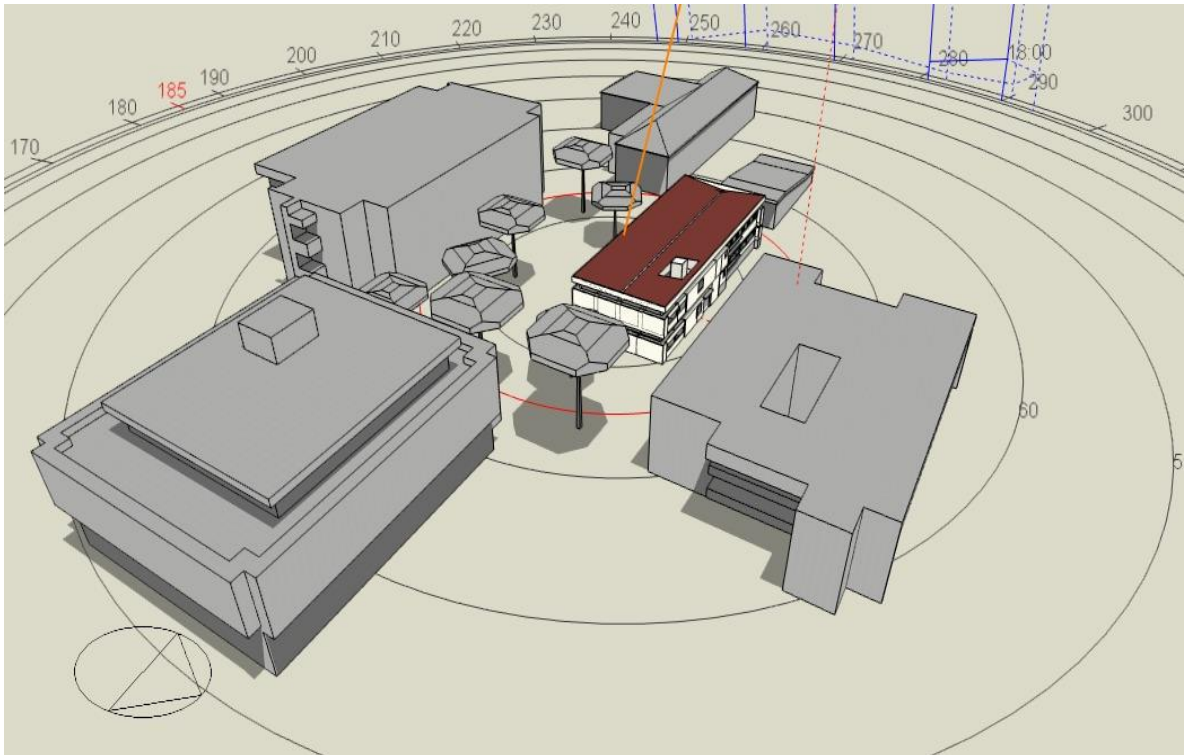
Ilustración 4. Modelo terminado del edificio UISALUD



Fuente: Elaboración propia

En este modelo no se tiene en cuenta el semisótano en donde se encuentran ubicadas las oficinas de FAVUIS, debido a que no pertenecen a las instalaciones de UISALUD y poseen su propio sistema de refrigeración.

Ilustración 5. Modelo terminado y sus alrededores



Fuente: Elaboración propia

Para mejorar la precisión de los resultados en la simulación se recrea el entorno que comprende los árboles y edificios circundantes, los cuales generan sombras y alteran el nivel de radiación recibido por el edificio²⁸.

²⁸ RAFFO, Dolores. La radiación solar y las plantas: un delicado equilibrio. EEA Alto Valle.2014. [En Línea]. [Consultado el 01 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fyd_74_la-radiacion-solar-y-las-plantas.pdf

3.3 DATOS DEL MODELO

Se muestran los datos pertinentes para poder construir un modelo real, entre ellos encontramos materiales de construcción, iluminación, consumos energéticos, ocupación, horarios y ubicación geográfica del edificio.

3.3.1 Materiales de construcción: Para obtener una simulación óptima se requiere recopilar la información de los materiales utilizados en la construcción tales como el tipo de material, espesor, distribución entre otros para después correlacionarlos con la lista de los materiales constructivos existentes en el programa DesignBuilder, el cual entrega las propiedades térmicas mostradas en la tabla 3.

Tabla 3. Propiedades de los materiales

Cerramiento	Conductividad (W/m-K)	Calor Especifico (J/Kg-K)	Densidad (Kg/m3)	Absortancia Térmica (emisividad)	Absortancia Solar	Absortancia visible
Mortar - plaster	0,35	840	950	0,9	0,6	0,6
Brick - aerated	0,3	840	1000	0,9	0,6	0,6
Reinforced Concrete	2,3	1000	2300	0,9	0,7	0,7
Polyvinylchloride Paint	0,19	1470	1200	0,9	0,6	0,6
Metals - steel	45	480	7800	0,9	0,6	0,6
Polypropylene with glass fiber	0,25	1800	1200	0,9	0,7	0,7
Soda lime glass	1	750	2500	0,9	0,7	0,7

Fuente: Elaboración propia a partir de datos tomados de DesignBuilder

Los datos detallados de las capas utilizadas en el edificio se encuentran en la Tabla B.1 del Anexo B.

3.3.2 Iluminación

- Iluminación Natural: El Software permite realizar análisis de aprovechamiento de luz solar y calcular las ganancias de calor, por este motivo es necesario proporcionar los datos de acristalamiento de la fachada del edificio.

Tabla 4. Datos de acristalamiento de UISALUD

Planta	Orientación	Área Ventanas (m)	Área Muros (m2)
Piso 1	Sur	19,9	59,1
	Norte	21,9	62,9
	Este	0	46,7
Piso 2	Sur	17,9	42
	Norte	15,8	41,9
	Oeste	2,7	36,4
Piso 3	Sur	38,4	115,2
	Norte	26,1	115,7
	Oeste	2,7	46,5
	Este	0	46,7

Fuente, elaboración propia a partir de DesignBuilder

- Iluminación Artificial: Para calcular el consumo energético y las ganancias de calor en los sistemas de iluminación del edificio, se requiere los datos de potencia, el tipo luminaria (empotrada, suspendida superficial) y el horario de operación. En la Tabla 5 se presenta las cargas de iluminación por piso.

Tabla 5. Cargas por pisos en el edificio UISALUD

PISO	POTENCIA (W)
1	2354
2	2011
3	4011

Fuente: Elaboración propia

Los datos de iluminación artificial detallados por zona se encuentran en la Tabla B.3 del Anexo B.

3.3.3 Consumos Energéticos

- **Equipos de oficina:** En el edificio se tienen aparatos eléctricos como computadores, impresoras y teléfonos, los computadores son los únicos que tiene operación continua, por tanto, en la tabla 6 se especifican cantidades y consumos por piso. En el anexo B tabla B.4 se especifican estos datos por zona.

Tabla 6. Consumos de energía de computadores en el edificio UISALUD

PISO	POTENCIA (W)
1	1560
2	1920
3	2040

Fuente: Elaboración propia

- **Equipos Médicos**

Las instalaciones del edificio cuentan con los equipos presentados en la tabla 7.

Tabla 7. Equipos médicos

Equipos	Ubicación	Cantidad	Potencia
Tanque Hidro colector	Fisioterapia	2	1000
Vibrador Percutor Torácico	Terapia respiratoria	1	60
Caminadora	Gimnasio	2	2600
Elíptica Magnética Grande	Gimnasio	4	20
Lámpara Cuello De Cisne	Consultorios	1	50
Negatoscopio	Consultorios	7	15
Unidad Odontológica Eléctrica	Consultorios	3	200
Amalgamador	Consultorios	1	180
Lámpara Foto curado	Consultorios	2	1000
Scanner Ultrasonido No Óptico	Consultorios	1	15
Pieza De Mano Odontológica	Consultorios	3	20
Equipos De Rayos X	Rayos X	1	960
Cavitron	Consultorios	2	92
Nevera 1000L	Farmacia	1	180
Nevera 2000L	Farmacia	1	360

Fuente: Elaboración propia

- **HVAC:** Los sistemas de refrigeración tienen un nivel muy alto de importancia en las simulaciones que evalúan el consumo energético y climatización, ya que tienen un consumo de energía alto y controlan la temperatura de los espacios en los cuales están instalados. Para la simulación de los HVAC en DESINGBUILDER se requieren los datos que se muestran a continuación.

La tabla 8 presenta los datos requeridos del primer piso para la simulación del HVAC.

Tabla 8. Datos primer piso para la simulación de HVAC

Distribución de la Carga de HVAC			
Primer Piso			
Equipo	Capacidad BTU	Zona	Aire Inyectado CFM
UMA 01	47900	Consultorio 1	470
		Consultorio 2	470
		Consultorio 3	470
		Rayos X	400
		Depósito de Materiales	200
UMA 02	26000	Farmacia	890
		Bodega de Medicamentos	890
UMA 05	26000	Inyectología	330
		Recepción Inyectología	450
		Procedimientos	450
FanCoil 01	54000	Auditoria Medica	900
		Coordinación Medica	500
		Auxiliar Transcripciones	450

Fuente: Elaboración propia

Los datos de los demás pisos se encuentran en la Tabla B.5 del Anexo B.

- **Ascensor:** El edificio cuenta con un ascensor, en la tabla 9 se presentará su consumo eléctrico.

Tabla 9. Consumo de potencia eléctrica ascensor

Ascensor	
Cantidad	Potencia (W)
1	3000

Fuente: Elaboración propia

3.3.4 Ocupación: En este tipo de simulaciones computacionales se requiere especificar el número de personas que ocupan las diferentes zonas del edificio y que actividad realizan en esta para estimar la generación de calor asociada al metabolismo del cuerpo²⁹. Para la mayoría de los casos, las actividades serán de oficina, ya que las personas permanecen sentadas, exceptuando algunas zonas en donde se realiza algún tipo de actividad física como en el gimnasio de adulto mayor. En la tabla 10 se muestra la ocupación por piso del edificio.

Tabla 10. Ocupación

Planta	Área (m2)	Personas	Personal Planta
Piso 1	322	28	11
Piso 2	290	22	15
Piso 3	613	38	20

Fuente: Elaboración propia

Los datos de ocupación detallados por zona se encuentran en la Tabla B.6 y B.7. del Anexo B.

²⁹ ASHRAE SPAIN CHAPTER. Estándar ANSI/ASHRAE 55-2017 – “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”. [En Línea]. [Consultado el 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-55-2017/>

3.3.5 Horarios: Mediante los horarios de programación se controla la utilización de todos los equipos eléctricos y la ocupación del edificio. En la Tabla 11 se muestra el horario recreado basados en el estándar 90.1 de la Ashrae³⁰ e información recopilada para ocupación de los tres pisos estimada según exceptuando las zonas de uso esporádico que muestran en el anexo B tabla B.8.

Tabla 11. Horario de ocupación consultorios primer piso

	Hora	Ocupación %	
		Lunes a viernes	Fin de semana
UISALUD	7 a 8	50	0
	8 a 9	90	0
	9 a 10	100	0
	10 a 11	100	0
	11 a 12	90	0
	12 a 13	30	0
	13 a 14	10	0
	14 a 15	70	0
	15 a 16	95	0
	16 a 17	95	0
	17 a 18	30	0
	18 a 19	10	0
	19 a 7	0	0

Fuente: Elaboración propia

³⁰ ASHRAE SPAIN CHAPTER. Nueva versión del estándar de ASHRAE 90.1-2016 sobre eficiencia energética.2016. [En Línea]. [Consultado el 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://spain-ashrae.org/norma-90-1-2016-sobre-eficiencia-energetica/>

3.3.6 Ubicación Geográfica Del Edificio: En búsqueda de generar una simulación con resultados acertados se proporciona una plantilla con información de la ubicación geográfica, perfil climático anual, etc. ³¹.

En la tabla 12 se presentan los datos de la plantilla para el edificio de UISALUD.

Tabla 12. Datos plantilla del edificio UISALUD

Datos de zona geográfica	
Latitud	7.08°
Longitud	-73.08°
Elevación	960 m s.n.m
Inclinación de terreno	0°
Temperatura Promedio anual	23.4 °C
Precipitación Mensual promedio	96.6 mm

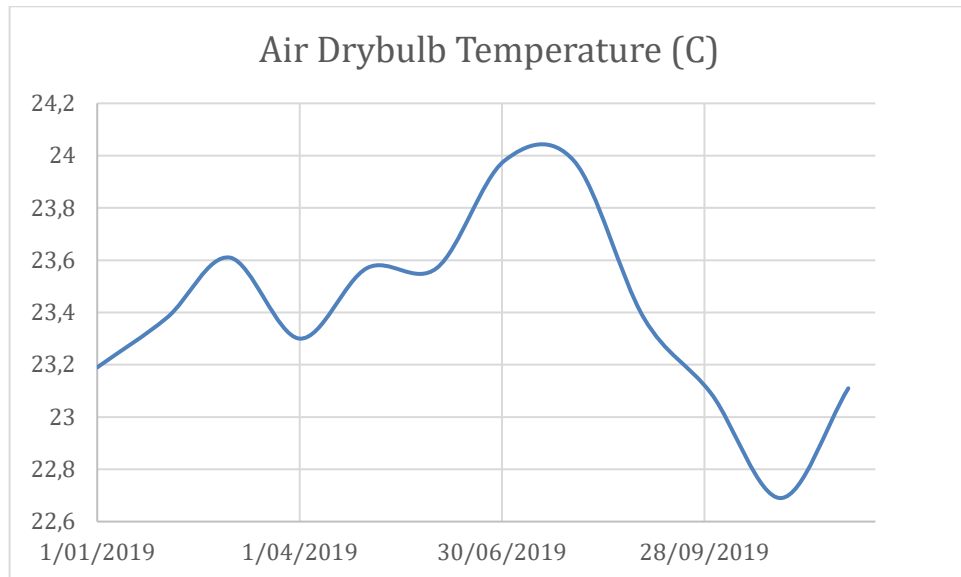
Fuente: Elaboración propia

3.3.7. Plantilla climática: Para resultados de mayor precisión podemos introducir dentro del software, una plantilla donde se encuentra registradas las temperaturas, humedades, velocidades de viento, niveles de radiación propias de la ciudad donde se realice el estudio, si se dispone de esta información para cada día del año. Los datos de la plantilla utilizada corresponden a la medición de datos de 2019 tomadas por la estación meteorológica instalada en el edificio de ingeniería mecánica por el grupo de investigación GIEMA.

En la siguiente gráfica podemos observar los promedios mensuales de las medidas de temperatura de bulbo seco a lo largo del año.

³¹ Alcaldía de Bucaramanga. Datos generales. [En Línea]. [Consultado el 18 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.bucaramanga.gov.co/el-mapa/datos-generales/#:~:text=Posici%C3%B3n%20Geografica%3A,longitud%20al%20Oeste%20de%20Greenwich>

Ilustración 6. Perfiles de temperatura Bucaramanga



Fuente: Elaboración propia a partir de los datos del archivo meteorológico

4. CONSTRUCCIÓN DE LA SIMULACIÓN

En este capítulo se describe cómo se realizó la simulación en el software DesignBuilder comenzando con la obtención e inserción de datos seguido de una simulación preliminar y culminando con el reajuste del modelo. A continuación, se describen cada una de las fases mencionadas anteriormente.

4.1 OBTENCIÓN E INSERCIÓN DE DATOS

Es donde se buscan e incluyen todas las características del edificio para obtener un comportamiento real en el modelo.

4.1.1. Obtención de datos: Esta fase consistió en la búsqueda de toda la información necesaria para construir el edificio de UISALUD. Estos datos se obtienen en gran parte de los planos arquitectónicos, memorias constructivas del sistema de HVAC proporcionados por planta física y visitas realizadas a las instalaciones. También se insertó la plantilla climática, elaborada a partir de los datos tomados por la estación meteorológica como se mencionó anteriormente.

Al modelo tridimensional, se le debe agregar toda la información recopilada, materiales de construcción, potencias de luminarias, consumos energéticos, ocupación, ubicación geográfica del edificio, horarios de ocupación y utilización de los equipos, y demás datos fundamentales para tener una simulación acertada del edificio.

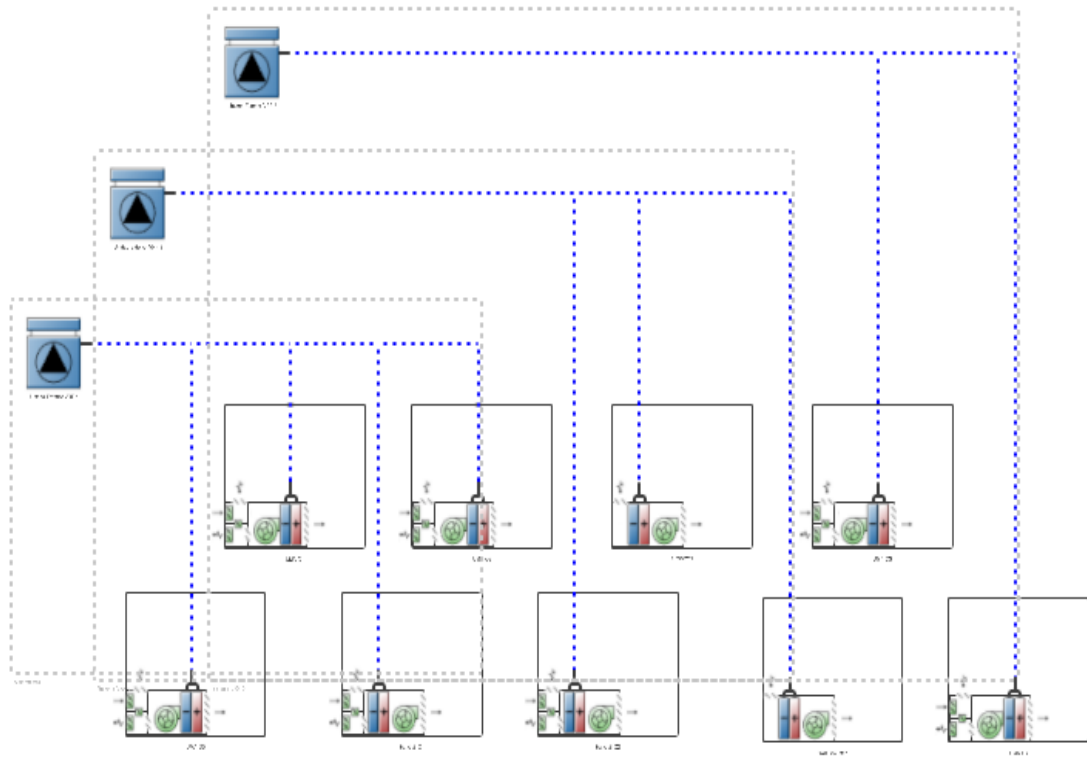
4.1.2 Inserción de datos: Después de obtener todos los datos mencionados en la fase anterior, se procede a insertarlos, y así obtener un modelo cercano a la realidad. Esta fase es clave ya que tiene un elevado nivel de importancia, debido a que afecta directamente el comportamiento de los parámetros de estudio.

El procedimiento de manejo del programa para el ingreso de datos se presenta en el ANEXO A.

4.2 MODELO HVAC

El sistema de climatización es una parte fundamental dentro del consumo energético y confort térmico interior, por consiguiente, se debe tener sumo cuidado al momento de implantar los datos de funcionamiento de los equipos dentro del software, apegándose en lo posible a la realidad. A continuación, se detallan los datos y correcciones introducidas en las plantillas del programa.

Ilustración 7. Sistema HVAC



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

En la ilustración anterior se puede observar el sistema de HVAC elaborado en DesignBuilder, que consta de tres condensadores LG multi V4 con control de flujo de refrigerante variable (R410a) también llamado VRF, donde cada uno posee una capacidad de 192.000 Btu/h de refrigeración, dos compresores y alimenta diferentes tipos de unidades interiores³², tal como se indica en la tabla B5 del anexo B.

Dentro del programa ya se encuentran las plantillas para el modelo de condensador mencionado como se muestra en la ilustración 8, sus curvas de funcionamiento y desempeño, sin embargo, dichos datos son editables de ser requerido, para actualizar información dependiendo de la versión del equipo instalado en el edificio.

³² LG. MULTI V IV. [En Línea]. [Consultado el 01 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.lg.com/in/business/multi-v-iv>

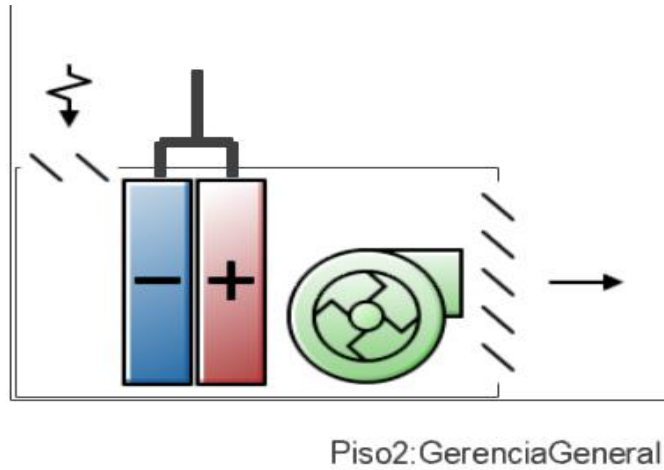
Ilustración 8. Configuración unidad VRF exterior

Unidad VRF Exterior	
General Refrigeración Calefacción Recuperación de Calor	
General	
Nombre	Unidad Exterior VRF 1
Plantilla de unidad exteriores VRV	LG VRF APUN/B 16ton 192MBtu/h 56.3kW
Programación de disponibilidad	7:00 - 18:00 Mon - Fri
Combustible	2-Electricidad
Ratio mínimo de carga parcial de bomba de calor	0,200
Control	
Tipo de control de prioridad del termostato maestro	1-Prioridad de carga
Tubería	
Altura de tubos para factor de corrección por tubería (m)	15,00
Compresor	
Potencia de calentador de cárter por compresor (W)	60,000
Número de compresores	2
Ratio de tamaño del compresor en relación con la capacidad total del compresor	0,50
Temperatura exterior de bulbo seco máxima para calentador de cárter (°C)	0,00
Desescarchamiento	
Estrategia de desescarchamiento	1-Resistivo
Control de desescarchamiento	1-Programado
Capacidad del calentador resistivo para desescarchamiento (W)	Autosize
Fracción de periodo de desescarchamiento	0,058333
Temperatura exterior de bulbo seco máxima para desescarchamiento (°C)	5,00
Condensador	
Tipo de condensador	1-Enfriamiento con aire

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Dentro de las diferentes zonas se encuentran las unidades interiores, al igual que la unidad exterior puede configurarse mediante plantillas precargadas en el software, como, por ejemplo, es el caso de las unidades “wall mounted VRV LG” (montajes de pared) que se encuentran instaladas en el segundo piso de UISALUD, la unidad mostrada posee una capacidad de 24.000 Btu/h de refrigeración y está instalada en la oficina de gerencia.

Ilustración 9. Wall mounted VRV



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

La plantilla utilizada en esta unidad de pared se detalla a continuación, únicamente es necesario reconfigurar el caudal de aire exigido en la edificación.

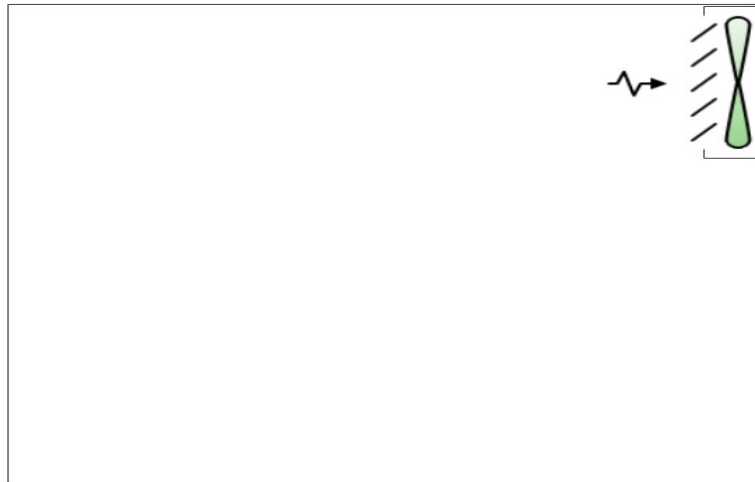
Ilustración 10. Configuración unidad interior VRV

Unidad Interior VRV	
General Destino	
General	
Nombre	Piso2:GerenciaGeneral Unidad Interior VRF
Plantilla de unidad interiores VRV	LG Wall Mounted ARNU243S5L2 24200Btu/h
Funcionamiento	
Programación de disponibilidad	7:00 - 18:00 Mon - Fri
Caudales de Aire de Impulsión	
Caudal de impulsión de aire durante el funcionamiento de la refrigeración (m³/s)	0,37760
Caudal de impulsión de aire durante el funcionamiento de la calefacción (m³/s)	Autosize
Caudal de impulsión de aire cuando no se requiere refrigeración (m³/s)	0,37760
Caudal de impulsión de aire cuando no se requiere calefacción (m³/s)	Autosize
Impulsión de Aire Exterior	
<input type="checkbox"/> Impulsión de aire exterior	
Energía Eléctrica Auxiliar	
Uso de energía eléctrica auxiliar, unidad terminal de zona activa (W)	30,000
Uso de energía eléctrica auxiliar, unidad terminal de zona inactiva (W)	20,000
Ventilador de Impulsión	
Tipo de ventilador	2-Ventilador de volumen constante
Ubicación del ventilador	2-Después de baterías (succión)
Programación del modo de funcionamiento del ventilador de impulsión	On 24/7
Capacidad de Calefacción	
<input type="checkbox"/> Sobrescribir ratio de dimensionado de la capacidad nominal total de calefacción de la unidad exterior	

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Adicionalmente existe un grupo de zonas que únicamente poseen ventilación mecánica. Este grupo de zonas posee ventiladores de diferentes tamaños, que se configuran uno a uno internamente, junto con su programación de encendido y apagado.

Ilustración 11. Ventilador mecánico



Piso3:GYMAdultoMayor

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

La ilustración corresponde a la zona del gimnasio para adultos mayores, que posee un sistema de ventilación mecánica de 1200 cfm de aire constante (control encendido y apagado).

Ilustración 12. Configuración ventilador de extracción

Ventilador de extracción de zona	
General Destino	
General	
Nombre	Piso3:GYMAdultoMayor Ventilador de ext
Datos de Ventilador	
Eficiencia total del ventilador	0,600
Aumento de Presión (Pa)	125,00
Caudal máximo (m³/s)	0,7000
Modo de acoplamiento del administrador de disponibilidad...	1-Acoplado
<input type="checkbox"/>	Aplicar programación de límite de temperatura mínima de zona
<input type="checkbox"/>	Aplicar programación de fracción de extracción equilibrada
Funcionamiento	
Programación de disponibilidad	8:00 - 18:00 Mon - Fri
<input type="checkbox"/>	Aplicar programación de fracción de caudal
Subcategoría de Uso Final	
Subcategoría de uso final	

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

4.3 SIMULACIÓN PRELIMINAR

Al tener el modelo completo se efectúa una primera simulación para detectar si hay errores o inconsistencias en las variables del programa como en la temperatura de las diferentes zonas del edificio, el consumo energético, infiltraciones de aire y demás problemas generados.

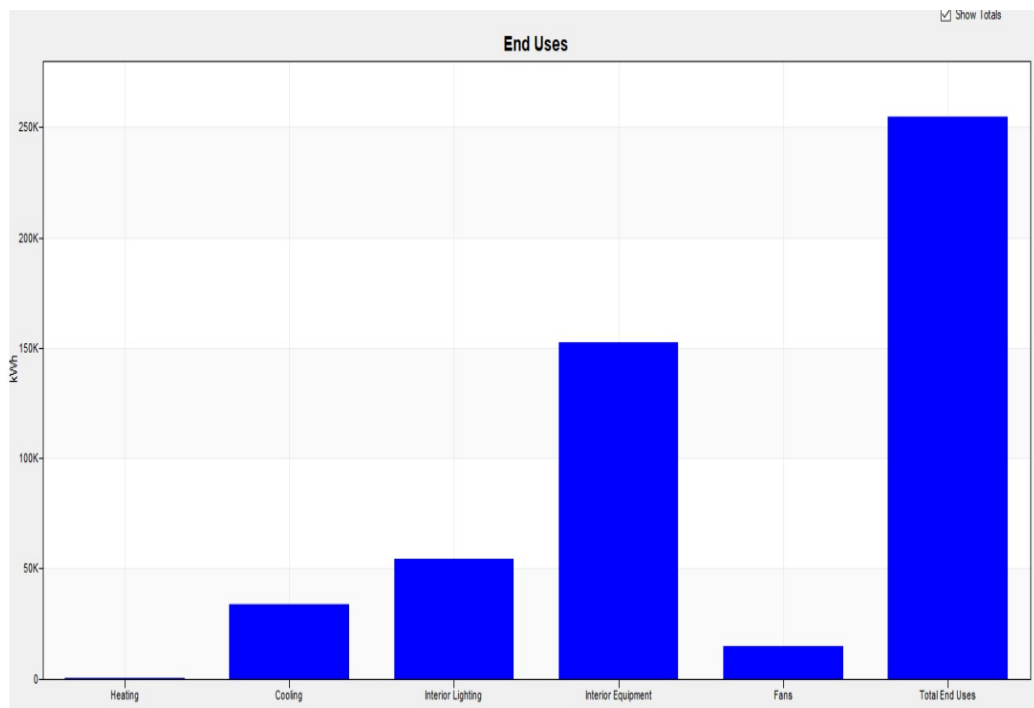
En caso de errores el software nos muestra una ventana en donde se encuentran divididos en tres tipos.

- Advertencias leves: las cuales son, por ejemplo, si una de las zonas térmicas se encuentra muy fría o caliente.
- Advertencias Graves: estas están en un nivel medio como, por ejemplo, que se tenga una ventana mal definida, esto respecta a que tenga dos o más cristales.

- Advertencias Fatales: este es el nivel más alto de error en el software este sucede como por ejemplo falta de datos de alguna variable de la simulación.

Los dos últimos tipos de advertencias causan la interrupción en el avance de la simulación; se revisan las advertencias y se ejecuta el programa, para obtener los primeros resultados mostrados en seguida.

Ilustración 13. Resultados de la primera simulación en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

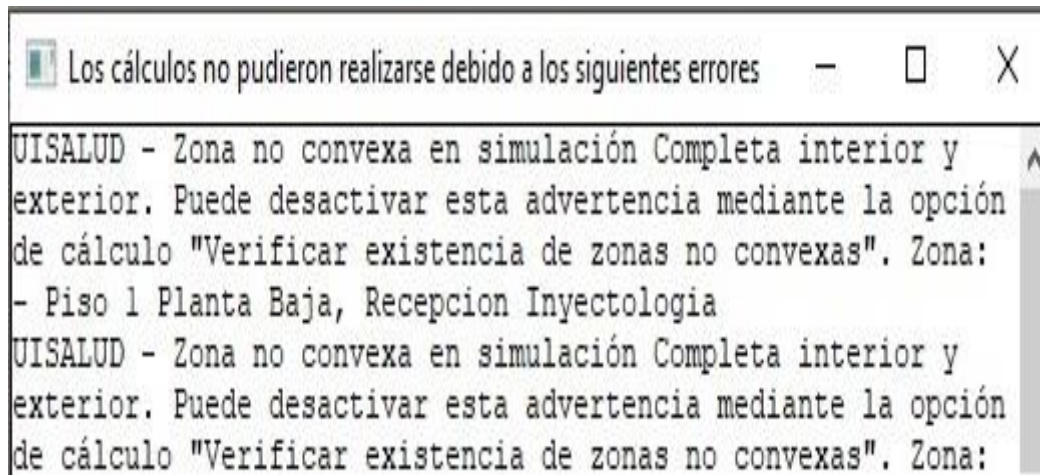
Se puede observar la inconsistencia de los resultados, pues el consumo del sistema de enfriamiento tiene un consumo inferior incluso al de las luces interiores, esto puede deberse a un error que detuvo la ejecución del sistema HVAC, generando datos incompletos.

4.4 REAJUSTE DEL MODELO

En este paso se solucionan todos los errores mostrados por el software al correr la simulación y se explica de qué manera fueron solucionados.

- El primer error presenta el siguiente aviso mostrado en la ilustración número 14.

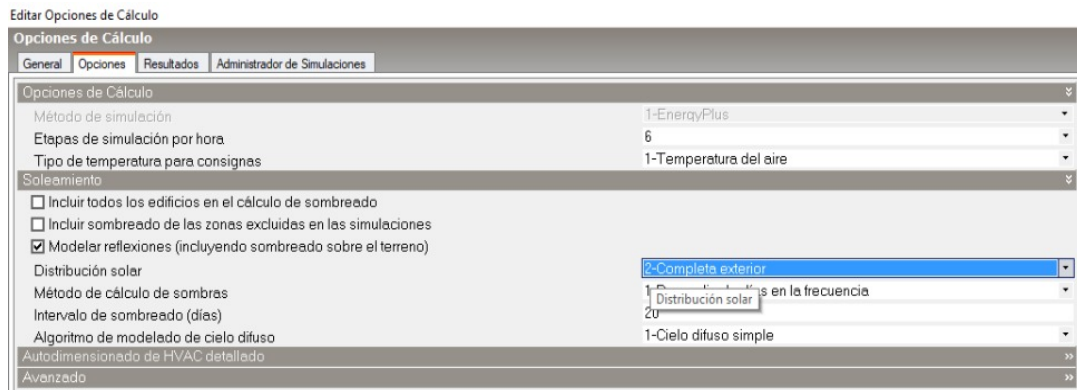
Ilustración 14. Error por distribución solar



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Este error se presenta debido a que la opción predeterminada (Completa interior y exterior*avanzada*) para el estudio de la distribución solar, no permite geometrías complejas y para dar solución el software recomienda utilizar la opción de análisis “Completa exterior”.

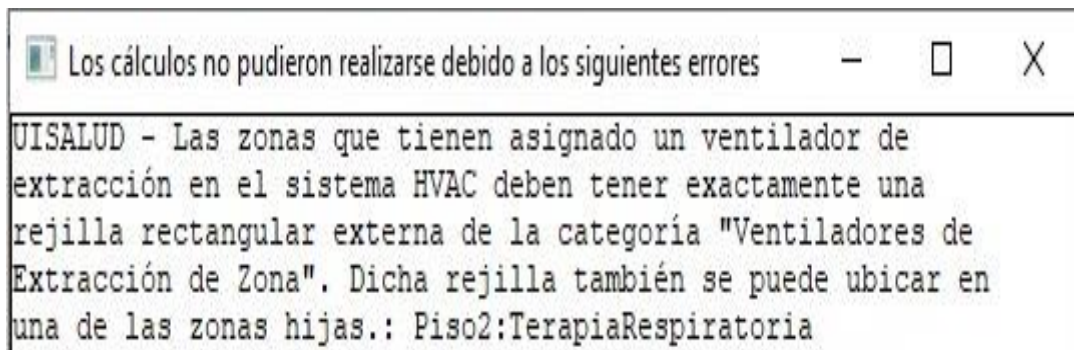
Ilustración 15. Corrección error de distribución solar



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

- El siguiente error da el siguiente aviso mostrado en la ilustración número 16.

Ilustración 16. Error por rejillas de ventilación



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Este error se presenta debido a que la configuración de las rejillas no es acorde a la necesidad del sistema HVAC en el que se configuro un ventilador de extracción. Por ende, se procede a cambiar el tipo de rejilla de “grille, small, light slats” a “zone exhaust fan”.

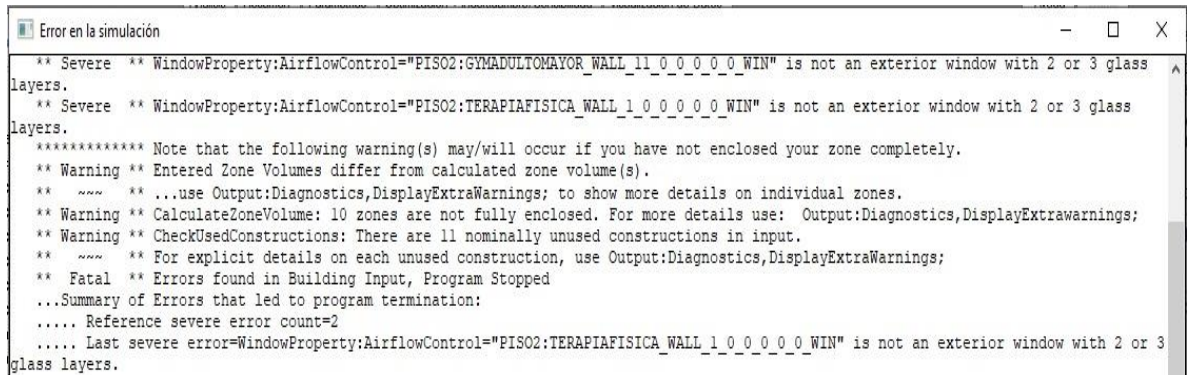
Ilustración 17. Corrección del error rejillas de ventilación



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

- El siguiente error da el siguiente aviso mostrado en la ilustración número 18.

Ilustración 18. Error de cámara ventilada



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Este error consiste en una opción activada por defecto del software, que únicamente es funcional para ventanas de doble vidrio, en el edificio modelado no se tienen estos tipos de ventana, la opción “control de cámara ventilada” debe desactivarse para que la simulación no sufra de contradicciones.

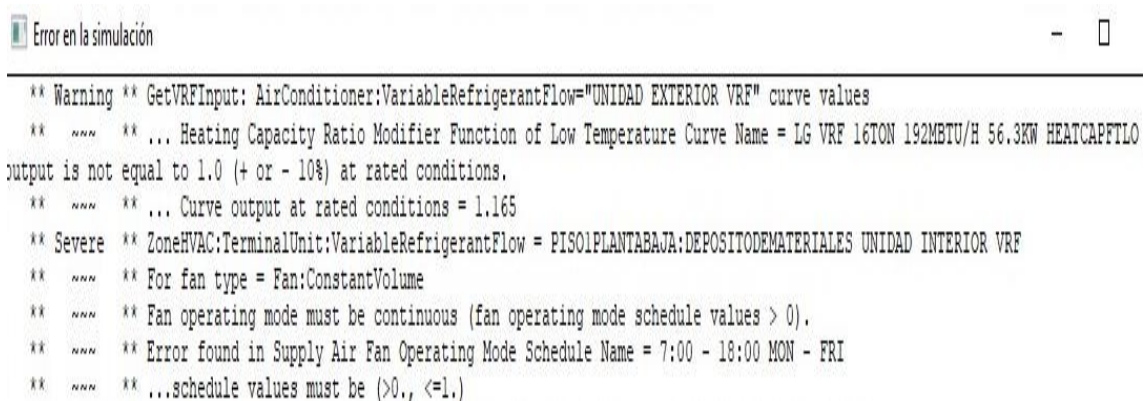
Ilustración 19. Corrección de error cámara ventilada



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

- El siguiente error da el siguiente aviso mostrado en la ilustración número 20.

Ilustración 20. Error programación de ventiladores



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

El aviso mostrado refiere a un error en la programación de disponibilidad de los ventiladores que hacen parte del sistema de HVAC, inicialmente se programan en

un horario de 7am a 5pm, posteriormente el software muestra que la disponibilidad debe de ser las 24 horas, aunque su uso real sea tan solo de 12 horas por día. Para dar solución al error se procede a la pestaña de HVAC y se corrige el horario para todas las zonas que presenten este problema.

Ilustración 21. Corrección de error programación de ventiladores

Editar Unidad Interior VRV -

Unidad Interior VRV

General Destino

General

Nombre Piso1PlantaBaja:DepositoDeMateriales Unidad I

Plantilla de unidad interiores VRV LG 4-Way Ceiling Cassette ARNU053TRC2 5500B

Funcionamiento

Programación de disponibilidad 7:00 - 18:00 Mon - Fri

Caudales de Aire de Impulsión

Caudal de impulsión de aire durante el funcionamiento de la refrigera... 0.09440

Caudal de impulsión de aire durante el funcionamiento de la calefacc... Autosize

Caudal de impulsión de aire cuando no se requiere refrigeración (m³/... 0.09440

Caudal de impulsión de aire cuando no se requiere calefacción (m³/s) Autosize

Impulsión de Aire Exterior

Impulsión de aire exterior

Caudal de aire exterior durante el funcionamiento de la refrigeració... 0.00540

Caudal de aire exterior durante el funcionamiento de la calefacción... Autosize

Caudal de aire exterior cuando no se requiere refrigeración ni calef... Autosize

Energía Eléctrica Auxiliar

Uso de energía eléctrica auxiliar, unidad terminal de zona activa (W) 30,000

Uso de energía eléctrica auxiliar, unidad terminal de zona inactiva (W) 20,000

Ventilador de Impulsión

Tipo de ventilador 2-Ventilador de volumen constante

Ubicación del ventilador 1-Antes de baterías (inyección)

Programación del modo de funcionamiento del ventilador de impu... On 24/7

Capacidad de Calefacción

Sobrescribir ratio de dimensionado de la capacidad nominal total de calefacción de la unidad exterior

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA SIMULACIÓN

Este capítulo expone los diferentes consumos energéticos de la edificación, su condición de confort térmico, la evaluación de las exigencias de climatización con respecto a la norma UNE 100713, la eficiencia energética del edificio con respecto a la resolución 0549 del 2015 y las posibles mejoras adaptables a las instalaciones.

Una vez que se completa toda la información de la edificación, su sistema de climatización interior y se corrigen todos los errores se procede a ejecutar la simulación anual, para realizar los diferentes análisis. Esta ofrece una gran cantidad de datos; para disponer de ellos de una manera más cómoda se utiliza el visor de resultados oficial de DesignBuilder llamado ResultsViewer, un software libre con el que podemos generar gráficas y tablas, además de tratar y exportar los datos a hojas de cálculo.

5.1 CONSUMOS ENERGÉTICOS

Inicialmente, se genera un resumen de los principales datos del edificio, en donde se encuentra la energía eléctrica empleada a lo largo de un año, el área total construida y proporción del consumo anual por unidad de área, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 13. Información general del edificio

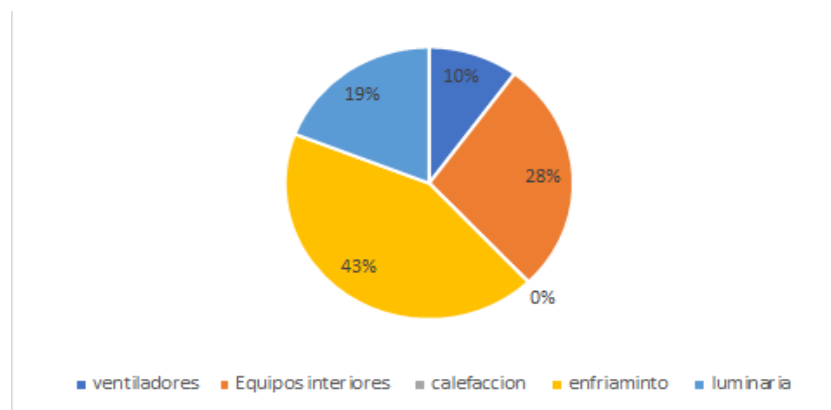
Nombre del edificio	Edificio UISALUD
Energía neta	49383,5 kWh
Área edificada	1082.65 m ²
consumo/m ²	45,61 kWh/m ²
Tipo de construcción	Hospitalaria

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

5.1.1. Origen de los recursos energéticos: En muchas ocasiones, a la edificación objeto de estudio se le suministra energía de diferentes fuentes, esto en caso de poseer generadores de gas natural, combustible o formar parte de un distrito térmico. Sin embargo, para las instalaciones de UISALUD toda la demanda se abastece mediante la conexión a la red eléctrica de la ciudad.

5.1.2. Distribución de consumos: Posteriormente se indica la distribución del consumo de la energía eléctrica anual, en cuatro categorías principales: iluminación, refrigeración, ventilación y equipos varios; con lo anterior, se puede referenciar a estudios realizados en otras instituciones hospitalarias, donde la carga del sistema de climatización tiene un rango entre 37 y 52% del consumo neto del edificio al estudiar el edificio de UISALUD se observa que el porcentaje del consumo asociado al sistema de HVAC es del 43% de la energía total, con lo cual, se puede evidenciar que el edificio está dentro del rango de los edificios de la muestra y es viable realizar mejoramientos³³.

Ilustración 22. Distribución de consumos en el edificio real



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.
En la siguiente tabla se describen los datos de la ilustración anterior.

³³ AChEE-Manual de gestor en eficiencia energética: Sector hospitalario.2016. [En Línea]. [Consultado el 8 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/2782/manual-hospitalario-chile.pdf>

Tabla 14. Detallada de consumos

Ventiladores	4995,05 KWh
Equipos interiores	13729,86 KWh
Calefacción	0 KWh
Enfriamiento	21217,23 KWh
luminaria	9441,36 KWh

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Por otro lado, también se evidencia cómo el sistema de climatización tiene el papel principal y dominante en el comportamiento del edificio, como se espera habitualmente, también se ve el realce de los equipos eléctricos, los cuales abarcan una parte importante debido a la alta cantidad de equipos de cómputo y las unidades médicas utilizadas durante todo el día.

Tabla 15. Línea base de consumos base

kWh/m2-año	Frío	Templado	Cálido seco	Cálido húmedo
Hoteles	96,1	151,3	132,5	217,8
Hospitales	249,6	108,3	344,1	344,1
Oficinas	81,2	132,3	318,2	221,3
Centros comerciales	403,8	187,8	187,8	231,5
Educativos	40	44	72	29,8
Vivienda no VIS	46,5	48,3	36,9	50,2
Vivienda VIS	44,6	44	34,6	49,3
Vivienda VIP	48,1	53	44,9	50,6

Fuente: Tomada de la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones ³⁴

Al ser UISALUD una institución con funciones de salud, debe regirse bajo la clasificación de hospitales y según el IDEAM³⁵ para Bucaramanga debe manejarse una zona de clima cálido húmedo, por lo tanto la línea de consumo base se fija en 344,1 kWh/m² por año; mientras que el consumo anual obtenido de la simulación de 45,6 kWh/m² por año, al compararlos se observa que el edificio se halla muy por debajo de la base planteada, esto puede corresponder a que dentro de las instalaciones, aunque son de uso clínico, no existen lavanderías, desfibriladores, tomógrafos, cuartos de hospitalización, salas de cirugía, además la jornada laboral se limita a 8 horas diarias.

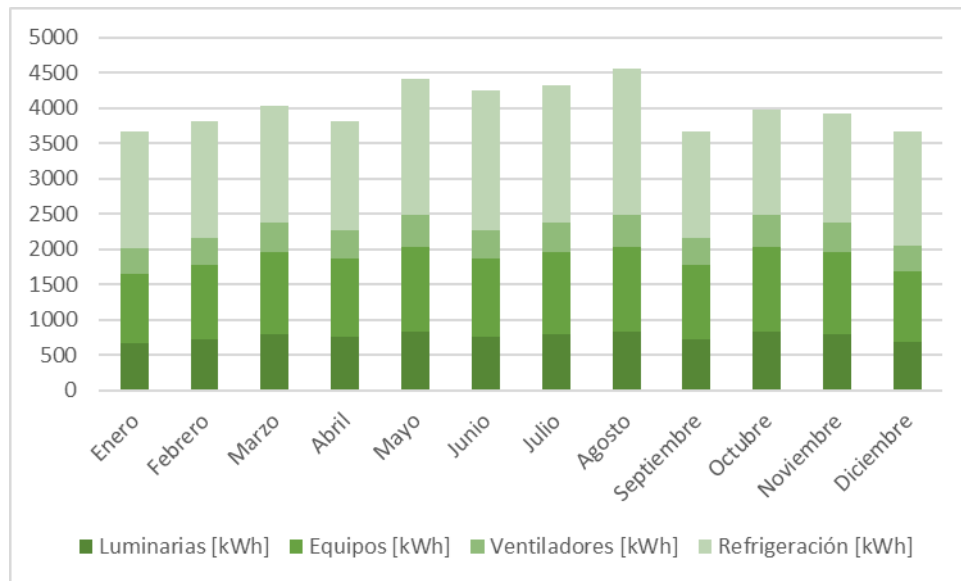
Otra posible causal planteada es una errónea catalogación de la ciudad de Bucaramanga como una zona de clima “cálido húmedo”, pues una investigación posterior de la Universidad Industrial de Santander, titulada Construcción sostenible y economía circular para dinamizar la cadena de valor de construcción en Santander, en el cual participa el director Julián Jaramillo, demuestra que la verdadera categoría debe ser clima “templado”.

5.1.3 Consumo mensual: A fin de realizar una observación más adecuada, se divide el consumo anual, en meses y las respectivas tecnologías que los ocupan, con el fin de establecer los consumos base que tienen poca variación en el tiempo.

Ilustración 23. Consumo en kWh por tecnología

³⁴ MINISTERIO DE VIVIENDA. Guía Código de construcción sostenible en Colombia. Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.2015. [En Línea]. [Consultado el 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>

³⁵ IDEAM. Características climatológicas. [En Línea]. [Consultado el 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/>



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

Tabla 16. Consumos mensuales con divisiones

MES	Luminarias [kWh]	Equipos [kWh]	Ventiladores [kWh]	Refrigeración [kWh]
Enero	832	1208,28	440,18	2056,83
Febrero	723,48	1052,14	382,76	1660,16
Marzo	795,82	1157,63	421,04	1648,27
Abril	759,65	1105,59	401,9	1541,2
Mayo	832	1208,28	440,18	1931,61
Junio	759,65	1105,59	401,9	1980,58
Julio	795,82	1157,63	421,04	1952,31
Agosto	832	1208,28	440,18	2080,96
Septiembre	723,48	1054,95	382,76	1509,06
Octubre	832	1208,28	440,18	1501,94
Noviembre	795,82	1156,23	421,04	1542,63
Diciembre	759,65	1106,99	401,9	1811,68

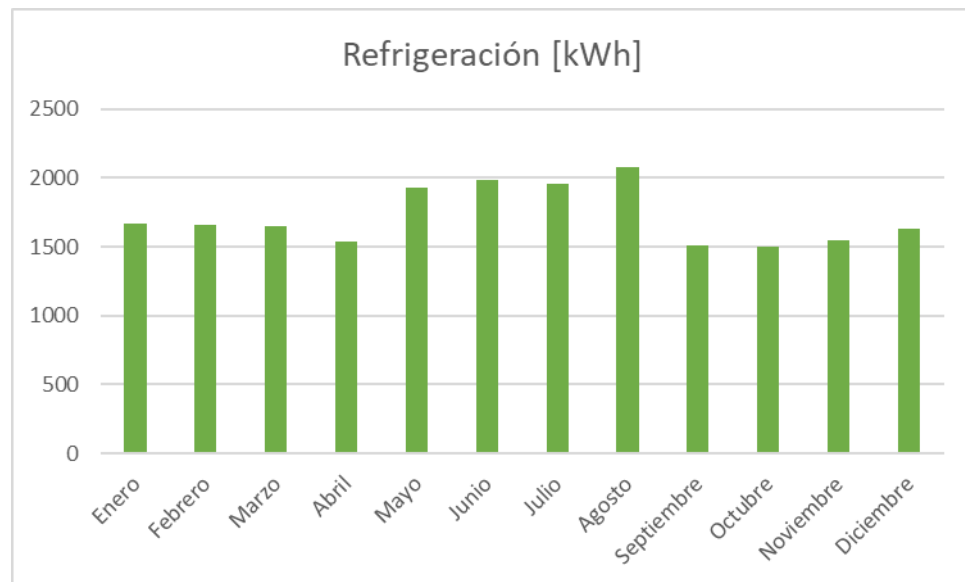
Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

De la tabla anterior se puede analizar y determinar que el consumo de las luces, equipos y ventiladores varían únicamente según los días hábiles del mes a lo largo

del año, de estos únicamente podría optimizarse el gasto generado por las luminarias ya que los equipos son una prioridad y no se puede alterar su funcionamiento, mientras que el consumo del sistema de aire acondicionado muestra una gran variabilidad.

5.1.4 Consumo del sistema de climatización: En este punto se analiza el sistema de climatización a detalle, ya que influye en gran proporción en el consumo de energía eléctrica del edificio. Para edificios nuevos o remodelaciones se pretende que el consumo sea lo más bajo posible, y cumpla con los estándares propuestos por el gobierno de Colombia y lo dispuesto en la resolución 0549 de 2015. En la siguiente ilustración se presentan los resultados obtenidos para el edificio.

Ilustración 24. Perfiles de carga del sistema de climatización



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

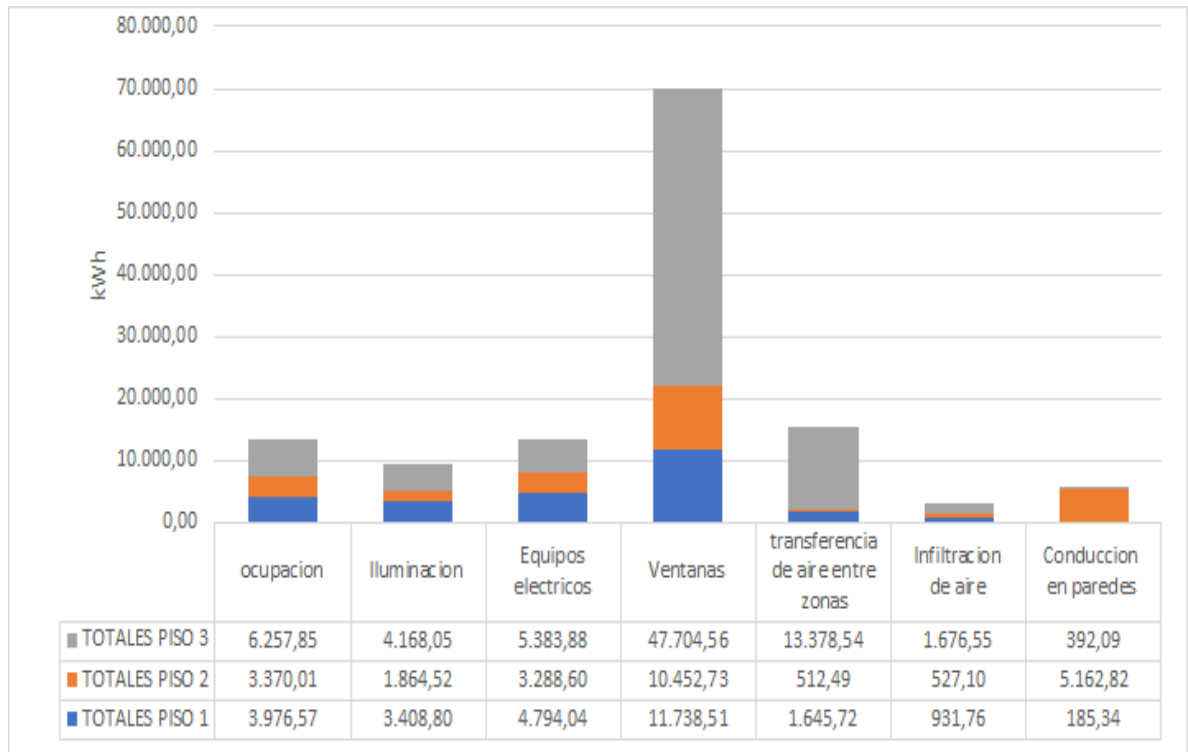
Se puede observar de la ilustración anterior el comportamiento del consumo mes a mes, aumentando en enero, junio, julio y agosto, reconocidas temporadas de verano en Colombia. durante el mes de agosto se tiene la mayor exigencia para el sistema

de refrigeración; además con esta información se puede realizar una comprobación mediante la herramienta de diseño de sistema de refrigeración en DesignBuilder, esta simulación da como resultado que para el edificio se requiere un sistema de 125 Kbtu/h asumiendo un factor de seguridad de 1.2, mientras que se tiene instalada una capacidad de 156 Kbtu/h.

Lo anterior, apunta a un probable sobredimensionamiento esperando para satisfacer demandas futuras, de mayor ocupación y altas temperaturas debido al crecimiento de las temperaturas efecto del calentamiento global, posteriormente se analiza el efecto del calentamiento global esperado y las alternativas para reducir estos consumos como mejora de la eficiencia del edificio.

5.1.5 Ganancias De Calor: Conocer las diferentes ganancias de calor y sus orígenes aporta información valiosa para generar medidas pasivas o activas adecuadamente enfocadas a los factores de mayor incidencia en la carga que debe extraer el sistema de aire acondicionado de la edificación. En seguida se muestran las ganancias más significativas en el edificio durante el año, dividida en los tres pisos de estudio.

Ilustración 25. Ganancias de calor sensible



Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

Como se muestra en la ilustración anterior, la mayor ganancia de calor sensible se ve reflejada en la radiación solar que cruza a través de las ventanas y la cubierta translúcida, con un porcentaje de 53.3% del total de las ganancias, seguida del calor generado por los múltiples equipos eléctricos del edificio que ocupan un 12% de las ganancias; es de resaltar que las ganancias por transferencia de aire entre zonas, no se contabilizan pues se anula con la pérdida de calor por transferencia de aire entre las zonas contiguas.

Uno de los parámetros a mejorar en busca de una mayor eficiencia energética, son las ganancias obtenidas a través de las ventanas; siguiendo la recomendación de “la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en

edificaciones”³⁶, donde se habla de las medidas pasivas para el ahorro de energía en el sistema de aire acondicionado en diferentes tipos de instituciones y su viabilidad.

5.1.6 Consumo De Iluminación Interior: La iluminación en instalaciones sanitarias y salas de consulta debe servir a dos objetivos fundamentales garantizar las óptimas condiciones para desarrollar las tareas correspondientes, y contribuir a la atmósfera en la que el paciente se sienta confortable, todo esto garantizando la máxima eficiencia energética posible³⁷.

Para cumplir con los requerimientos de iluminación por metro cuadrado en el edificio, se evidencia que el diseño no tuvo en cuenta la iluminación natural, pues al realizar una verificación de los requerimientos de luxes según la norma UNE 12464-1, se observa que la capacidad instalada puede cubrir el requerimiento mínimo en la mayoría de las zonas del edificio, aun en ausencia total de luz natural. En la siguiente tabla se muestra el análisis del nivel de luminancia en algunas zonas a manera de ejemplo de la correlación elaborada.

Tabla 17. Niveles de luminancia

Zona	Área (m2)	Watts instalados	lum	lux instalados	lux norma
consultorio odontológico	18,6	245	17150	922.04	1000
consultorio Medico	13,8	186	13020	943,47	1000
coordinación contabilidad	15,1	173	12110	801,98	500

³⁶ MINISTERIO DE VIVIENDA. Guía Código de construcción sostenible en Colombia. Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.2015. [En Línea]. [Consultado el 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>

³⁷ UNE EN 12464-1. Iluminación. 44 p. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en:

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

Los datos de las demás zonas se encuentran en la tabla C.1 del anexo C.

Se utiliza un factor de conversión de 70 lúmenes por watt para el análisis, siendo este el valor de menor eficiencia suministrado por fabricantes de lámparas LED³⁸; es de resaltar que más adelante se muestra un análisis de mejora en el aprovechamiento de la iluminación natural mediante la simulación de un control lineal de las luces, con el cual se entrega la cantidad de luz requerida según la norma UNE –EN 12464-1 que especifica mínimo requerimiento de luxes durante la jornada laboral.

5.2. CONFORT TÉRMICO

La norma ISO 7730³⁹ define la “Comodidad Térmica” como: "aquella condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico", esta sensación depende de dos factores, el calor que produce el cuerpo y el que pierde, a su vez estas se determina por las condiciones metabólicas del cuerpo, la vestimenta y los factores ambientales; en un estudio donde se desee analizar el confort deben tenerse en cuenta dichos parámetros. El metabolismo se correlaciona mediante una medida llamada el “met”, Un met corresponde a una persona que se halla sentada en reposo, y una emisión de aproximadamente 100w⁴⁰ La vestimenta se representa mediante la unidad llamada “clo”, esta es una equivalencia a una resistencia térmica

³⁸ LLUMOR. Equivalencia de Lumen a Vatios. [En Línea]. [Consultado el 26 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://llumor.es/info-led/equivalencia-de-lumen-a-vatios/>

³⁹ UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. [En Línea]. [Consultado el 14 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517>

⁴⁰ ASHRAE, Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010. 55 p.

donde un clo representa una persona con traje completo y equivale a $0.155 \text{ m}^2\text{C/w}^{41}$.

Para una vestimenta de invierno se aplica un clo de 1.25, mientras que para una vestimenta casual de verano se utiliza un clo de 0.5^{42} .

Además se debe considerar los factores ambientales como, la temperatura del aire al interior de los locales, la temperatura radiante media (temperatura de los muros), la humedad relativa y la velocidad del aire, mediante el procesamiento de estos datos se puede calcular el voto medio previsto PMV y el porcentaje previsto de insatisfechos PPD, mediante diferentes modelos estadísticos, como es el modelo de Fanger⁴³ (se explicará más adelante a detalle) o el modelo de confort adaptativo recogido en la ASHRAE 55, este último, fue elaborado en base a estudios realizados por Dear y Brager⁴⁴, pues el modelo de Fanger tenía serios problemas en casos donde las condiciones de los edificios no estaban totalmente controladas, los ocupantes tomaban medidas para mejorar su sensación de confort o las condiciones climáticas se distanciaba de las condiciones nominales, como respuesta se genera el modelo adaptativo tiene mejores correlaciones con las condiciones exteriores del edificio e interacción de su ocupantes con el entorno⁴⁵.

⁴¹ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 323: Determinación del metabolismo energético. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en:

https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_323.pdf/04f2e840-4569-421a-acf4-37a9bf0b8804

⁴² INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 462: Estrés por frío: evaluación de las exposiciones laborales. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/326962/ntp_462.pdf/9f976f99-fbd2-4e12-b2e0-a35358a99eaf

⁴³ FANGER, P. O. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972.

⁴⁴ DEAR, Richard y BRAGER, G. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference Final Report on RP-884.1997. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269097185_Developing_an_Adaptive_Model_of_Thermal_Comfort_and_Preference_-_Final_Report_on_RP-884

⁴⁵ ARBALLO.KUCHEN. NARANJO Y ALONSO. Evaluación de modelos de confort térmico para interiores.2016. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/309477141_EVALUACION_DE_MODELOS_DE_CONFORT_TERMICO_PARA_INTERIORES

Para el cálculo del confort mediante el método adaptativo de Dear y Brager, se utiliza la temperatura operativa (t_o), esta se basa en la temperatura del aire del cuarto (t_{air}) y la temperatura radiante media (t_{rm}), usando la siguiente ecuación:

$$t_{op} = A t_{air} + (1 - A)t_{rm}$$

Donde el valor de A depende de la velocidad del aire como se muestra en la tabla.

Tabla 18. Constante para la temperatura operativa

v_r	<0.2 m/s	0.2 a 0.6 m/s	0.6 a 10 m/s
A	0.5	0.6	0.7

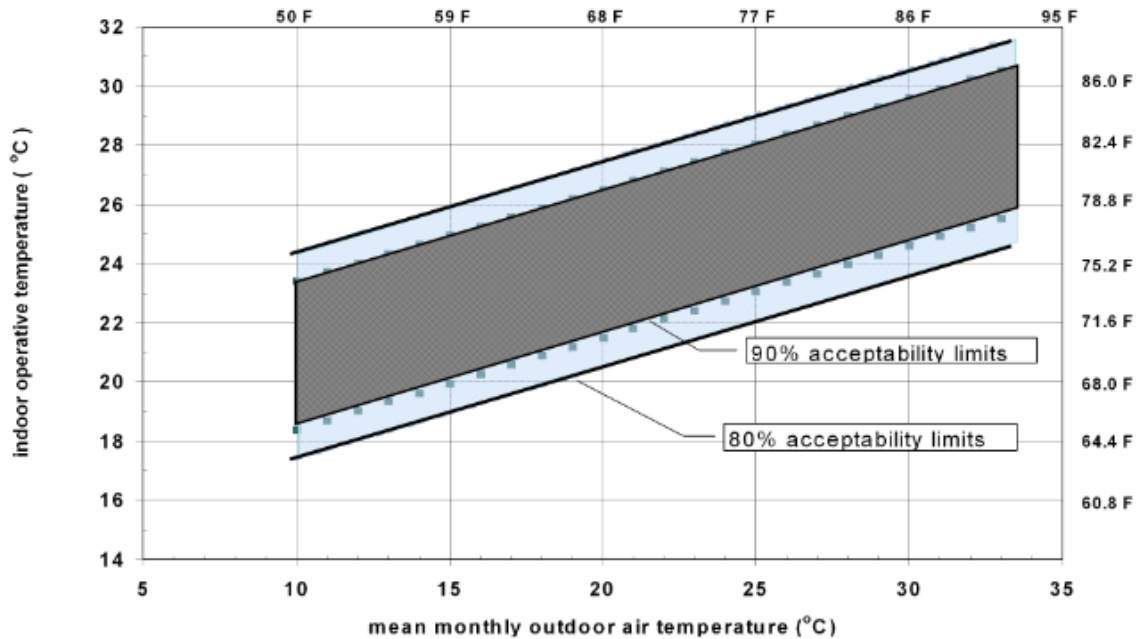
Fuente: Tomado del apéndice C de la ASHRAE 55⁴⁶

Cuando la velocidad del aire es baja la fórmula se convierte en un promedio simple entre la temperatura del aire y la radiante, más adelante se muestra la distribución de temperaturas operativas en las diferentes zonas del edificio de estudio.

El modelo adaptativo determina dos rangos de temperaturas óptimas para el confort, dependiendo del número de personas que deben hallarse conformes con las condiciones de temperatura, estas pueden ser del 80% o del 90% del total, en la siguiente ilustración se indican las condiciones, según la temperatura de bulbo seco promedio mensual exterior.

⁴⁶ ASHRAE, Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010. 55 p.

Ilustración 26. Rangos de temperatura operativa aceptables para espacios acondicionados naturalmente



Fuente: Tomado del apéndice C de la ASHRAE 55⁴⁷

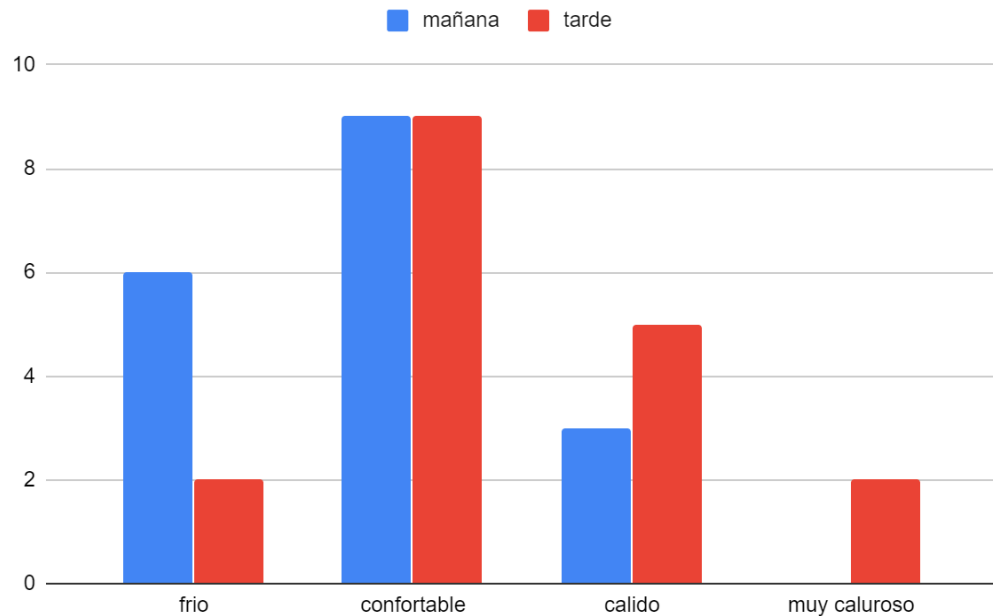
Según los datos recogidos del archivo meteorológico disponible la temperatura promedio del ambiente, es de 23.36°C, al ingresar en la tabla con dicho valor para el estándar ASHRAE 55 90% los límites deben hallarse entre 22.7 a 27.5°C y para el estándar ASHRAE 55 80% deben estar entre 21.5 y 28.5°C de temperatura operativa. Esto puede corroborarse más adelante mediante la implementación de la herramienta computacional utilizada.

Adicionalmente, para comprobar el asertividad de los resultados se realiza una encuesta de satisfacción térmica, guiada en el modelo disponible en el apéndice E1 de la ASHRAE 55 de 2010, con la cual se pretende que los trabajadores de las instalaciones corroboren la información obtenida por medio del software. En la

⁴⁷ ASHRAE, Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010.

siguiente Ilustración se presentan las respuestas, respecto a la sensación térmica durante la mañana o la tarde por 18 trabajadores encuestados.

Ilustración 27. Respuestas a sensación térmica en trabajadores



Fuente: Elaboración propia

Como se esperaba la sensación térmica es agradable para un buen número de trabajadores, la mayor parte de los que expresaron sentir “frío” durante la mañana se hallan ubicados en oficinas pequeñas en el primer piso, y la mayoría de los que manifestaron sentir “calor” se hallan en zonas del piso superior, algunas de ellas no climatizadas como lo es fisioterapia. De aquí se obtiene un marco de referencia para los datos que se muestran en adelante.

5.2.1. Distribución de temperaturas: Al momento de analizar los diferentes espacios dentro del edificio, la distribución de temperaturas de aire interior obtenida es muy relevante, con estas se denota el adecuado funcionamiento del sistema de climatización, además de las zonas que poseen mayores cargas y los sitios de mayor confort térmico. En la siguiente tabla se presentan el número de horas por año en los que la temperatura se halla en diferentes rangos durante la jornada laboral para la primera planta de la edificación, en la tabla C.2. del anexo C se presenta la tabla completa.

Tabla 19. Rangos de temperatura del primer piso

Zona	<20,5	20,5-21,5	21,5-22,5	22,5-23,5	23,5-24,5	24,5-25,5	25,5-26,5	26,5-27,5
Auditoria Medica	0,5	42,8	297,8	737,7	1922,7	0	0	0
Auxiliar Transcripciones	1,3	68,6	231,3	592,3	2108	0	0	0
Bodega Medicamentos	0	120,1	547,7	934	1399,7	0	0	0
Consultorio 1	12,2	82,6	365,3	786	1755,4	0	0	0
Consultorio 2	0,5	37,8	95,4	577,5	2290,3	0	0	0
Consultorio 3	0,7	50	213,9	646,6	2090,3	0	0	0
Coordinación Médica	7	140,6	480,2	750,2	1623,5	0	0	0
Depósito	0	1,7	101,7	320,4	228,7	0	0	0
Farmacia	0	21,7	306,7	829,1	1844	0	0	0
Hall recepción	0	35,3	435	961,5	942,4	555,7	70,9	0,7
Inyectología	0	3,9	105,2	265	278,4	0	0	0
Procedimientos	0	93,3	392,8	761	1754,4	0	0	0
Rayos X	0	0,9	56,4	222,3	372,9	0	0	0
recepción inyectología	0	4,3	198,7	958,4	1840,1	0	0	0

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Según la tabla se puede llegar a varias conclusiones, producto de la observación directa; En primer lugar, teniendo en cuenta que la consigna de temperatura utilizada en la edificación es de 24°C, se observa que todas las zonas climatizadas a están debajo de los 25°C indicando que el sistema de refrigeración cumple con su función a cabalidad llegando a alcanzarse temperaturas muy bajas en algunas zonas, lo que implica que la capacidad instalada se encuentra por encima de las demandas en todo momento. Los valores que se encuentran fuera de los rangos de trabajo corresponden a zonas no climatizadas, destinadas y manejadas únicamente mediante ventilación mecánica y natural.

Así mismo tal como se muestra en la tabla 19, el software entrega un resumen del análisis según los estándares solicitados, como se muestra a continuación, se expone los resultados del estudio de confort según el modelo de Fanger y posteriormente un estudio de horas de discomfort ASHRAE 55 90% y 80% para el primer piso, y en el anexo C.2 se encuentra la tabla con los resultados de todas las zonas

5.2.2 Confort según el modelo de Fanger: El modelo de Fanger se basa en la estimación del PMV y el PPD. El PMV es un factor que depende una gran variedad de parámetros que se exponen en la norma ISO 7730:2005, como son la tasa metabólica, la potencia mecánica efectiva de los equipos, el aislamiento de la ropa, el factor de superficie de la ropa, la temperatura del aire, la temperatura radiante media, la velocidad relativa del aire, la presión parcial del vapor de agua, el coeficiente de transmisión del calor por convección; dada la alta cantidad de datos y el manejo de ecuaciones complejas este cálculo solo se puede realizar mediante computación. Según la ISO 7730 para el hallar el valor del PMV se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ -1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ -3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\} \quad (1)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\} \quad (2)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{para } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (3)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{para } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{para } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases} \quad (4)$$

M es la tasa metabólica, en vatios por metro cuadrado (W/m^2);

W es la potencia mecánica efectiva, en vatios por metro cuadrado (W/m^2);

I_{cl} es el aislamiento de la ropa, en metros cuadrados kelvin por vatio ($\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$);

f_{cl} es el factor de superficie de la ropa;

t_a es la temperatura del aire, en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

\bar{t}_r es la temperatura radiante media, en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$);

v_{ar} es la velocidad relativa del aire, en metros por segundo (m/s);

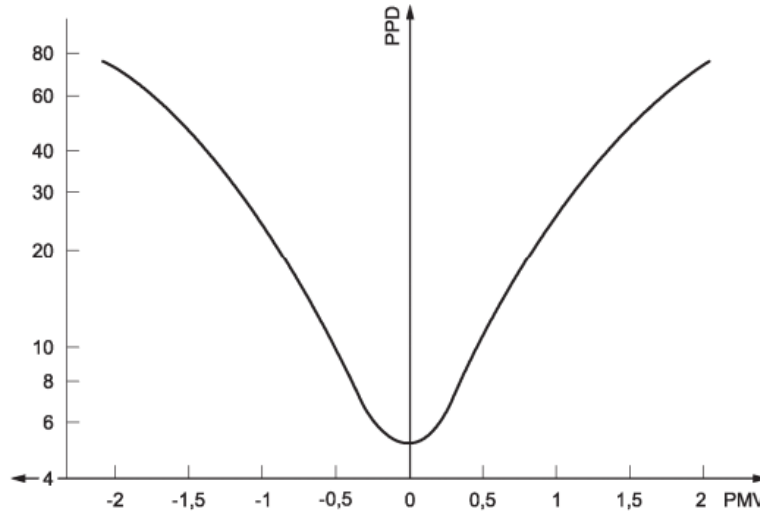
p_a es la presión parcial del vapor de agua, en pascales (Pa);

h_c es el coeficiente de transmisión del calor por convección, en vatios por metro cuadrado kelvin [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

t_{cl} es la temperatura de la superficie de la ropa, en grados Celsius ($^{\circ}\text{C}$).

El PPD se estima mediante la ecuación o la siguiente ilustración después de calcular el PMV.

Ilustración 28. PPD en función del PMV.



Fuente: Tomado de la norma ISO 7730:2005⁴⁸

En dicha norma se establece además los límites aceptables para cada una de las variables, los valores límites del PMV que aseguran confort se estiman entre -0.5 y 0.5 entendiéndose el valor de cero como “una relación que predice las combinaciones de actividad, vestimenta y parámetros ambientales que, por término medio, darán lugar a una sensación térmica neutra”⁴⁹. El valor límite del PPD se fija como 10%, comprendiéndose como una tolerancia que apunta a satisfacer el confort térmico del 90% de las personas en el local, dentro del modelo estadístico de Fanger, se asegura que el menor valor posible es del 5% pues siempre se hallará a alguien en estado de inconfort.

⁴⁸ UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. [En Línea]. [Consultado el 14 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517>

⁴⁹ RITE. Reglamento de instalaciones térmicas en edificios. Marcombo, Barcelona.2010.426 p.

En seguida se presenta una muestra del primer piso, de los resultados obtenidos de la simulación, los datos de los demás pisos se hallan en el anexo C. tabla C.3.

Tabla 20. Confort según el modelo de Fanger

Zona	PMV	PPD
Auditoria Medica	-0,09	6,32
Auxiliar De Transcripciones	-0,22	7,57
Bodega De Medicamentos	-0,31	8,85
Consultorio 1	-0,27	8,34
Consultorio 2	-0,20	7,22
Consultorio 3	-0,22	7,58
Coordinación Médica	-0,29	8,41
Depósito De Materiales	-0,28	7,99
Elevador	0,08	7,78
Farmacia	-0,05	6,19
Hall Recepción	-0,13	7,53
Inyectología	-0,28	8,07
Procedimientos	-0,26	8,28
Rayos X	-0,22	7,26
Recepción Inyectología	-0,20	7,10
W.C. Discapacitados	-0,14	6,73

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder

Como se observa en la tabla anterior, la zonas del edificio se hallan dentro del rango previsto por la norma, de una máximo de 10% en PPD y de más o menos 0.5 de PMV⁵⁰ con excepción de las zonas no climatizadas del edificio (gimnasio y terapia física) donde se realiza principalmente actividad física y no se requiere un control exhaustivo de las condiciones, por añadidura se puede dar análisis a los valores de PMV, que son negativos en su mayoría, esto se presenta porque las temperaturas

⁵⁰ INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 501: Ambiente térmico: inconfort térmico local.1998. [En Línea]. [Consultado el 10 de febrero de 2020]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_501.pdf/24b8f22e-7ce7-43c7-b992-f79d969a9d77

se inclinan a ser más frías de los requerido, sin embargo, el modelo de Fanger, no indica inconfort realmente grave en ninguna zona climatizada.

5.2.3 Confort según el estándar ASHRAE 55

Ahora se presentan los resultados del estudio mediante el modelo ASHRAE 55⁵¹ en las diferentes zonas del primer piso, en la tabla C.4. del anexo C. se encuentra la tabla con los valores de todas las zonas.

Tabla 21. Confort según el estándar ASHRAE 55

Zona	ASHRAE 55 90% Acceptability Limits [Hours]	ASHRAE 55 80% Acceptability Limits [Hours]
Auditoria Medica	55,5	0,8
Auxiliar Transcripciones	85,6	3,4
Bodega	154,3	2,1
Consultorio 1	127	18,8
Consultorio 2	51,1	1,2
Consultorio 3	66,7	2
Coordinación Médica	184,7	14,2
Depósito De Materiales	5,5	0
Elevador Piso 1	1,2	0
Farmacia	45	0
Hall Recepción	51,8	0
Inyectología	8,9	0
Procedimientos	121,6	1,4
Rayos X	3,4	0
Recepción De Inyectología	8,1	0
W.C. Discapacitados	0	0

Fuente: Tomado de autores de ResultsViewer

De la tabla anterior, se recogen la cantidad de horas de desconfort en las diferentes zonas, si se relaciona con la norma ISO 7730, donde se establece el porcentaje de

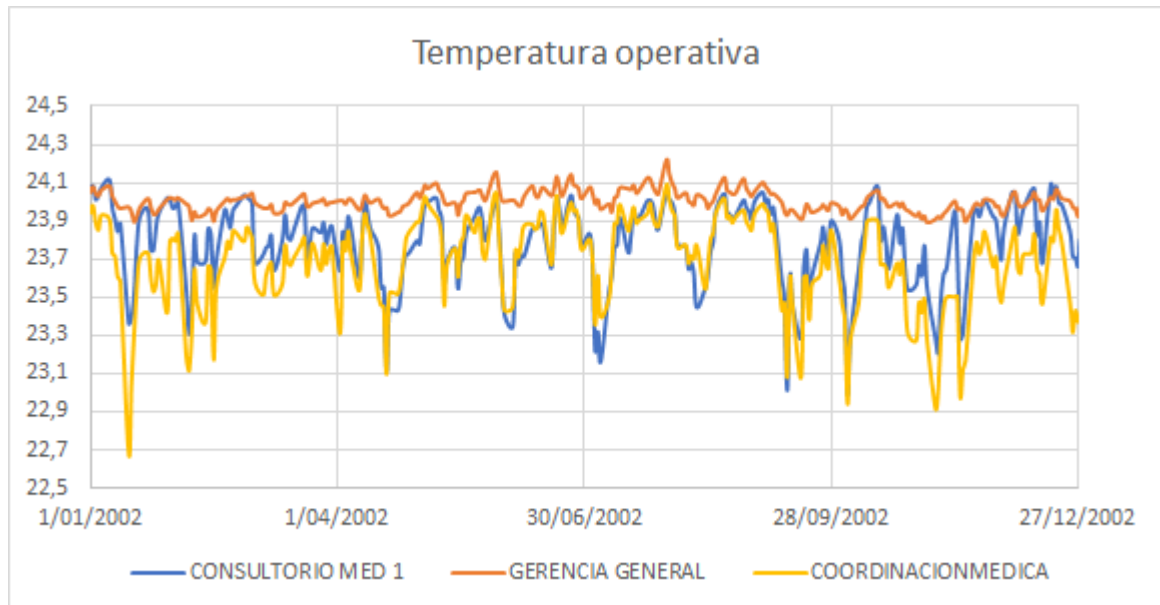
⁵¹ ASHRAE, Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010.

horas de desconfort admitidas, para una buena calidad térmica es del 5% del total del tiempo ocupado, para el caso de estudio se tiene un total 3000 horas, por tanto, se espera que el tiempo no supere las 150 horas en cada zona climatizada. detallando la tabla disponible en el anexo, y tomando como referencia el estándar de confort para el 90% de los ocupantes, se extrae que la gran mayoría de las zonas cumplen con el requerimiento de la norma, a excepción de la bodega de medicamentos y auditoría médica, cuya temperatura es demasiado baja durante las mañanas, debido posiblemente a la poca radiación solar que reciben y las bajas ganancias internas de calor.

La aplicación de los dos modelos de confort permite observar las discrepancias entre ellos, debido principalmente a su enfoque, mientras que la ASHRAE 55 se centra en las condiciones climáticas exteriores para determinar un estado de confort, el modelo de Fanger, desprecia completamente las condiciones exteriores y se orienta netamente en las condiciones internas que rodean a los ocupantes. En tanto Fanger indica un confort completo en todas las zonas, el método de la Ashrae presenta lugares demasiado fríos para laborar en algunos momentos, incluso aumentando el nivel de ropa de los ocupantes (pues el método considera que los ocupantes realizan cambios para mejorar su estado de confort).

Si se desea examinar meticulosamente los perfiles de temperatura en un periodo de tiempo en específico, el software ResultsViewer permite examinar cada variable con gran detalle, como se muestra para las zonas de auditoría médica, consultorio médico y gerencia en la ilustración 29 a manera de ejemplo.

Ilustración 29. Temperatura operativa



Fuente: Elaboración propia de temperatura anual de múltiples zonas

De esta ilustración, podemos detallar el comportamiento de la temperatura de operación a lo largo de los días del año, ignorando los fines de semana, pues en estos días las temperaturas se elevan por encima de los rangos debido a la falta de control, de manera complementaria se tiene que las tres zonas se hallan del lado norte del edificio, por lo cual no reciben gran cantidad de radiación en los meses de septiembre a marzo; es importante resaltar que el software ubica automáticamente la simulación en el año 2002, para evitar realizar el cálculo en un año bisiesto, puesto que el motor de cálculo Energy Plus no lo admite y genera inmediatamente un error de simulación⁵²

⁵² ORDOÑEZ, Arturo. Módulos de trabajo dentro de un modelador 3D, manual en español.2014.2 p. [En Línea]. [Consultado el 25 de julio de 2019]. Disponible en: http://files.designbuilder.cl/200000040-92fe693f9f/ManualDB-Espa%C3%B1ol_2014-12-03.pdf

5.3 EXIGENCIAS DE CLIMATIZACIÓN

Ciertas funciones “médicas, tratamientos o procesos curativos demandan temperatura ambiental controlada y/o condiciones de humedad relativa que se apartan de los requisitos para confort personal”⁵³. En adelante se presenta un análisis comparativo indicando la correspondencia con los valores obtenidos de la simulación, utilizando la normativa correspondiente al caso de aplicación, excluyendo todas aquellas zonas que no son de uso sanitario, puesto que no se encuentran estipuladas dentro de los alcances de las bibliografías empleadas.

Debido a que en Colombia no existe una norma específica de exigencias de climatización en instituciones sanitarias, esta comparación se apoya en la norma UNE 100713:2005, junto con la ASHRAE 170:2013 cuando sea necesario.

5.3.1 Temperatura del aire: En la norma UNE 100713 de 2005 se presenta un rango de temperaturas aceptadas según la clasificación del local; este puede catalogarse, como clase uno (quirófanos, salas de urgencia y zonas limpias) o clase dos para zonas de menor exigencia. La ASHRAE 170 de 2013 propone rangos más bajos y una clasificación más detallada de los diferentes de cuartos. En la siguiente tabla se muestra la temperatura promedio de cada zona, y los rangos aceptados por las diferentes normativas.

⁵³ ASHRAE SPAIN CHAPTER. Manual de Diseño HVAC para Hospitales Y Clínicas en español. [En Línea]. [Consultado el 1 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://spain-ashrae.org/manual-de-diseno-hvac-para-hospitales-y-clinicas-en-espanol/>

Tabla 22. Temperaturas promedio y rangos de normativa

Zona	TEMPERATURA PROM.	UNE 100713	ASHRAE 170
Bodega De Medicamentos	23,47	24-26	21-24
Consultorio 1	23,56	24-26	21-24
Consultorio 2	23,79	24-26	21-24
Consultorio 3	23,71	24-26	21-24
Depósito De Materiales	23,57	24-26	21-24
Farmacia	23,68	24-26	21-24
Inyectología	23,59	24-26	21-24
Procedimientos	23,58	24-26	21-24
Rayos X	23,79	24-26	22-26
Consultorio 1	23,79	24-26	21-24
Consultorio 2	23,94	24-26	21-24
Consultorio 3	23,94	24-26	21-24
Consultorio 4	23,79	24-26	21-24
Consultorio 5	23,99	24-26	21-24
Consultorio 6	24,05	24-26	21-24
Enfermería 1	24,04	24-26	21-24
Enfermería 2	24,03	24-26	21-24
Fisioterapia	26,44	24-28	22-27
Gym Adulto mayor	25,18	24-28	22-27
Nutrición	24,04	24-26	21-24
Terapia Física	25,84	24-28	22-27
Terapia Respiratoria	25,90	24-26	22-27
Toma De Muestras	23,64	24-26	21-24
Trabajo Social	24,04	24-26	21-24

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

Los rangos de temperatura consignados dentro de la norma UNE están adaptados para una mejor eficiencia energética, ya que permiten valores más elevados de temperatura, mientras que el estándar ASHRAE 170 tiene políticas más conservadoras, acordes a estudios donde se indica que los hongos se reproducen

con menor rapidez en temperaturas alejadas de los 27.5°C⁵⁴. Se observa que las temperaturas de las diferentes zonas son inferiores al requerimiento de la norma española, y plantea la hipótesis de una optimización orientada a la modificación de las temperaturas de consigna es el sistema de refrigeración.

5.3.2 Humedad Relativa: Para mantener un adecuado ambiente en instituciones sanitarias se debe de tener en cuenta la humedad relativa del edificio, pues según múltiples autores, la alta humedad en el ambiente está relacionado con la proliferación de hongos y bacterias. Se basó en la norma española UNE 100713 de 2005 y Ashrae 170 de 2013 las cuales especifican para instalaciones hospitalarias el rango en que debe de mantenerse las diferentes zonas del edificio es de 45 a 55 % y de 20 a 60 % respectivamente.

Tabla 23. Resultados de porcentajes de Humedad Relativa primer piso

ZONA	HR %	UNE 100713 HR%	ASHRAE 170 HR%
Farmacia	61,6	45-55	20-60
Bodega medicamentos	62,2	45-55	20-60
Inyectología	61,3	45-55	20-60
Consultorios 1, 2 y 3	63,9	45-55	20-60
Rayos X	60,9	45-55	20-60
Procedimientos	63,4	45-55	20-60
Depósito de materiales	61,0	45-55	20-60

⁵⁴ RAMOS VELÁSQUEZ, Elena Y ZUÑIGA, Doris. EFECTO DE LA HUMEDAD, TEMPERATURA Y PH DEL SUELO EN LA ACTIVIDAD MICROBIANA A NIVEL DE LABORATORIO. *Ecología Aplicada*, 7(1,2), 2008. [En Línea]. [Consultado el 4 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>

Consultorio 1	63,4	45-55	20-60
Consultorio 2	63,0	45-55	20-60
Consultorios 3	63,0	45-55	20-60
Consultorios 4	63,2	45-55	20-60
Consultorios 5	63,0	45-55	20-60
Consultorios 6	63,1	45-55	20-60
Gimnasio adulto mayor	58,6	45-55	20-60
Enfermerías 1	64,5	45-55	20-60
Enfermerías 2	64,4	45-55	20-60
Cubículos Fisioterapia	54,0	45-55	20-60
Nutrición	64,5	45-55	20-60
Terapia física	56,3	45-55	20-60
terapia respiratoria	55,7	45-55	20-60
Trabajo Social	62,8	45-55	20-60
Toma de muestras	63,9	45-55	20-60

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

La tabla 23 se presenta los porcentajes de humedad relativa resultado de la simulación para las zonas de uso clínico en el edificio, se observa que los porcentajes están en su mayoría por encima de los rangos propuestos por las normas anteriormente mencionadas, esto debido a que las unidades interiores instaladas no tiene la capacidad para extraer todo el calor latente necesario en relación con el calor sensible, pues estas poseen un fracción de calor sensible mínima muy elevada, cercana a 0,77, lo cual no permite deshumidificar el aire adecuadamente; esto constituye un riesgo puesto que como se expone en “el límite

menor para el crecimiento de hongos es del 65 %⁵⁵, por lo cual se debería asegurar una humedad relativa interior máxima de este valor, en pro de un ambiente más seguro para los ocupantes; como opción de solución frente a esta situación, es viable optar por modificar la temperatura de consigna del sistema de aire acondicionado, elevándola en un grado, como se presenta en los resultados, para aprovechar mejor la proporción de calor latente que puede extraerse o añadir un sistema de deshumidificación adicional, para que el ambiente alcance las especificaciones de la norma.

5.3.3 Ventilación: La ventilación tiene un papel muy importante para tener un ambiente libre de contaminantes, el ingreso de aire exterior asegura disminuir las proporciones de gases o agentes que afecten el bienestar de los ocupantes del local, la inyección de aire limpio se calcula en función del nivel de ocupación y actividad para la que se destine la zona; es habitual presentar el cálculo en cambios de aire por hora denominados “ach”, lo que indica cuantas veces se renueva el volumen de aire del local en una hora. Si se requiere hallar de manera manual los ach de una zona se puede utilizar la siguiente fórmula⁵⁶.

$$\text{ach} = 3600 Q / V \quad (2)$$

dónde,

ach = cambios de aire por hora

Q = flujo de aire fresco (aire de reposición) a través de la habitación (m³/s)

V = volumen de la habitación (m³)

⁵⁵ DE LA ROSA, M, MOSSO.A Y ULLÁN. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. Observatorio Medioambiental.2002.

⁵⁶ THE ENGINEERING TOOL BOX. Air Change Rate Calculate air change rates - equations in imperial and SI units. [En Línea]. [Consultado el 15 de marzo de 2020]. Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/air-change-rate-d_882.html

A continuación, en la tabla 24, se muestran los resultados de la simulación para cada una de las zonas térmicas que tienen ventilación exterior y se rigen con la norma española UNE 100713 de 2005 o Ashrae 170 de 2013.

Tabla 24. Ventilación de zonas térmica

ZONA	Ventilación exterior (ach)	Caudal mínimo de aire exterior UNE 10071 (ach)	Caudal mínimo de aire exterior Ashrae 170 (ach)
Farmacia	1,8	3,3	2
Bodega medicamentos	4,4	3,3	2
Inyectología	3,7	3,3	2
Consultorios 1, 2 y 3	0,8	3,3	2
Recepción de inyectología	2,9	3,3	2
Rayos X	2,4	3,3	2
Procedimientos	2,3	3,3	2
Depósito de materiales	1,3	3,3	2
Consultorio 1	3,5	3,3	2
Consultorio 2	2,8	3,3	2
Consultorio 3	2,8	3,3	2
Consultorio 4	3,8	3,3	2
Consultorio 5	4,1	3,3	2
Consultorio 6	2,7	3,3	2
Enfermería 1	2,7	3,3	2

Enfermería 2	2,7	3,3	2
Nutrición	2,7	3,3	2
Trabajo Social	2,6	3,3	2
Toma de muestras	2	3,3	2
Cubículos de fisioterapia	12,2	3,3	2
Gimnasio adulto mayor	8	3,3	2
Terapia física	2,8	3,3	2
Terapia respiratoria	8,1	3,3	2

Fuente: Elaboración propia a partir de DesignBuilder.

Al comparar los resultados de simulación con los parámetros establecidos en la norma UNE 100713 y se observa que los niveles de ventilación existentes en un gran número de zonas se encuentran por debajo del valor mínimo estipulado, sin embargo, para el estándar ASHRAE 170 es acorde a los valores sugeridos en la mayor parte de los locales climatizados, indicando que estos lineamientos fueron los utilizados en el diseño de la ventilación del edificio.

5.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA

La sociedad actual necesita, para mantener su nivel de vida y confort un alto consumo energético. Por tanto, el reto consiste en buscar el desarrollo sostenible, manteniendo el nivel de actividad, de transformación y de progreso, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético⁵⁷.

⁵⁷ REY MARTÍNEZ, Francisco Javier; VELASCO GÓMEZ, Eloy. Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas: certificación y auditorías energéticas. Editorial Paraninfo, 2006.

En Colombia, el ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio mediante la resolución 0549 de 2015, reglamentó los parámetros y lineamientos de construcción sostenible, adoptando la guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones, donde se establece el límite del consumo de electricidad en edificios levantados en el 2016 o 2017 en adelante, definiendo los porcentajes de ahorro para cada vigencia según la finalidad y ubicación geográfica del edificio.

Debido a que las instalaciones de UISALUD fueron renovadas en el periodo 2017 a 2018, clasifica dentro de la vigencia de la segunda de la resolución 0549 de 2015, mostrada a continuación.

Tabla 25. Porcentajes de ahorro que deberán cumplirse durante el segundo periodo de la vigencia de la presente resolución y en adelante

Año 2				
	frío	templado	cálido seco	cálido húmedo
hoteles	20	35	25	45
hospitales	35	25	35	30
oficinas	30	30	40	30
centros comerciales	25	40	35	30
educativos	45	40	40	35
vivienda no VIS	25	25	25	45
vivienda VIS	20	15	20	20
vivienda VIP	15	15	20	15

Tomada de la resolución 0549 de 2015⁵⁸

De la tabla 25 se recoge que el ahorro de energía debe ser del 30% para instituciones sanitarias en climas cálidos húmedos, esto sobre el consumo base fijado de 344 kWh por año, extraído de la tabla 15 de la sección 5.1, en seguida se presenta la comparación para el valor obtenido de la edificación comparado a los valores fijados para climas cálido húmedo y templado.

⁵⁸ MINISTRO DE VIVIENDA CIUDAD Y TERRITORIO, Resolución 0549 de 2015. Bogotá, 10 p. [En Línea]. [Consultado el 14 de febrero del 2018]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>

Tabla 26. Comparación del consumo con los estándares propuestos

consumo estimado del edificio [kWh/m ² -año]	línea base para clima cálido húmedo menos el 30% de ahorro	línea base para clima templado menos el 25% de ahorro
45.5	240.9	81.2

Fuente: Elaboración propia a partir del Anexo 1 de la resolución 0549

El edificio cumple a cabalidad con las exigencias de eficiencia energética estipuladas por el gobierno nacional para edificios nuevos, sin necesidad de tomar medidas adicionales, ya sea para la categoría de clima húmedo, designada por el IDEAM o para el clima templado, que como se mencionó anteriormente, sería la clasificación adecuada para la ciudad de Bucaramanga.

La alta eficiencia energética que se tiene en las instalaciones puede justificarse al revisar las diferentes bibliografías acerca de urbanística y construcciones eficientes energéticamente⁵⁹; por otro lado, se observa condiciones de diseño, tales como, un mínimo acristalamiento en las caras este y oeste, una mayor área de fachada en las caras norte y sur, arborización y césped a los alrededores, y se emplea un sistema HVAC de buena eficiencia. Todo esto contribuye a obtener muy buenos resultados de una edificación diseñada hace más de 55 años (referencia a plano de construcción), con primera remodelación en 1988 y una segunda remodelación en el año de 2017.

En pro de una mejora de las condiciones del edificio y ahorro energético, se da lugar a un estudio paramétrico, sobre la modificación de algunos aspectos como lo

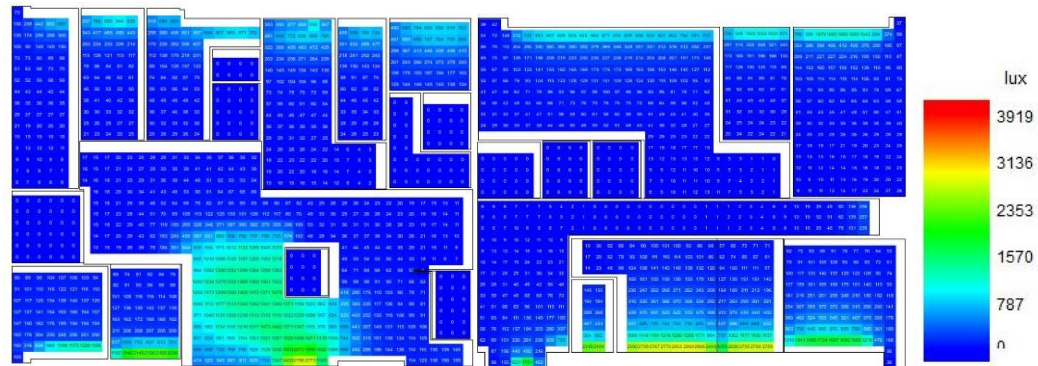
⁵⁹ PASCUAL ROMÁN. Natalia. La eficiencia energética en el uso de la vivienda. factores incidentes.2014. [En Línea]. [Consultado el 15 de marzo de 2020]. Disponible en:

https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/49409/TFM_%20La%20Eficiencia%20Energ%C3%A9tica%20en%20el%20Uso%20de%20la%20Vivienda.%20Factores%20Incidentes_Natalia%20Pascual%20Rom%C3%A1n.pdf?sequence=1

son, agregar un sistema de control automático de iluminación y un cambio en la temperatura de consigna del sistema de HVAC.

5.4.1. Control de Iluminación: Aprovechando la iluminación natural, se puede adaptar un sistema de sensores que regulen la potencia de las luces de manera lineal para alcanzar los niveles requeridos sin llegar a desperdiciar energía, en seguida se presenta un mapa del promedio de iluminación natural, registrada en el edificio a lo largo del año.

Ilustración 30. Mapa de iluminación natural



Fuente: Elaboración propia

Se plantea realizar una adaptación tecnológica utilizando un sistema de regulación constante 1-10V – RE DMS DA1⁶⁰, el cual es un sistema autónomo de ahorro de energía para equipos regulables siendo compatible con los tipos de lámparas Led que se tiene en el edificio, esté acciona automáticamente sobre el nivel mínimo de luminosidad establecido previamente para cada una de las zonas (por ejemplo, 500Lux), compensando así la carencia de luz natural en cualquier momento⁶¹.

⁶⁰ DINUY. Sistema de Regulación Constante 1-10V – RE DMS 001. [En Línea]. [Consultado el 9 de mayo del 2020].

Disponible en: <https://dinuy.com/es/productos/reguladores-de-luz/sistemas-de-regulacion-constante/modelos-empotrables-en-techo/sistema-de-regulacion-constante-re-dms-001-dinuy>

⁶¹ GRLUM. Luminarias: Sistemas de control. [En Línea]. [Consultado el 11 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-sistemasDeControl.php>

Para el edificio se requiere una inversión de 34 sistemas de regulación RE DMS DA1 los cuales tienen un costo por unidad aproximado de \$529.000 pesos colombianos según diversos proveedores, también se estima un costo de instalación del 12 % del valor de la unidad, teniendo un costo total de \$20.141.426 pesos colombianos para todo el edificio, en la tabla 27 se presenta la distribución del primer piso.

Tabla 27. Distribución de sensores de regulación del primer piso

	ZONA	No. sensores
Piso 1	Farmacia	1
	Auxiliar transcripciones	1
	Consultorios 1, 2 y 3	3
	Recepción de inyectología	1
	Auditoría médica	1
	Coordinación médica	1
	Procedimientos	1
	Hall-acceso-espera	1

Fuente: Elaboración propia

Las demás zonas se encuentran en la tabla C.5. del anexo C.

Se realizó la simulación con la nueva configuración y se obtuvo una reducción en el consumo de energía de iluminación del 42% con respecto a los resultados anteriores, esto implica un valor importante sobre el total del edificio. En la tabla 28 se muestra el ahorro anual tanto en kWh como en pesos colombianos y también el retorno de la inversión en tiempo presente.

Tabla 28. Ahorro anual de iluminación

Consumo iluminación (kWh)	consumo de iluminación con sensores (kWh)	Ahorro (kW)	Tarifa \$/kW Bucaramanga	Ahorro anual en pesos colombianos	Retorno de inversión (años)
9444,1	5474	3970,1	584	\$ 2.318.538,40	8,6

Fuente: Elaboración propia datos obtenidos de DesignBuilder.

Al realizar un análisis de los resultados obtenidos en la tabla anterior y se denota que el tiempo de retorno de inversión inicial es muy alto, al ser tan extenso se deben de incluir costos de mantenimiento por fallas en los equipos; se concluye entonces que para la edificación de UISALUD no es rentable instalar un sistema de regulación constante, pues estos elementos son de mayor utilidad en instalaciones donde se requieren pocos sensores para amplias zonas de trabajo.

5.4.2. Aumento de temperatura de trabajo: Una de las opciones más viables en pro de un ahorro energético, es la reconfiguración del setpoint del sistema de aire acondicionado, ya que esta adaptación tiene un bajo costo técnico, pero un gran impacto operativo, además esta modificación genera un mejoramiento en las condiciones de confort según el estándar 55 de la Ashrae y las exigencias de la norma UNE 100713, pues dentro de los resultados expuestos anteriormente se tenían temperaturas muy bajas dentro del edificio.

A continuación, se presenta una tabla en la que se reflejan los consumos del sistema en funcionamiento actual y en funcionamiento modificado.

Tabla 29. Consumos del sistema en funcionamiento actual y en funcionamiento modificado.

	temperatura de setpoint [°C]	consumo anual del edificio [kWh]	consumo por unidad de área [kWh/m ²]	consumo sistema HVAC [kWh]	Ahorro en el Consumo [kWh]
Consumo base	24	49335	45.6	21169	--
Consumo Modificado	25	47133	40.9	18967	2201

Fuente: Elaboración propia

El hecho de configurar una temperatura de consigna un grado más elevada, se refleja en un ahorro del 9.4% del consumo de electricidad del sistema de refrigeración y un 4.4% del total del edificio, siendo esta una cifra muy importante de ahorro potencial, cuyo costo de implementación es muy bajo, por tanto, es una alternativa muy viable. Adicionalmente al aumentar la temperatura objetivo, el sistema puede extraer una mayor cantidad de calor latente con relación al calor sensible, dando solución al problema de la alta humedad relativa dentro de las instalaciones como se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Humedades relativas con temperatura modificada

ZONA	HR %	UNE 100713 HR%	ASHRAE 170 HR%
Farmacia	58,1	45-55	20-60
Bodega medicamentos	59,2	45-55	20-60
Inyectología	59,4	45-55	20-60
Consultorios 1, 2 y 3	59,2	45-55	20-60
Rayos X	58,9	45-55	20-60

Procedimientos	59,1	45-55	20-60
Depósito de materiales	59,2	45-55	20-60
Consultorio 1	57,6	45-55	20-60
Consultorio 2	60,3	45-55	20-60
Consultorios 3	58,4	45-55	20-60
Consultorios 4	59,8	45-55	20-60
Consultorios 5	59,9	45-55	20-60
Consultorios 6	60,1	45-55	20-60
Gimnasio adulto mayor	55,0	45-55	20-60
Enfermerías 1	59,0	45-55	20-60
Enfermerías 2	59,6	45-55	20-60
Cubículos Fisioterapia	59,6	45-55	20-60
Nutrición	53,0	45-55	20-60
Terapia física	58,2	45-55	20-60
terapia respiratoria	59,5	45-55	20-60
Trabajo Social	55,0	45-55	20-60
Toma de muestras	54,9	45-55	20-60

Fuente: Elaboración propia

Al modificar la temperatura objetivo, la humedad relativa entra en el rango del estándar ASRAE 170, en casi la totalidad de los recintos, sin embargo para alcanzar la deshumidificación requerida en la norma UNE 100713 se requiere tomar otras medidas especiales como lo es un deshumidificador por absorción, que complemente las unidades manejadoras instaladas o un sistema de aumento de la capacidad de deshumidificación por calefacción y ventilación, este último con el problema del aumento de consumo energético.

5.4.4 Calentamiento Global: A manera de análisis netamente académico, se realiza un estudio del aumento del consumo eléctrico del sistema de HVAC, dentro de 20 años debido al calentamiento global, el Ideam plantea que “La temperatura media en el territorio nacional continuará incrementándose durante el transcurrir del siglo XXI de tal manera que para el período 2011-2040 habría aumentado en $1.4 \pm 0.4^{\circ}\text{C}$ ”⁶², en este sentido, se modifica el archivo climático utilizado en las simulaciones anteriores, aumentando un grado centígrado en las temperaturas, mediante la herramienta de edición de datos climáticos que posee el propio DesignBuilder.

Este análisis se plantea en medio de un panorama de incertidumbre frente a los alarmantes síntomas de inestabilidad climática en el mundo, donde se presentan incendios debidos a los altos registros de temperaturas y sequedad en el aire, se pierden millones de hectáreas de bosque al año⁶³, el deshielo registrado en el ártico no tiene precedentes en los últimos 350 años y los picos de temperatura se hacen cada vez más fuertes. Es así como se convierte en responsabilidad de todos buscar la eficiencia energética en cada ámbito de la vida, desde la contaminación generada por los residuos sólidos hasta los gastos excesivos de energía eléctrica en fábricas, oficinas y hospitales⁶⁴.

Dada esta situación es importante estimar los aumentos de la temperatura, ya que conllevan elevaciones en los consumos de los sistemas de HVAC, creando un círculo vicioso, que debe ser mitigado con optimizaciones en las instalaciones. Siguiendo los datos del Ideam, se puede estimar un aumento de un grado

⁶² RUIZ MURCIA. José. Informe sobre el Cambio Climático en Colombia. IDEAM. [En Línea]. [Consultado el 20 de diciembre de 2019]. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Resumen+Ejecutivo+Escenarios+de+Cambio+Clim%C3%A1tico.pdf/0e37511b-9ed9-40c7-b1d0-b0a47eb7d36e>

⁶³ GREENPEACE. El planeta en llamas. [En Línea]. [Consultado el 20 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://revista.greenpeace.es/gpm-31/planeta-en-llamas/>

⁶⁴ RODRÍGUEZ. Héctor National Geographic. El deshielo del Ártico se acelera sin precedentes.2018. [En Línea]. [Consultado el 15 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/deshielo-artico-se-acelera-sin-precedentes_13620/2

centígrado en el periodo 2020 a 2040, resultado de lo cual se obtienen los datos de la siguiente tabla comparativa.

Tabla 31. Comparación de funcionamiento actual y funcionamiento futuro previsto

	Temperatura media anual [°C]	Consumo anual del edificio [kWh]	Consumo por unidad de área [kWh/m ²]	Consumo del sistema HVAC [kWh]	Incremento del consumo [kWh]
datos a 2020	23.4	49335	45.6	21169	--
datos a 2040	24.4	55877	51.7	27710	6541

Fuente: Elaboración propia

Al estimar el incremento del consumo del sistema, se obtiene una cifra alarmante de 30.9% del consumo actual, acorde a rangos de modelos anteriormente propuestos, esta cifra puesta en contexto tiene un impacto muy fuerte pues hoy en día el uso de sistemas de aire acondicionado se encuentra muy extendido⁶⁵.

Según diversos estudios la demanda seguirá aumentando a un ritmo vertiginoso, a medida que se reportan temperaturas más elevadas y veranos más extensos, por lo tanto, a la vez que los fabricantes buscan mejorar sus tecnologías en busca de mejores eficiencias, la población también debe tomar conciencia y optar por tomar medidas, que sin afectar el desarrollo de sus labores puede ayudar en la búsqueda de una sostenibilidad energética, como lo son la adecuación de medidas pasivas en los locales, como lo son las ventanas de cristales polarizados, alares o lamas en las fachadas, sistemas de generación de energía fotovoltaica, o sencillamente

⁶⁵ KAMENI, HARISON, KALAMEU, CHOUDHARY y REITER. Impact of climate change on demands for heating and cooling energy in hospitals: An in-depth case study of six islands located in the Indian Ocean region. Sustainable Cities and Society, Volume 44, January 2019, Pages 629-645. [En Línea]. [Consultado el 23 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718318389?via%3Dihub>

apuntar a una temperatura interior más elevada; estas medidas pueden llegar a mitigar el elevado consumo de electricidad de una edificación⁶⁶.

⁶⁶ SANTAMOURIS, M. Cooling the buildings – past, present and future. *Energy and Buildings* Volume 128, 15 September 2016, Pages 617-638. [En Línea]. [Consultado el 23 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816306314?via%3Dihub>

CONCLUSIONES

Mediante el presente trabajo investigativo los autores reconocen la importancia de la intervención investigativa para solventar y contribuir a las problemáticas cotidianas como la expuesta en el estudio sobre el consumo energético, las complicaciones de salud por los sistemas de ventilación interna y los parámetros de climatización del edificio usando una estrategia tecnológica como lo fue la herramienta de simulación DesignBuilder.

Una vez ejecutada la metodología propuesta e iniciando la trazabilidad de los objetivos, se logró determinar los elementos que componen la edificación, desde su geometría hasta la inserción de todas las cargas internas; por último, se realizaron múltiples simulaciones para determinar el comportamiento energético del edificio y sus condiciones ambientales interiores, siendo así de conocimiento holístico de la problemática como las posibilidades de mejoramiento.

Una vez la ejecución se concluye que el software es pertinente, actualizada y con todas las cualidades de última generación para lograr simulaciones inteligentes de análisis energético al alcance de la operación de profesionales del área o estudiantes en formación; dicha herramienta permite que los futuros profesionales sean propositivos en el ámbito laboral como también globalmente competitivos. El Software DesignBuilder es competente, pero los resultados pueden cambiar ya que las variaciones del edificio no son fijas por diferentes motivos como por ejemplo el flujo de los pacientes, la ocupación de las personas en cargos dentro del edificio, las condiciones meteorológicas y su frecuencia de uso.

Por lo expresado anteriormente, el software DesignBuilder demostró ser una herramienta ágil, de fácil ejecución e implementación como también eficiente a la hora de generar modelamientos energéticos, debido a características integrales de calidad, flexibilidad, desempeño y eficiencia para la realización de estudios

paramétricos en pro de diseñar o evaluar edificios con estándares internacionales de confort, eficiencia y normatividad vigente en el campo de estudio.

El edificio no solo cumple la normatividad internacional como nacional en los lineamientos de eficiencia energética del gobierno, pues se determinó que, según la simulación en el presente estudio, se obtuvo una buena eficiencia energética gracias a que sigue recomendaciones de arquitectura tal como es el caso del color de la fachada, la relación de ventana fachada, los ventanales solo en las caras norte y sur, la reducción de la fachada en dirección oeste y arborización alrededor, para reducir el consumo de sistema de climatización, por consiguiente si entra dentro de los lineamientos del gobierno nacional.

Otra conclusión que surgió del proceso investigativo fue que dentro del análisis de los resultados las condiciones meteorológicas aplicadas y el sistema de climatización utilizado obtuvo que hay sensación de confort térmico en gran parte del edificio, alcanzando los estándares internacionales propuestos dentro de la norma ASHRAE 55. Sin embargo, en la simulación de las instalaciones no está acordes a todos los lineamientos internacionales consultados de exigencias de climatización, pues tienen deficiencias de ventilación, temperaturas de operación bajas y humedades relativas fuera de los parámetros mínimos y todo esto puede resultar siendo zona de riesgo para los pacientes como para quienes mantienen la gestión operativa por las condiciones de incumplimiento actual.

En complemento con lo expuesto anteriormente, la humedad es relativa en cifras de medición superior a las expuestas en la normativa UNE 100713 en casi todas las zonas del edificio, indicando que el sistema de refrigeración no es suficiente para extraer la carga latente resultante de la ocupación y el aire exterior inyectado.

Finalmente, los presentes autores concluyen que, mediante una serie cambios que

repercuten en modificaciones en el edificio pueden aumentar la eficiencia energética y optimizar las condiciones ambientales, como lo son: la modificación de la temperatura objetivo del sistema de refrigeración, generando un ahorro considerable y llevando la humedad relativa a un valor dentro de los estándares, o aplicar un sistema de control de iluminación constante, ya que el sistema de iluminación interior, está diseñado para cubrir las necesidad de lúmenes sin apoyo de la iluminación natural, por tanto resulta sobredimensionado para los requerimiento durante el día.

FUTUROS TRABAJOS

En la actualidad se hace cada vez más común la implementación de sistemas para la autogeneración de energía en los edificios de alto consumo; siguiendo la tendencia mundial se hace necesario plantear estudios de proyectos de energías renovables, buscando un equilibrio entre la inversión, el beneficio ambiental y económico.

En el marco de la emergencia global generada a raíz del covid-19 se presenta la incertidumbre del riesgo potencial que pueden generar los sistemas de climatización interior, con recirculación de aire, ante esta problemática surgen cuestionamientos sobre la viabilidad económica y la eficacia de la adaptación de sistemas capaces de mitigar la formación de microorganismos en los evaporadores, como lo son las lámparas UV de alta potencia. Un estudio pertinente sería la factibilidad de la adopción de sistema de luz ultravioleta en las manejadoras de aire no solo de UISALUD sino de la universidad.

Dentro del plan de renovación de infraestructura de la universidad, puede llegar a ser de gran utilidad un prediseño del sistema de acondicionamiento de aire mediante el software DesignBuilder, en pro de adoptar medidas que aseguren un óptimo consumo de energía en los nuevos edificios que formaran parte del campus.

Observando la capacidad del software para simular optimizaciones tanto energéticas como de confort de sus ocupantes es razonable proponer un estudio de otras instalaciones dentro del campus, en busca de que la ciudadela universitaria sea un modelo por seguir de eficiencia energética en el área metropolitana de Bucaramanga.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACAIRE. Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones, RITE.2017. [En Línea]. [Consultado el 26 de julio de 2019]. Disponible en: http://www.cceecol.org/images/archivos/Biblioteca/RITE_2017_FINAL.pdf

AChEE-Manual de gestor en eficiencia energética: Sector hospitalario.2016. [En Línea]. [Consultado el 8 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://saludsindanio.org/sites/default/files/documents-files/2782/manual-hospitalario-chile.pdf>

AEM/CTN. Norma UNE 100713: Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales. Madrid. Aenor, 2005. 20 p.

Alcaldía de Bucaramanga. Datos generales. [En Línea]. [Consultado el 18 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://www.bucaramanga.gov.co/el-mapa/datos-generales/#:~:text=Posici%C3%B3n%20Geografica%3A,longitud%20al%20Oeste%20de%20Greenwich>

AEM/CTN. Norma UNE 100713: Instalaciones de acondicionamiento de aire en hospitales. Madrid. Aenor, 2005. 20 p.

ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2019 Standard 90.1 (I-P Edition), Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ANSI Approved; IES Co-sponsored).2019

ARBALLO.KUCHEN. NARANJO Y ALONSO. Evaluación de modelos de confort térmico para interiores.2016. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/309477141_EVALUACION_DE_MODELOS_DE_CONFORT_TERMICO_PARA_INTERIORES

ASHRAE, Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010. 44 p.

ASHRAE SPAIN CHAPTER. Estándar ANSI/ASHRAE 55-2017 – “Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy”. [En Línea]. [Consultado el 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://spain-ashrae.org/estandar-ansi-ashrae-55-2017/>

ASHRAE SPAIN CHAPTER. Nueva versión del estándar de ASHRAE 90.1-2016 sobre eficiencia energética.2016. [En Línea]. [Consultado el 17 de octubre de 2019]. Disponible en: <https://spain-ashrae.org/norma-90-1-2016-sobre-eficiencia-energetica/>

ASHRAE, Standard 55: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta: ASHRAE, 2010. 55 p.

ASHRAE SPAIN CHAPTER. Manual de Diseño HVAC para Hospitales Y Clínicas en español. [En Línea]. [Consultado el 1 de agosto de 2019]. Disponible en: <https://spain-ashrae.org/manual-de-diseno-hvac-para-hospitales-y-clinicas-en-espanol/>

DESIGNBUILDER-LAT. Consulta las diferentes secciones en las que te brindamos ayuda. [En Línea]. [Consultado el 23 de julio de 2019]. Disponible en: <https://www.designbuilder-lat.com/caracteristicas/>

DE LA ROSA, M, MOSSO.A Y ULLÁN. El aire: hábitat y medio de transmisión de microorganismos. Observatorio Medioambiental.2002.

DEAR, Richard y BRAGER, G. Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference Final Report on RP-884.1997. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/269097185_Developing_an_Adaptive_Model_of_Thermal_Comfort_and_Preference_-_Final_Report_on_RP-884

FANGER, P. O. Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering. New York: McGraw-Hill Book Company, 1972.

GUARDINO SOLA, Xavier. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo, Capítulo44: Calidad del aire interior. España, INSST, 2006, 2 p.

GRLUM. Luminarias: Sistemas de control. [En Línea]. [Consultado el 11 de mayo del 2020]. Disponible en: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-sistemasDeControl.php>

GREEN PEASE. El planeta en llamas. [En Línea]. [Consultado el 20 de diciembre de 2019]. Disponible en: <https://revista.greenpeace.es/gpm-31/planeta-en-llamas/>

GÓMEZ DE PEROZO, Nersa. Estrategias para el control micro climático del espacio entre edificaciones en clima cálido – húmedo. Universidad Politécnica de Madrid, 2012. [En Línea]. [Consultado el 25 de junio de 2019]. Disponible en: http://oa.upm.es/12266/1/NERSA_GOMEZ_DE_PEROZO.pdf

IDEAM. Características climatológicas. [En Línea]. [Consultado el 25 de noviembre de 2019]. Disponible en: <http://www.ideam.gov.co/>

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 501: Ambiente térmico: inconfort térmico local.1998. [En Línea]. [Consultado el 10 de febrero de 2020]. Disponible en:

https://www.insst.es/documents/94886/327064/ntp_501.pdf/24b8f22e-7ce7-43c7-b992-f79d969a9d77

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 323: Determinación del metabolismo energético. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en:

https://www.insst.es/documents/94886/326827/ntp_323.pdf/04f2e840-4569-421a-acf4-37a9bf0b8804

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. NTC 5183. Ventilación para una calidad aceptable del aire en espacios interiores. Bogotá. ICONTEC, 2003. [En Línea]. [Consultado el 03 de marzo del 2018]. Disponible en: <https://qdoc.tips/ntc-5183-calidad-de-aireventilacionpdf-pdf-free.html>

INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO. NTP 289: Síndrome del edificio enfermo: factores de riesgo. INSST. [En Línea]. [Consultado el 14 de marzo del 2018]. Disponible en: https://www.insst.es/documents/94886/327166/ntp_289.pdf/7299d03d-aba7-4b06-8adb-5d5732fb5eb9

KAMENI, HARISON, KALAMEU, CHOUDHARY y REITER. Impact of climate change on demands for heating and cooling energy in hospitals: An in-depth case study of six islands located in the Indian Ocean region. Sustainable Cities and Society, Volume 44, January 2019, Pages 629-645. [En Línea]. [Consultado el 23 de septiembre de 2019]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718318389?via%3Dihub>

LLUMOR. Equivalencia de Lumen a Vatios. [En Línea]. [Consultado el 26 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://llumor.es/info-led/equivalencia-de-lumen-a-vatios/>

LG. MULTI V IV. [En Línea]. [Consultado el 01 de noviembre de 2019]. Disponible en: <https://www.lg.com/in/business/multi-v-iv>

MINISTERIO DE VIVIENDA. Guía Código de construcción sostenible en Colombia. Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones.2015. [En Línea]. [Consultado el 25 de noviembre de 2019]. Disponible en:
<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. Resolución número 0549 de 2015.Bogotá. [En Línea]. [Consultado el 20 de enero de 2019]. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/ResolucionesVivienda/0549%20-%202015.pdf>

ORDOÑEZ, Arturo. Módulos de trabajo dentro de un modelador 3D, manual en español.2014.2 p. [En Línea]. [Consultado el 25 de julio de 2019]. Disponible en: http://files.designbuilder.cl/200000040-92fe693f9f/ManualDB-Espa%C3%B1ol_2014-12-03.pdf

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Una atención limpia es una atención más segura. [En Línea]. [Consultado el 30 de enero del 2018]. Disponible en: <https://www.who.int/gpsc/background/es/>

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. Calidad del aire y la salud.2018. [En Línea]. [Consultado el 28 de junio del 2018]. Disponible en:

[https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

PASCUAL ROMÁN. Natalia. La eficiencia energética en el uso de la vivienda. factores incidentes.2014.

RAMOS VELÁSQUEZ, Elena Y ZUÑIGA, Doris. Efecto de la humedad, temperatura y ph del suelo en la actividad microbiana a nivel de laboratorio. Ecología Aplicada, 7(1,2), 2008. [En Línea]. [Consultado el 4 de marzo de 2020]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v7n1-2/a15v7n1-2.pdf>

RAFFO, Dolores. La radiación solar y las plantas: un delicado equilibrio. EEA Alto Valle.2014. [En Línea]. [Consultado el 01 de noviembre de 2019]. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_fyd_74_la-radiacion-solar-y-las-plantas.pdf

REY MARTÍNEZ, Francisco Javier; VELASCO GÓMEZ, Eloy. Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas: certificación y auditorías energéticas. Editorial Paraninfo, 2006.

RITE. Reglamento de instalaciones térmicas en edificios. Marcombo, Barcelona.2010.426 p.

RODRÍGUEZ. Héctor National Geographic. El deshielo del Ártico se acelera sin precedentes.2018. [En Línea]. [Consultado el 15 de septiembre de 2019]. Disponible en: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/actualidad/deshielo-artico-se-acelera-sin-precedentes_13620/2

RUIZ MURCIA. José. Informe sobre el Cambio Climático en Colombia. IDEAM. [En Línea]. [Consultado el 20 de diciembre de 2019]. Disponible en:

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21138/Resumen+Ejecutivo+Escenarios+de+Cambio+Clim%C3%A1tico.pdf/0e37511b-9ed9-40c7-b1d0-b0a47eb7d36e>

SPAIN GREEN BUILDING COUNCI. Conceptualización. [En Línea]. [Consultado el 23 de diciembre de 2019]. Disponible en: <http://www.spaingbc.org/web/>

SANTAMOURIS, M. Cooling the buildings – past, present and future. Energy and Buildings

Volume 128, 15 September 2016, Pages 617-638. [En Línea]. [Consultado el 23 de septiembre de 2019]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778816306314?via%3Dihub>

THE ENGINEERING TOOL BOX. Air Change Rate Calculate air change rates - equations in imperial and SI units. [En Línea]. [Consultado el 15 de marzo de 2020].

Disponible en: https://www.engineeringtoolbox.com/air-change-rate-d_882.html

UNE EN 12464-1. Iluminación. 44 p. [En Línea]. [Consultado el 28 de noviembre de 2019]. Disponible en:

UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. [En Línea]. [Consultado el 14 de febrero de 2020]. Disponible en: <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0037517>

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Asociación de usuarios - Reseña histórica. [En Línea]. [Consultado el 30 de octubre de 2019]. Disponible en:

<https://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/uisalud/historiaAsociacion.html#:~:text=La%20Asociaci%C3%B3n%20de%20Usuarios%20de,velar%20por%20la%20calidad%20y>

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER. Informe trimestral de UISALUD. Bucaramanga. 2019. 15 p. [En Línea]. [Consultado el 13 de octubre de 2019]. Disponible en:

<https://www.uis.edu.co/webUIS/es/administracion/uisalud/documentos/informesTrimestrales/informeTrimestralRendicionCuentas2019.pdf>

VILLAREAL, Antonio. Mueren más personas en Europa por infecciones en el hospital que por sida o tuberculosis. El español, 2016. [En Línea]. [Consultado el 15 de febrero del 2018]. Disponible en: https://www.elespanol.com/ciencia/investigacion/20161018/163984040_0.html

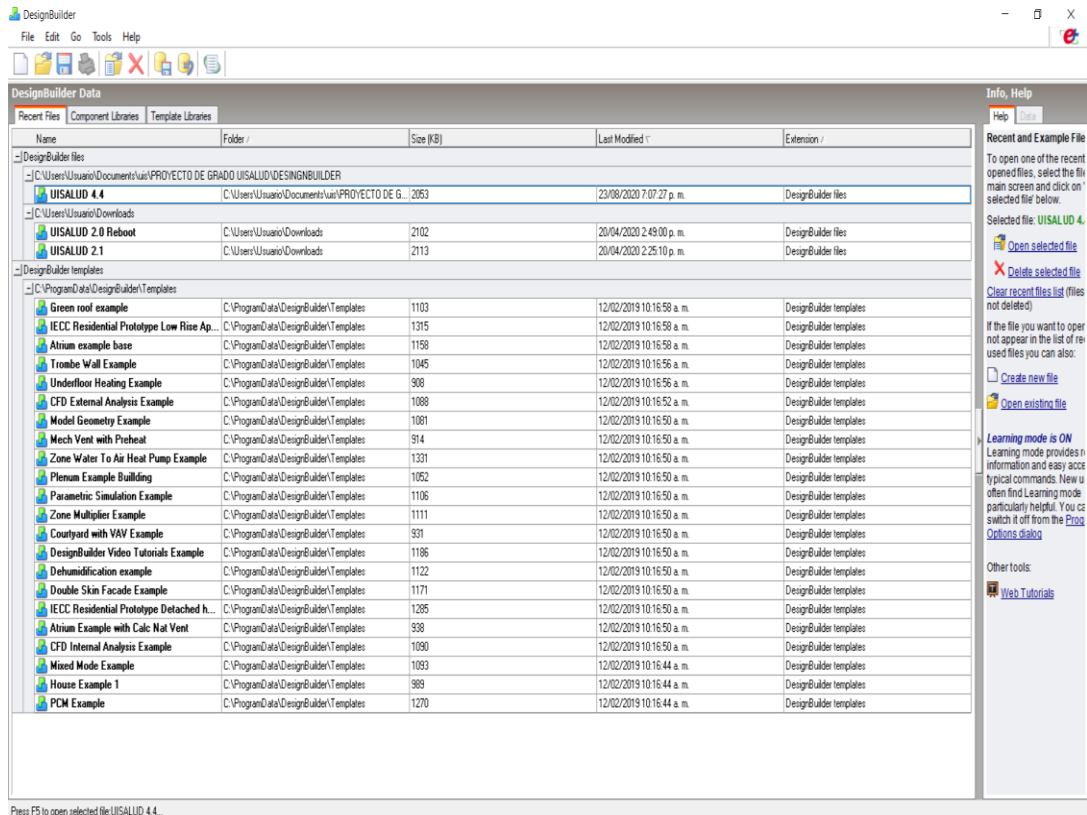
TABLA DE CONTENIDO DE LOS ANEXOS

	Pág.
ANEXO A. MANEJO BASICO DEL PROGRAMA.....	116
ANEXO B. DATOS DEL MODELO	145
ANEXO C. RESULTADOS DETALLADOS DE LA SIMULACIÓN	154

Anexo A.MANEJO BASICO DEL PROGRAMA

A.1. Interfaz inicial de DesignBuilder

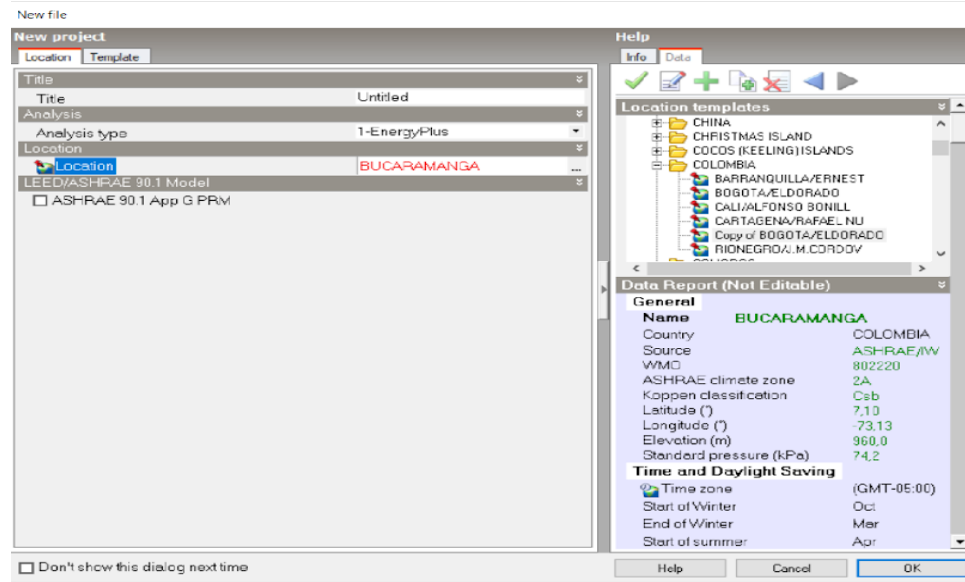
Ilustración 31. Interfaz inicial en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

A.2. Crear un nuevo proyecto

Ilustración 32. Creación de un nuevo proyecto

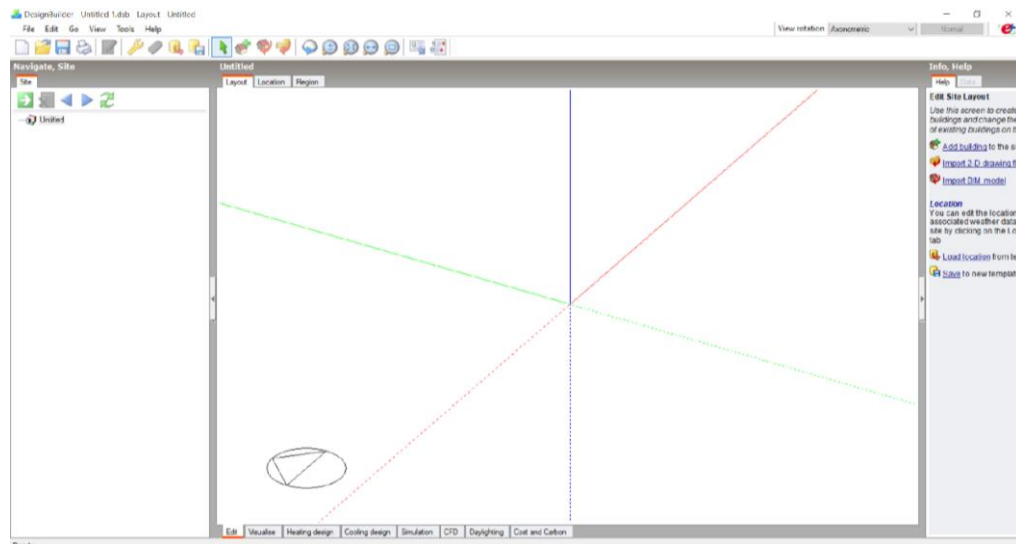


Fuente: Elaboración propia

Al aceptar, el software presenta el espacio de trabajo.

A.3. Espacio de trabajo

Ilustración 33. Espacio del trabajo

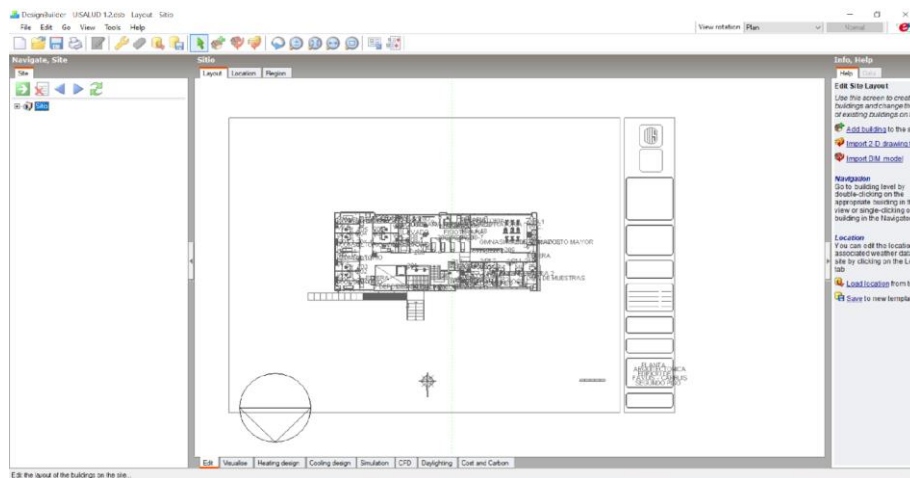


Fuente: Elaboración propia

Se procede a realizar el diseño del edificio, para facilitar esto se importa un plano arquitectónico en formato DXF.

A.4. Vista plano importado desde AutoCAD

Ilustración 34. Plano importado desde AutoCAD

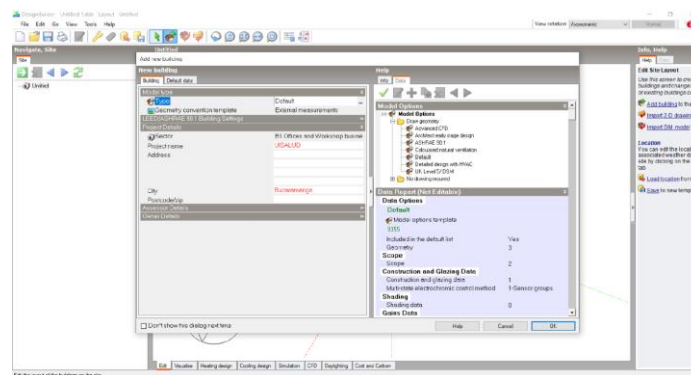


Fuente: Elaboración propia


Para la construcción del edificio se utiliza el icono , y se le asigna un nombre.

A.5. Creación del edificio

Ilustración 35. Creación del trabajo

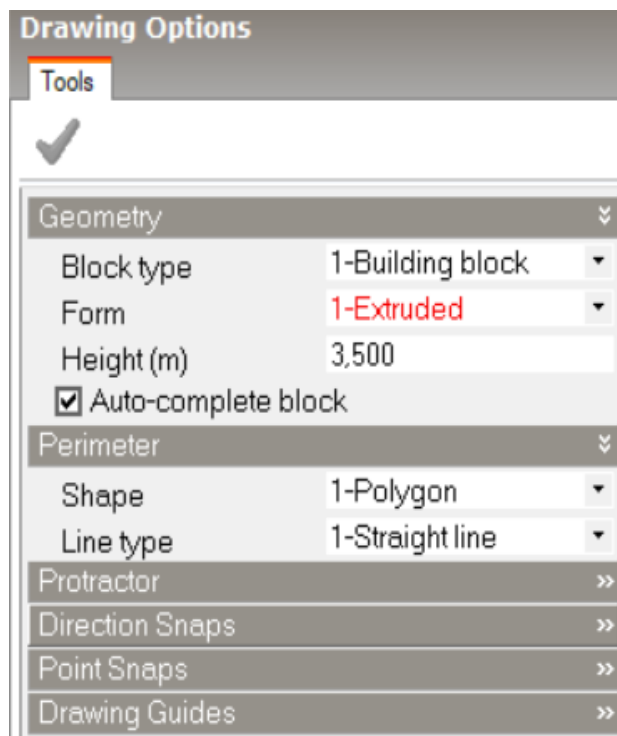


Fuente: Elaboración propia

Para crear el primer bloque se utiliza el icono , este nos despliega un menú en la parte izquierda inferior el cual nos da las diferentes opciones para escoger tipo de bloque, forma, altura, referencias de dirección entre otras.

A.6. Menú de dibujo

Ilustración 36. Menú del dibujo

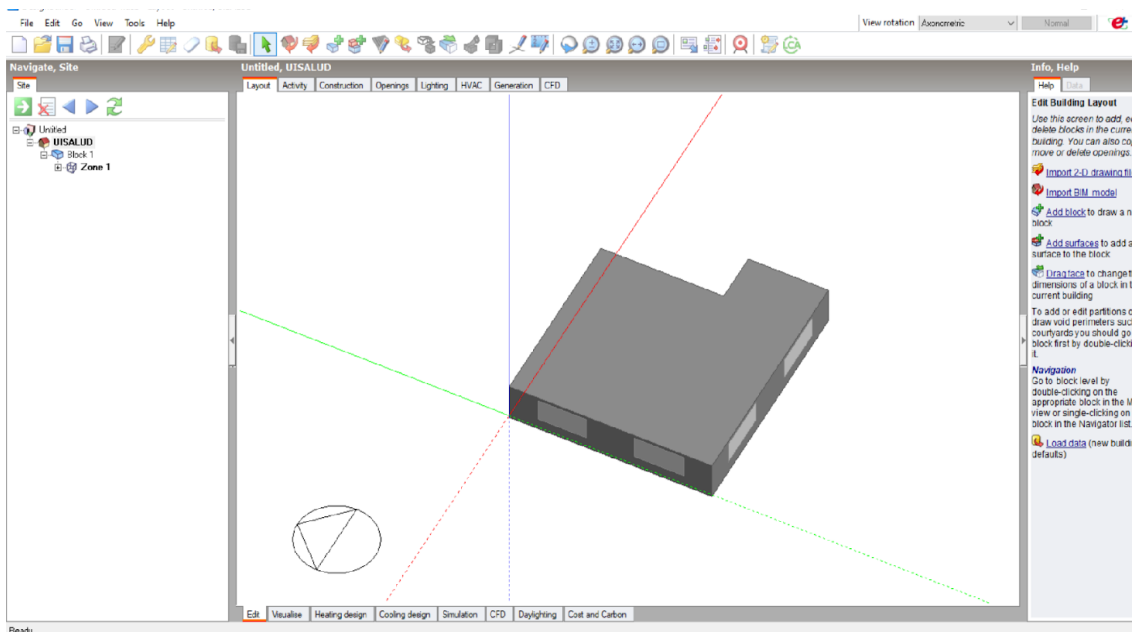


Fuente: Elaboración propia


Después se seleccionan las esquinas del plano y así se genera el contorno, al tener el cerramiento completo el software procede a la creación del bloque 3D, el cual tendrá la altura ya estimada. Con el scroll del ratón se puede visualizar el bloque creado.

A.7. Creación de bloques

Ilustración 37. Creación de bloques

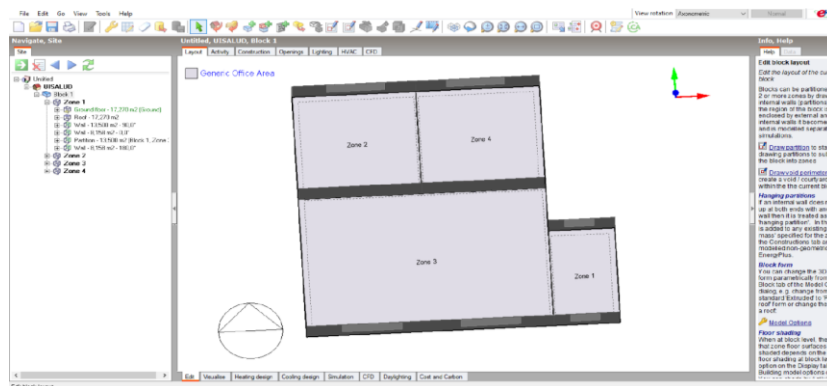


Fuente: Elaboración propia

Al tener el bloque terminado, se procede a crear los muros interiores y para esto se utiliza el icono ; al trazar nuevas particiones dentro del bloque se generan diferentes zonas, que se ven reflejadas en el menú de la parte izquierda superior. Al desplegar cada zona obtenemos cada una de las caras tales como suelo, paredes y cubierta.

A.8. Creación de muros interiores

Ilustración 38. Creación de muros interiores

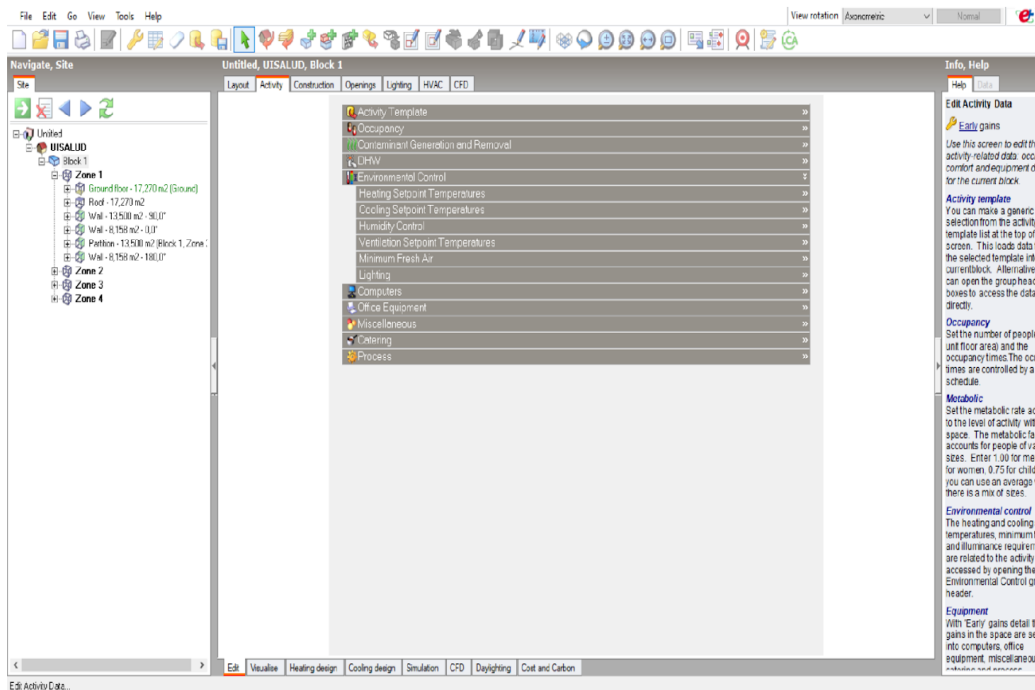


Fuente: Elaboración propia

Datos aplicados en forma detallada de la construcción del DesignBuilder

A continuación, se presentan todos los pasos para la inserción de datos en el software.

Ilustración 39. Descripción de la pestaña Actividad en DesignBuilder



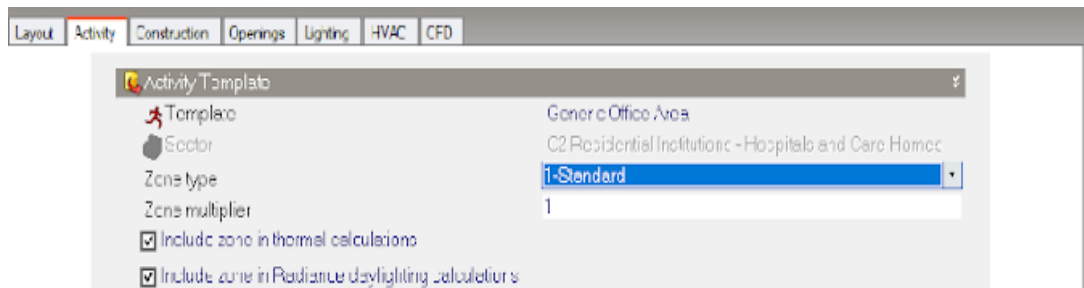
Fuente: Elaboración propia

● ACTIVIDAD

En esta pestaña, se ingresan todos los datos correspondientes al uso de las zonas. A continuación, se presentan las ilustraciones de la información que se suministró en el programa.

Primero se debe seleccionar el tipo de zona, después seleccionar si se requiere que esta zona haga parte de los cálculos térmicos y de luz diurna. (Ver ilustración 10)

Ilustración 40. Plantilla de Actividad seleccionada en DesignBuilder

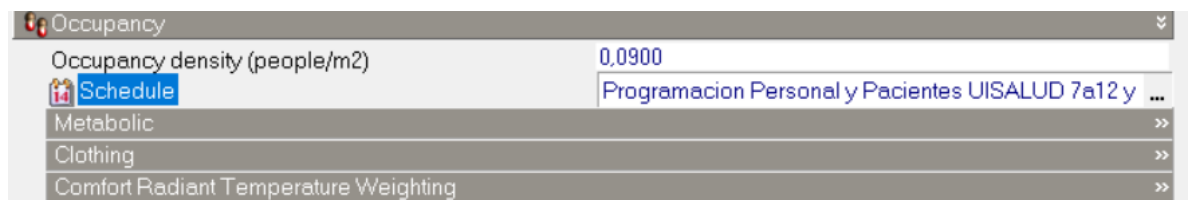


Fuente: Elaboración propia

- **Ocupación**

En este ítem podemos ingresar la cantidad o densidad de personas por área y sus respectivos horarios para cada zona. (Ver ilustración 11)

Ilustración 41. Ítem de ocupación en DesignBuilder.

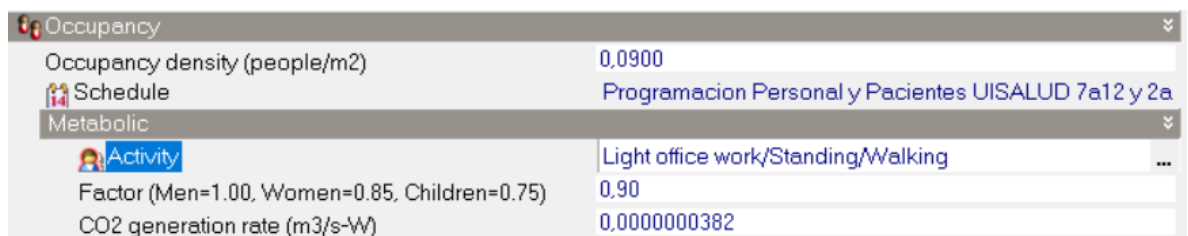


Fuente: Elaboración propia

- **Metabolismo**

El ítem Metabolismo permite precisar la cantidad de calor generado por una persona al interior de cada espacio según la actividad que esté realizando. El software cuenta con diferentes plantillas para las múltiples ocupaciones (Trabajo ligero de oficina, caminatas de baja velocidad, ejercicio intenso, etc.). Esta base de datos es extraída de la ASHRAE.

Ilustración 42. Ítem de metabolismo en DesignBuilder.



Fuente: Elaboración propia

- **Control ambiental**

En este ítem se ingresan los datos relacionados con temperaturas de aires acondicionado, calefacción, controles de humedad, valor de la temperatura de ventilación natural y cantidad de aire externo mínimo, estos datos los tiene en cuenta el software para el análisis de la edificación.

También nos da la posibilidad de configurar sensores de luminosidad con el requerimiento mínimo de iluminación para un correcto desempeño de los trabajadores. (Ver ilustración 13)

Ilustración 43. Ítem de control ambiental en DesignBuilder.

Environmental Control	
Heating Setpoint Temperatures	
Heating (°C)	22.0
Heating set back (°C)	12.0
Cooling Setpoint Temperatures	
Cooling (°C)	22.0
Cooling set back (°C)	28.0
Humidity Control	
RH Humidification setpoint (%)	10.0
RH Dehumidification setpoint (%)	90.0
Ventilation Setpoint Temperatures	
Natural Ventilation	
<input checked="" type="checkbox"/> Indoor min temperature control	
Min temperature definition	1-By value
Min temperature (°C)	24.0
<input type="checkbox"/> Indoor max temperature control	
Minimum Fresh Air	
Fresh air (l/s-person)	10.000
Mech vent per area (l/s-m ²)	0.000
Lighting	
Target Illuminance (lux)	400
Default display lighting density (W/m ²)	0

Fuente: Elaboración propia

- **Equipos de cómputo**

En este ítem se inserta la cantidad de potencia consumida por todos los equipos de cómputo de cada zona.

Ilustración 44. Ítem de equipos de cómputo en DesignBuilder.



Fuente: Elaboración propia

- **Cerramientos**

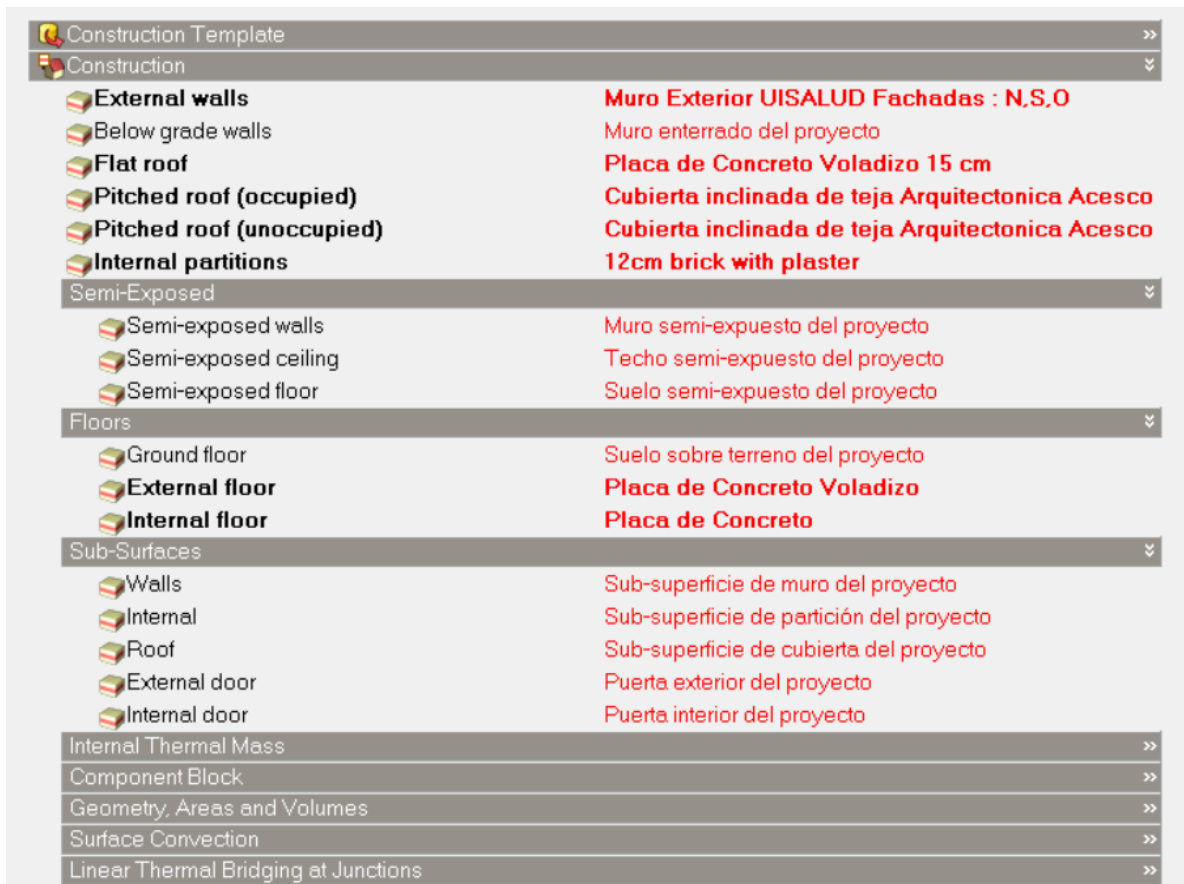
En esta fase se ingresan los materiales constructivos de la edificación como el de las paredes, suelo, entre pisos y cubiertas. También se puede especificar las propiedades de los materiales, espesores y cantidad de capas.

Ilustración 45. Ítem de cerramientos en DesignBuilder.



Fuente: Elaboración propia

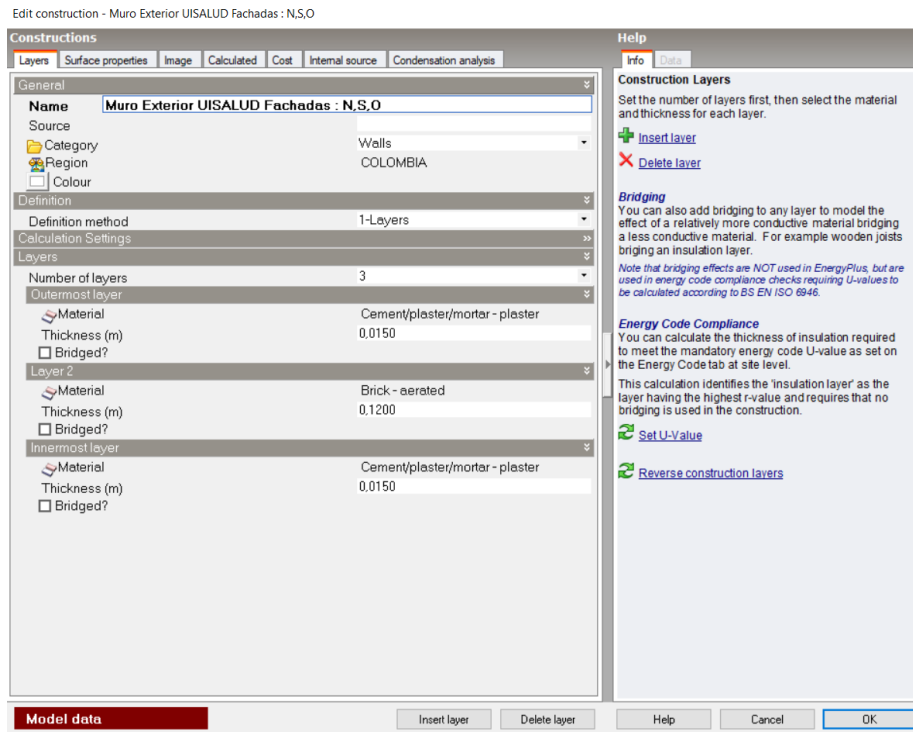
Ilustración 46. Ítem de cerramientos en DesignBuilder.



Fuente: Elaboración propia

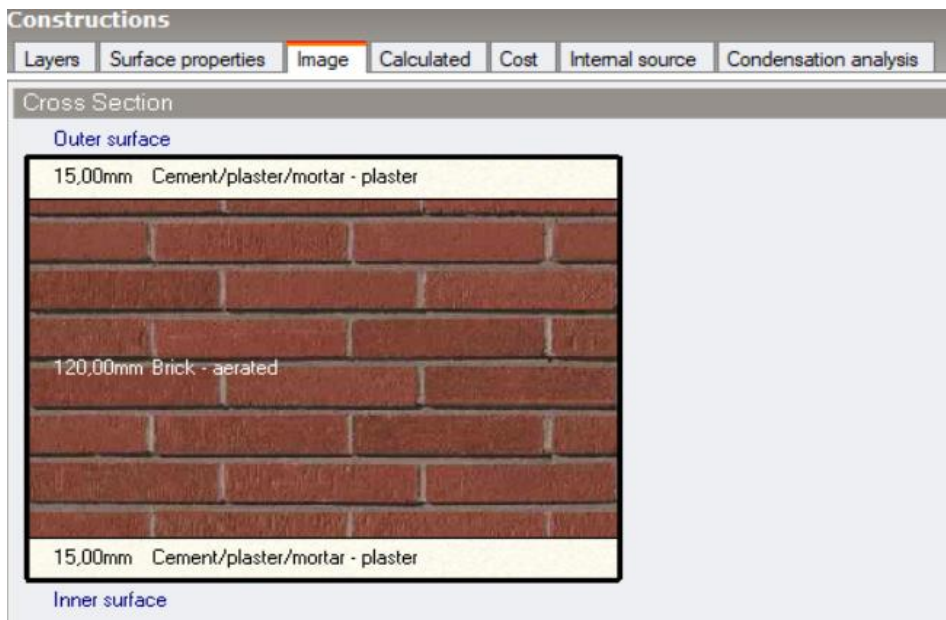
En la siguiente ilustración se muestra la plantilla de edición de muros exteriores, en donde también presenta una imagen de la conformación de las capas.

Ilustración 47. Plantilla de edición muros exteriores en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Ilustración 48. Conformación de capas DesignBuilder.



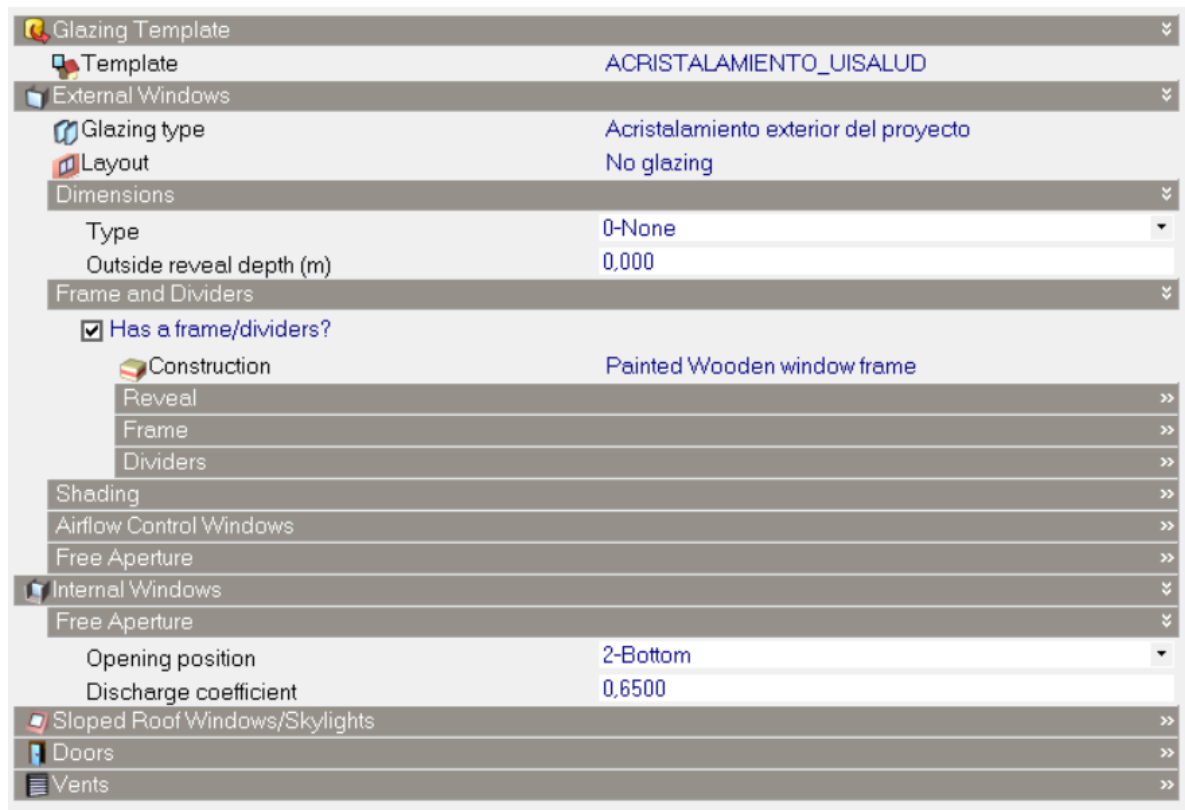
Fuente: Elaboración propia

De esta manera mostrada se establecen todos los tipos de cerramientos.

- **Aberturas de ventanas**

Se ingresa la información específica por cada zona de la edificación como los tipos de marco, divisores, dimensionamientos, entre otros.

Ilustración 49. Plantilla de acristalamiento, DesignBuilder

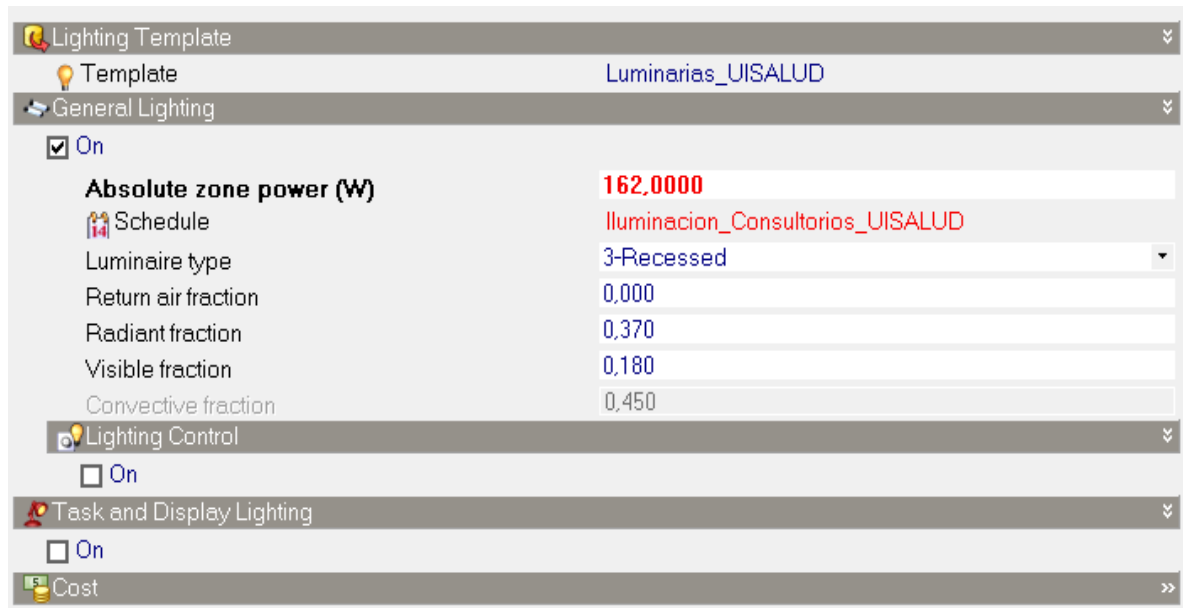


Fuente: Elaboración propia

- **Iluminación**

En este ítem se suministra la información de las luminarias por cada zona, consumos, tipo (empotrada, semi empotrada, suspendida, etc.), fracción radiante, entre otras.

Ilustración 50. Ítem de iluminación en DesignBuilder.

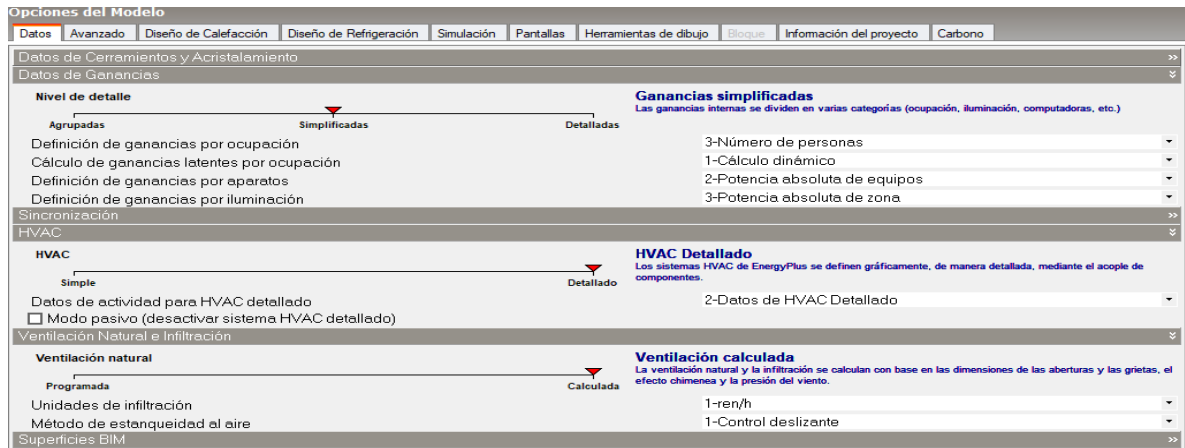


Fuente: Elaboración propia

- **HVAC**

Para la simulación del HVAC en DesignBuilder existen dos opciones, modo simplificado y modo detallado. El primero tan solo simula un sistema genérico de enfriamiento/calefacción sin posibilidad de editar la mayoría de los datos de entrada, la segunda opción, permite crear un sistema completamente personalizado y editar cada uno de sus componentes, por lo cual es más adecuado para realizar estudios de mayor precisión; en adelante se muestran las consideraciones y modo de trabajo del HVAC detallado, comenzando por la configuración del software dentro de las opciones del modelo. Para trabajar el sistema detallado la ventilación natural debe configurarse como “calculada” pues, el software la adecua para cumplir con las exigencias del aire acondicionado.

Ilustración 51. Opciones de modelo en DesignBuilder.



Fuente: Elaboración propia

Para ingresar dentro del área de trabajo donde se construye el sistema de HVAC, se debe dar clic en <Sistema HVAC> en el menú de navegación ubicado a la izquierda en el programa

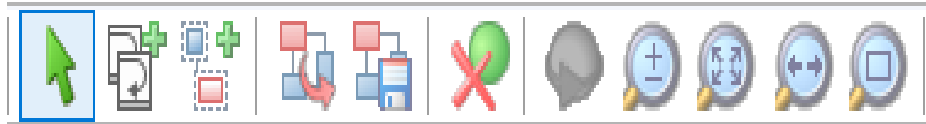
Ilustración 52. Menú de navegación en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Se presenta entonces el área de trabajo donde hallaremos un menú en la parte superior con las opciones necesarias para elaborar nuestro sistema.

Ilustración 53. Menú de opciones HVAC en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia


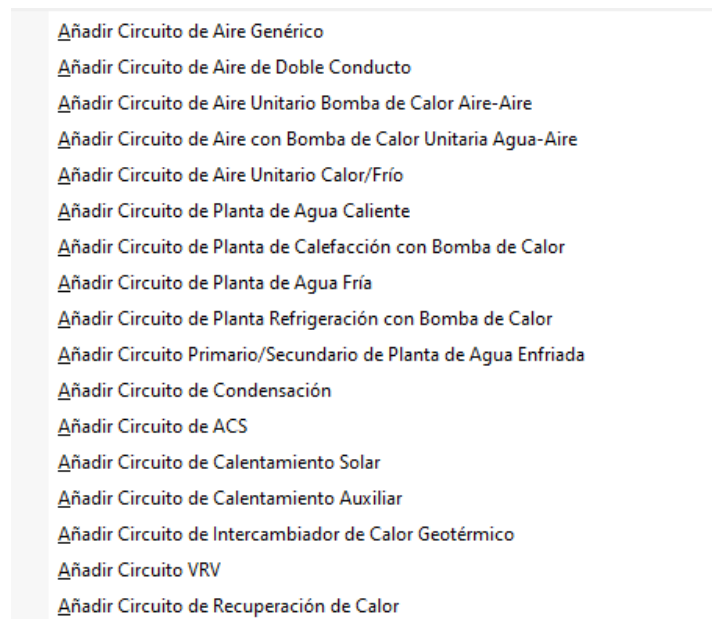
El primer paso es insertar el sistema de refrigeración mediante el icono  donde se despliega un menú con todas las opciones disponibles en el programa como se observa en la siguiente ilustración; se elige la más adecuada para el caso de estudio requerido.

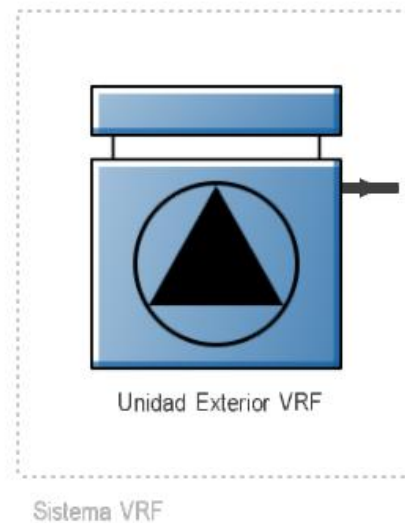
Ilustración 54. Lista de opciones de sistemas de refrigeración en DesignBuilder.



Fuente: Elaboración propia

Para este caso se selecciona un circuito VRV, se arrastra a la hoja en blanco y se posiciona; al hacer esto se genera inmediatamente una unidad exterior de condensación como la que se muestra.

Ilustración 55. Circuito VRV en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente se crea el grupo de zonas que se desea climatizar, mediante el


icono  este grupo de zonas compartirán características, como el tipo de unidad interior que se usará, si el aire es totalmente recirculado o tiene inyección de aire exterior y el control de contaminantes en el ambiente. Al momento de la configuración se deben seleccionar las zonas que comprendan cada grupo. Si se tiene más de un tipo de unidad interior deben generarse varios grupos de zonas, cada uno con las características correspondientes.

Ilustración 56. Crear grupos de zonas en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia


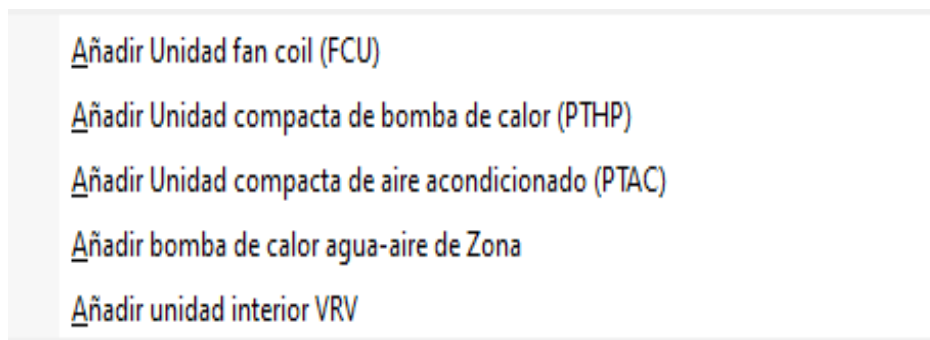
También se debe añadir la unidad interior correspondiente dentro del grupo de zonas, Mediante el botón “añadir unidad de aire forzado”  donde se encuentran las siguientes opciones:

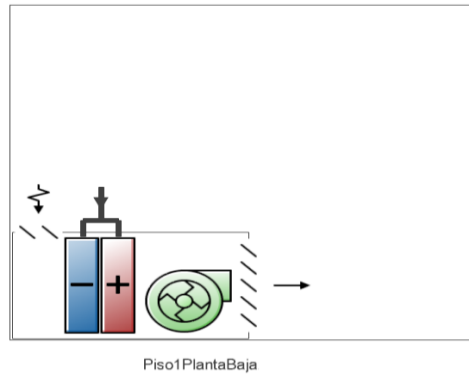
Ilustración 57. Opciones de unidades de aire forzado en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Para el caso del de un circuito VRV utilizado anteriormente, se debe utilizar una “unidad interior VRV”, al insertarlo, la zona muestra una batería de frío (azul), una batería de calor (rojo) y un ventilador para la circulación de aire.

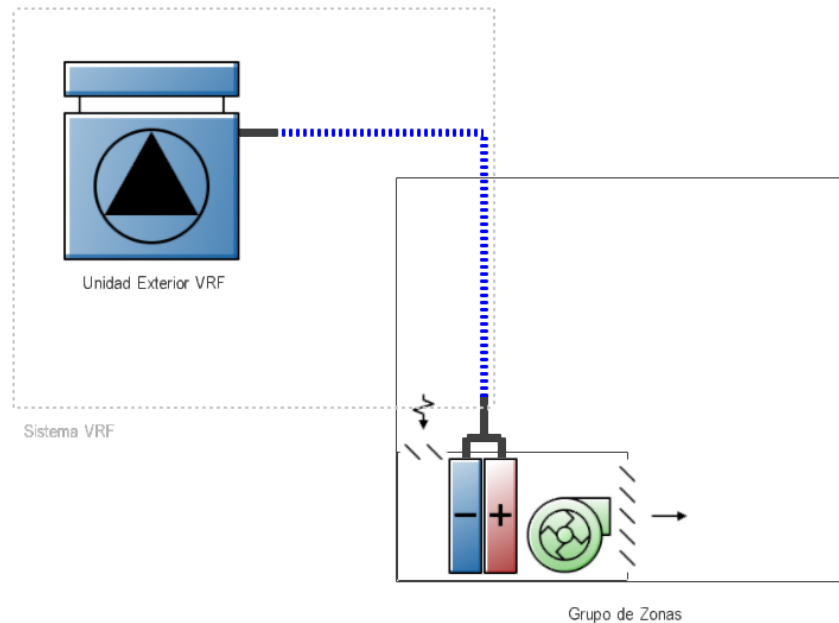
Ilustración 58. Unidad interior VRV en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se conecta la unidad exterior con la unidad interior (se debe realizar dicha conexión con cada grupo de zonas) y se procede a editar la capacidad de enfriamiento dentro de cada unidad.

Ilustración 59. Conexión unidad exterior con la interior en DesignBuilder

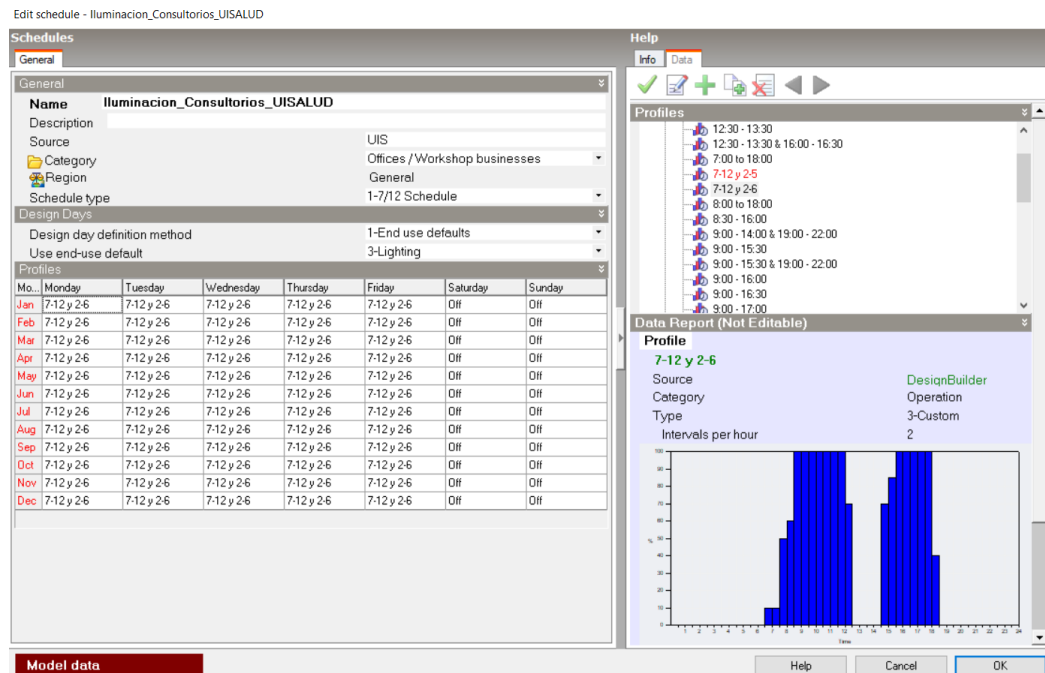


Fuente: Elaboración propia

- **HORARIOS**

Las plantillas de los horarios se realizan para poder darle al programa el tiempo de ocupación, funcionamiento de equipos, luminarias, etc. de cada zona, de esta forma se conoce el momento de mayor carga térmica y eléctrica, esto se representa en porcentaje de 0 a 100.

Ilustración 60. Programación general de horarios DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia



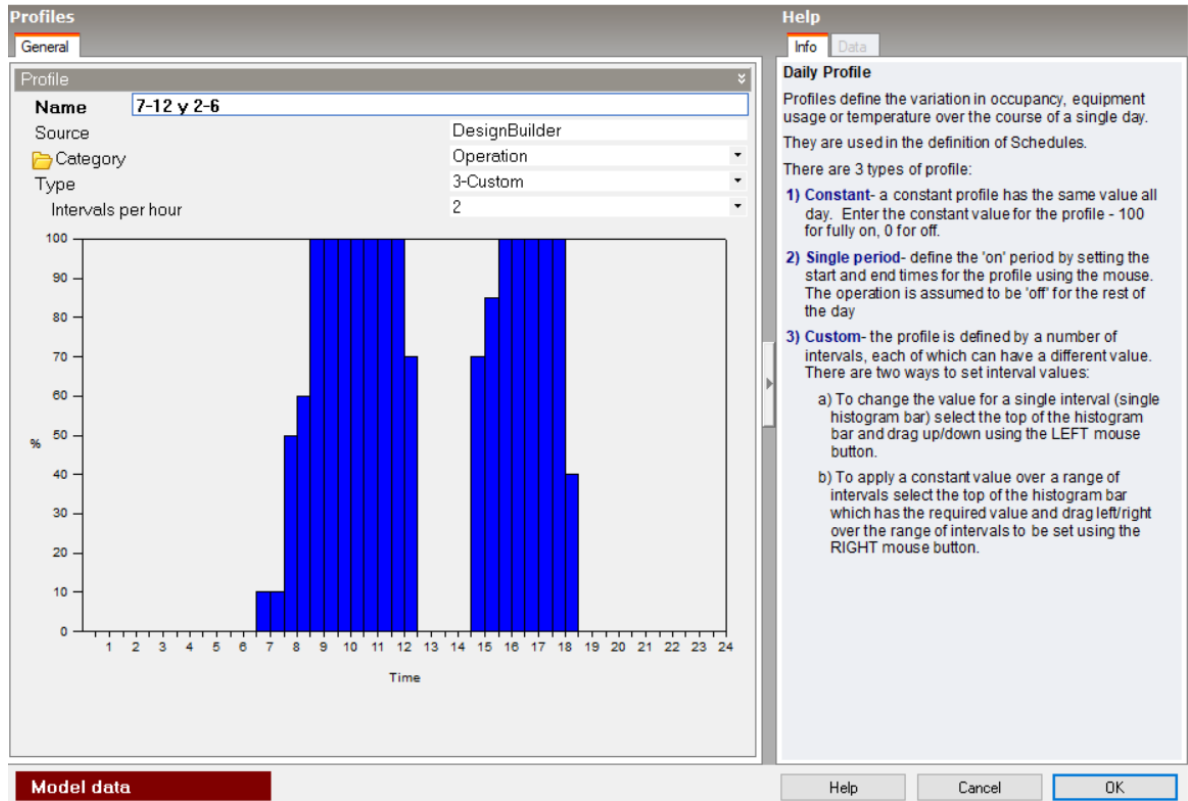
Si se requiere un horario diferente a los que ya tiene el software se procede a crear uno, esto se hace primero seleccionando una plantilla ya creada y se procede a hacer una copia con el icono  y después , en la siguiente ilustración se muestra donde se puede modificar los porcentajes a lo largo del día.

Ilustración 61. Edición de perfiles de horarios DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

- **Plantilla climatológica**

Para ingresar la plantilla climática correspondiente a la ciudad en la que se encuentra el edificio de estudio, existen dos opciones. La primera es elegir dentro del amplio catálogo propio de DesignBuilder y la segunda es cargar una plantilla propia, elaborada a base de los datos obtenidos de una estación meteorológica, a continuación, se explica cada una.

Cargar una plantilla predeterminada de DesignBuilder

Lo primero que se debe hacer es dirigirse al nivel sitio, luego la pestaña datos de sitio, donde se encuentra la opción “plantilla de sitio”
Ilustración XX, pestaña de sitio DesignBuilder.

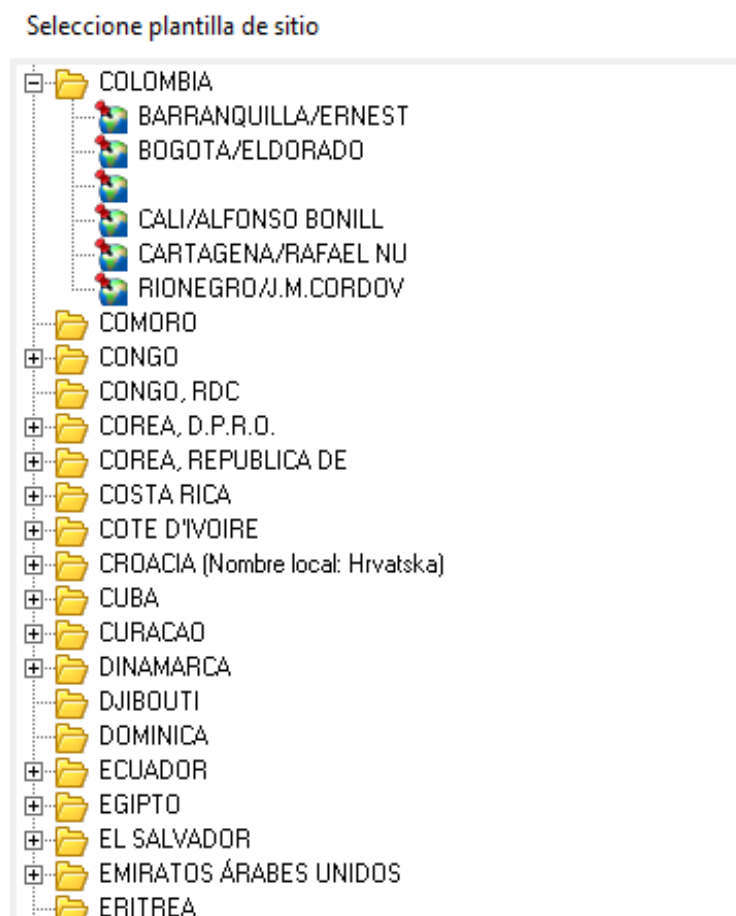
Ilustración 62. Plantilla en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Al ingresar en el menú de plantillas se despliega un listado donde se elige la opción más adecuada para nuestro estudio

Ilustración 63. Listado de plantillas geográfica y climática en DesignBuilder

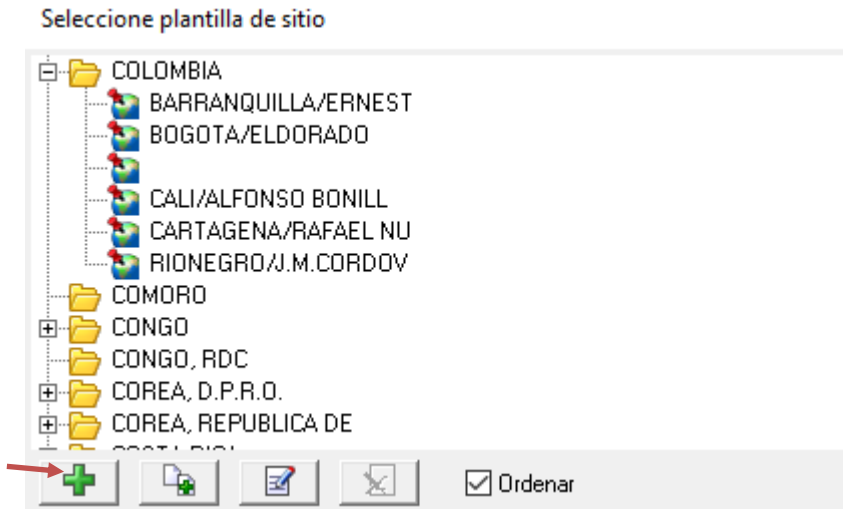


Fuente: Elaboración propia

Cargar una plantilla climática de elaboración propia

Para crear una plantilla propia se sigue los pasos anteriormente mencionados, y al momento de seleccionar la ciudad, se da clic en el símbolo de “mas” como se muestra en siguiente ilustración.

Ilustración 64. Listado de plantillas geográficas DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, se despliega una ventana en donde se ingresa la información correspondiente como se muestra (nombre de la plantilla, zona climática ASHRAE, datos geográficos, etc.)

Ilustración 65. Ventana de inserción de datos geográficos DesignBuilder

Plantillas de sitio

Datos climáticos para simulación

Sitio Datos climáticos para diseño de calefacción Datos climáticos para diseño de refrigeración

General

Nombre BUCARAMANGA/UISALUD

País COLOMBIA

Fuente ASHRAE/IWEC

WMO 802590

Zona climática ASHRAE 2A

Clasificación Köppen Csb

Latitud (°) 7,13

Longitud (°) -73,13

Elevación sobre el nivel del mar (m) 960,0

Presión estándar (kPa) 96,9

Hora y horario de verano

Zona horaria (GMT-05:00) Bogota, Lima, Quito

Inicio del Invierno Oct

Final del Invierno Mar

Inicio del Verano Apr

Final del Verano Sep

Códigos Energéticos

Región legislativa COLOMBIA

Fuente: Elaboración propia

Luego se continua, en la pestaña de datos climáticos para simulación dentro de la misma ventana que se está editando y se abre el menú de plantillas de “datos climáticos horarios”.

Ilustración 66. Pestaña de datos climáticos para la simulación en DesignBuilder

Plantillas de sitio

Sitio Datos climáticos para diseño de calefacción Datos climáticos para diseño de refrigeración

Datos climáticos para simulación

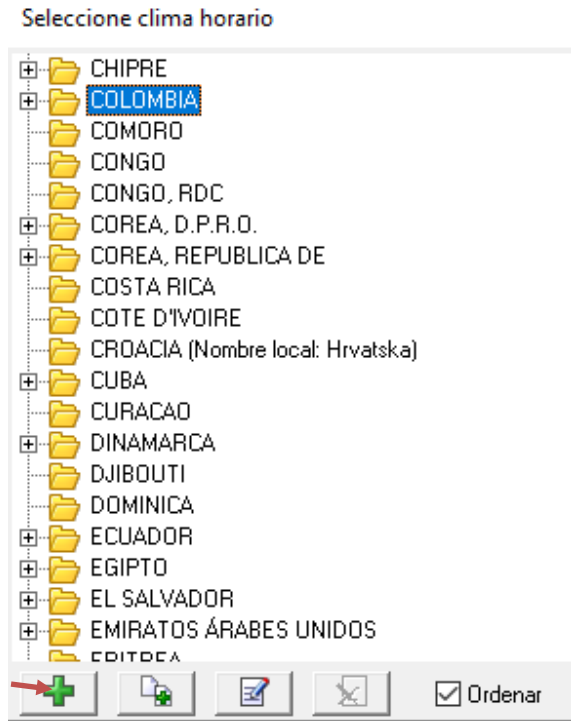
Clima anual

Datos climáticos horarios COL_BUCARAMANGA_UISALUD_I ...

Fuente: Elaboración propia

Para crear una plantilla de datos climáticos horarios se da clic en el símbolo de “mas” como se muestra en la ilustración.

Ilustración 67. Listado de plantillas climatológicas en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Seguidamente se abre una nueva ventana en la que se debe ingresar información ya solicitada anteriormente, adicional en “Archivo” se debe cargar el archivo “epw” (Energy Plus Weather).

Ilustración 68. Pestaña de carga archivo climático en DesignBuilder.

Editar clima horario - Bucaramanga UISALUD

Clima horario

General Estadísticas

General

Nombre	Bucaramanga UISALUD
Fuente	AMB
País	COLOMBIA
Archivo	AMB -BMANGA-SANTANDER ...

Detalles

Latitud (°)	7,08
Longitud (°)	-73,07
Identificador de estación WMO	802220
Zona climática ASHRAE	2A

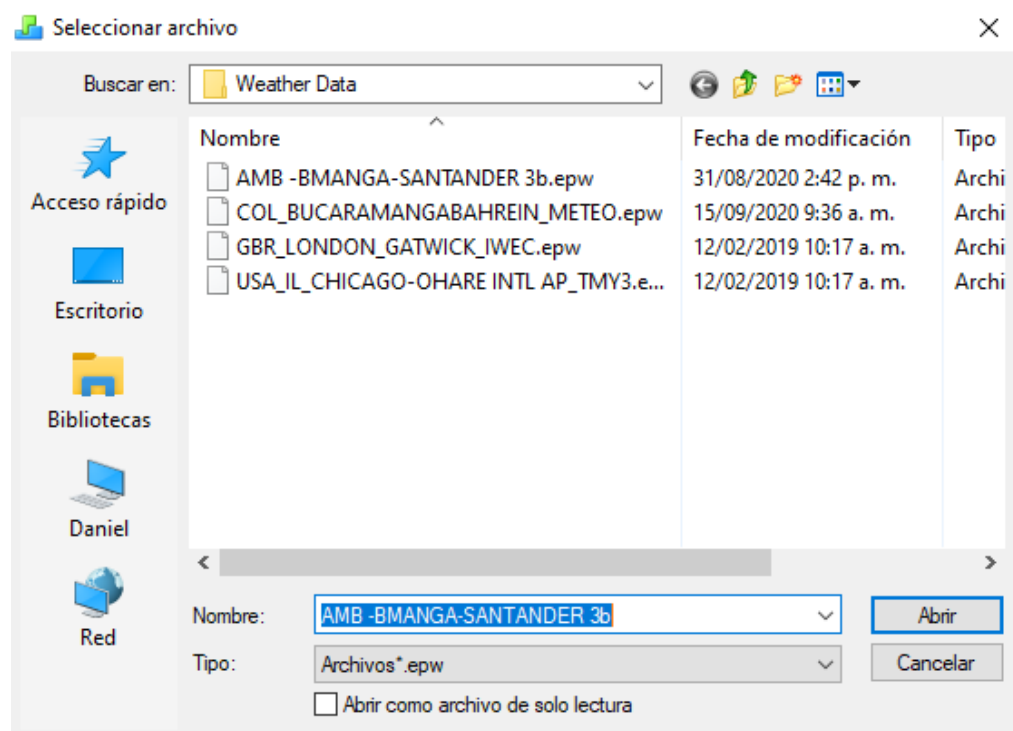
Fuente: Elaboración propia

En la ilustración siguiente se muestra la carpeta donde se debe almacenar el archivo climático para cargarlo adecuadamente:

C:/ProgramData/DesignBuilder/WeatherData

Adicionalmente es oportuno indicar que para convertir el archivo climático de cualquier formato a “epw” mediante el software libre llamado Elements.

Ilustración 69. Carpeta de plantillas climáticas de DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

- **Ejecución de la simulación**


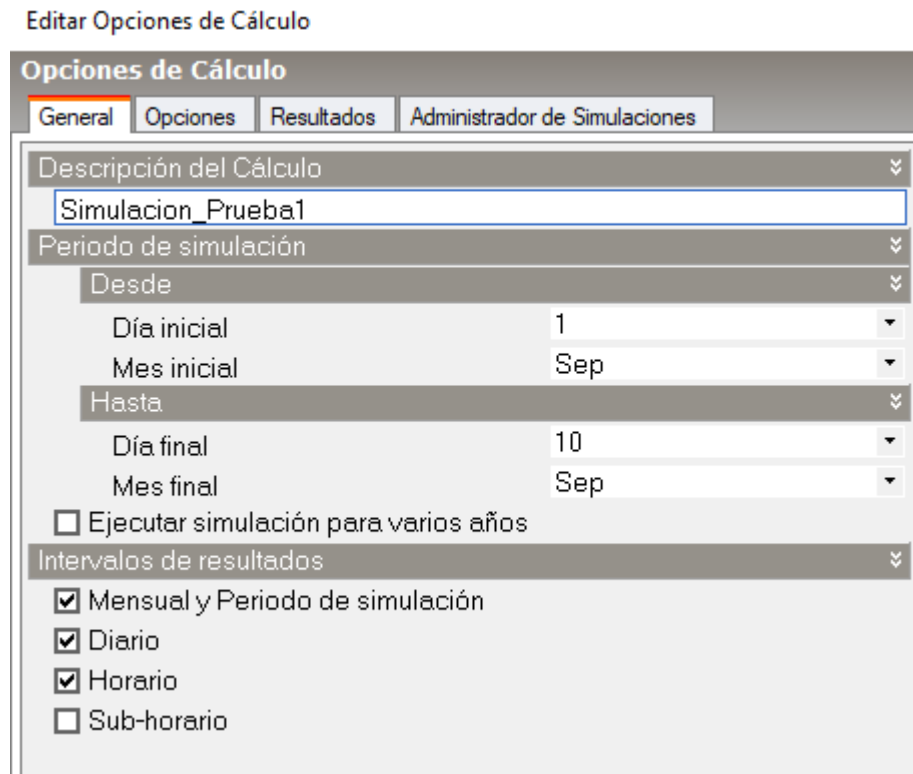
Para correr una simulación, hay que ingresar en la pestaña de “Simulación” de la barra inferior y luego dar clic en el botón “actualizar datos”  donde aparece un cuadro para realizar la adecuada configuración requerida de la simulación del edificio. En el primer espacio se puede editar el nombre con el que se identifica el proceso de cálculo para su guardado, seguidamente se pueden modificar las fechas inicial y final (duración de la simulación), adicionalmente se puede elegir los intervalos de los resultados obtenidos, esto resulta especialmente útil cuando se desea analizar la evolución de los datos durante un día o a lo largo de los meses del año.

Ilustración 70. Configuración de generalidades de simulación en DesignBuilder

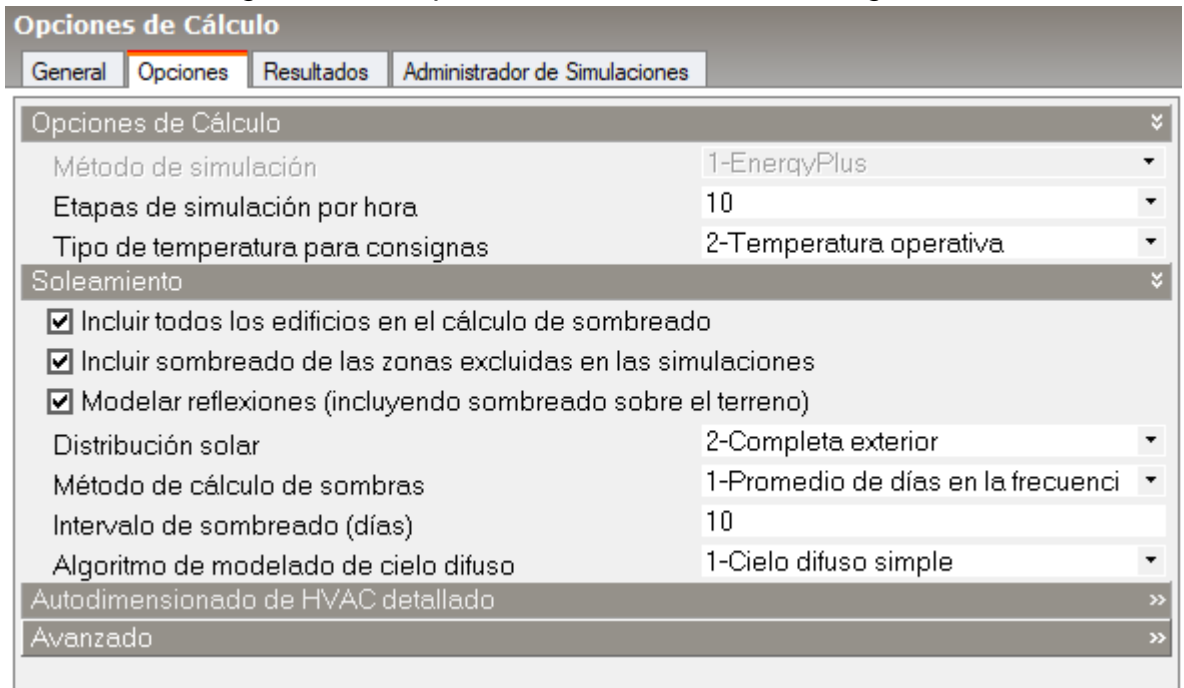


Fuente: Elaboración propia

En la siguiente pestaña de la ventana, se puede seleccionar cuantos ciclos de simulación se desea realizar cada hora, en casos de HVAC detallado se recomienda mínimo 10 etapas de simulación por hora, es de notar que el aumento de ciclos alarga el tiempo ocupado por la computadora realizando los cálculos. La temperatura para las consignas define el parámetro principal en el que se basa el computo, el manual de DesignBuilder recomienda fijar la temperatura operativa como consiga (temperatura de salida del aire de las unidades interiores).

Dentro de las opciones de soleamiento se debe incluir todos los edificios y la reflexiones para obtener datos de mayor exactitud.

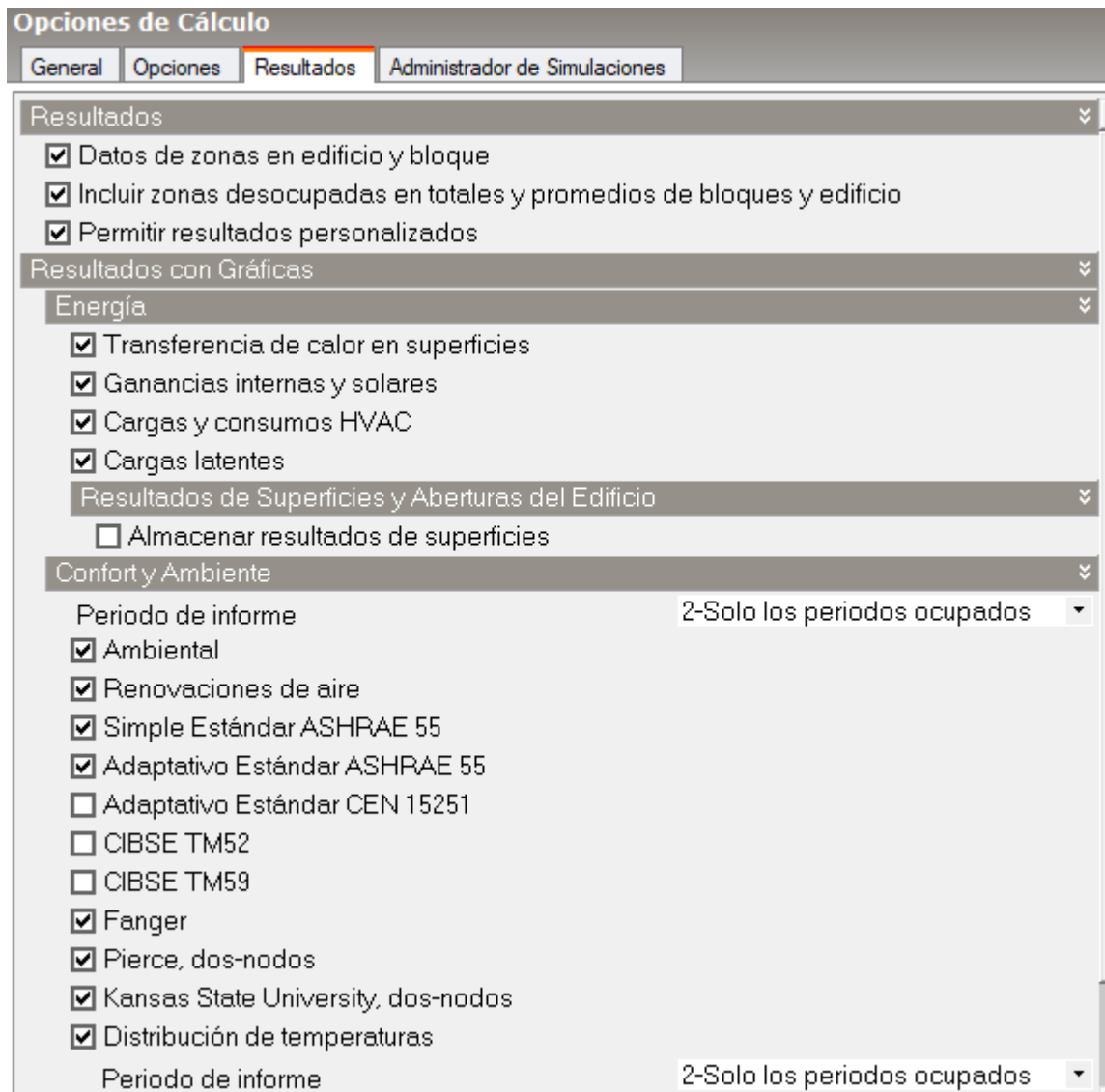
Ilustración 71. Configuración de opciones de simulación en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

Por último, en la pestaña de resultados, se deben seleccionar todos los datos, comparaciones y análisis que se desean extraer de la simulación, como lo son, las transferencias de calor en las superficies para determinar en donde se presentan las mayores cargas térmicas desde el exterior, las ganancias internas y solares que representan comúnmente la mayor parte de la carga, las cargas y consumos del sistema HVAC ya que son un factor clave en los análisis. Asimismo, se eligen las múltiples normas y correlaciones facilitadas por el software, útiles para analizar los parámetros y confort térmico teniendo marcos de referencia aceptados internacionalmente.

Ilustración 72. Configuración de resultados de simulación en DesignBuilder



Fuente: Elaboración propia

ANEXO B: DATOS DEL MODELO

Este anexo nos presenta toda la información necesaria para la realización del modelo.




Tabla B.1. Capas de los cerramientos

	Ubicación capa	material	espesor [cm]
Fachadas Norte Sur y Oeste	Externa	Pañete liso	1,5
	Núcleo	Ladrillo H12	12
	Interna	Pañete liso	1,5
Fachada Este	Externa	Pañete liso	1,5
	Núcleo	Ladrillo H10	10
	Interna	Pañete liso	1,5
Muros interiores Tipo 1	Externa	Pañete liso	1,5
	Núcleo	Ladrillo H12	12
	Interna	Pañete liso	1,5
Muros interiores Tipo 2	Externa	Pañete liso	1,5
	Núcleo	Ladrillo H10	10
	Interna	Pañete liso	1,5
Techo	Externa	pintura	0,1
	Núcleo	acero galvanizado	0,3
	Interna	pintura	0,1
ventanas - puertas	Única	vidrios	1,5
Entrepiso primer piso	Superior	Cerámica-porcelanato	0,95
	Núcleo	Concreto reforzado	44
	Inferior	Aire	110
	-	drywall	1,5
Entrepiso segundo piso	Superior	Cerámica-porcelanato	0,95
	Núcleo	Concreto reforzado	44
	Inferior	Aire	30
	-	drywall	1,5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla B2 se define el tipo de luminaria artificial que tenemos el edificio

Tabla B.2. tipos de luminaria

TIPO A			TIPO E		
	Nombre:	Panel 60X60		Nombre:	Rectangular 3
	Disposicion:	Empotrada		Disposicion:	Empotrada
	Potencia [W]:	69		Potencia [W]:	24
	Tipo:	LED		Tipo:	LED
	Obs:			Obs:	
TIPO B			TIPO G		
	Nombre:	Rectangular 1		Nombre:	Bala
	Disposicion:	Suspendida		Disposicion:	Empotrada
	Potencia [W]:	50		Potencia [W]:	7
	Tipo:	LED		Tipo:	LED
	Obs:			Obs:	
TIPO C			TIPO H		
	Nombre:	Bombilla Tubo		Nombre:	Circular
	Disposicion:	Empotrada		Disposicion:	Empotrada
	Potencia [W]:	16		Potencia [W]:	24
	Tipo:	LED		Tipo:	LED
	Obs:	Solo Servicio		Obs:	
TIPO D			TIPO F		
	Nombre:	Rectangular 2		Nombre:	Coral
	Disposicion:	Empotrada		Disposicion:	Empotrada
	Potencia [W]:	48		Potencia [W]:	60
	Tipo:	LED		Tipo:	LED
	Obs:			Obs:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla B.3. Iluminación artificial

	ZONA	TIPO							
		A 69W	B 50W	C 16W	D 48W	E 24W	F 60W	G 7W	H 24W
Piso 1	Farmacia				5				
	Bodega medicamentos				3				
	Inyectología								1
	Auxiliar transcripciones				2				
	Consultorios 1, 2 y 3	9						6	3
	Recepción de inyectología					2			
	Auditoría médica	2							1
	Rayos X								1
	Coordinación médica	2							1
	Baño de discapacitados								1
	Procedimientos					2			
	Depósito de materiales					1			
	Hall-acceso-espera	3		2	8				
Piso 2	Coordinación Contabilidad	2						5	
	Contabilidad, comunicaciones	2	6					15	
	Gerencia						2		
	Caja	1							
	Secretaria Gerencia	2						4	
	Atención	1							

	Archivo			4		2			2
	Epidemiología	1							
	Sala de juntas					8			1
	Baños públicos								2
	Hall acceso							54	
Piso 3	Consultorio 1	2							2
	Consultorio 2	2							2
	Consultorios 3	2							2
	Consultorios 4	2							2
	Consultorios 5	2							2
	Consultorios 6	2							2
	Programa adulto mayor (GYM)				13				4
	Enfermerías 1	2							
	Enfermerías 2	2							
	cubículos Fisioterapia	4							
	Hall-espera								15
	Nutrición	2							
	Recepción					2			
	Terapia física	2				8			1
	terapia respiratoria	3							
Trabajo Social	2								
Toma de muestras	2								

Fuente: Elaboración propia

Tabla B.4. Equipos de oficina

EQUIPOS DE OFICINA		
Zona	Cantidad de Pc	Potencia (W)
Farmacia	2	240
Inyectología	1	120
Auxiliar transcripciones	3	360
Consultorios 1, 2 y 3	3	360
Recepción de inyectología	1	120
Auditoría médica	1	120
Coordinación médica	1	120
Hall-acceso-espera	1	120
Coordinación Contabilidad	1	120
Contabilidad, comunicaciones	9	1080
Gerencia	1	120
Caja	1	120
Secretaria Gerencia	1	120
Atención	1	120
Archivo	1	120
Epidemiología	1	120
Consultorio 1	1	120

Consultorio 2	1	120
Consultorios 3	1	120
Consultorios 4	1	120
Consultorios 5	1	120
Consultorios 6	1	120
Programa adulto mayor (GYM)	1	120
Enfermerías 1	1	120
Enfermerías 2	1	120
Fisioterapia	1	120
Nutrición	1	120
Recepción	2	240
Terapia física	1	120
terapia respiratoria	1	120
Trabajo Social	1	120
Toma de muestras	1	120

Fuente: Elaboración propia

Tabla B.5. Distribución de HVAC

Segundo Piso			
Equipo	Capacidad BTU	Zona	Aire Inyectado CFM
Mini Split 01	12000	Archivo	600
Mini Split 02	24000	Gerencia General	800
Mini Split 03	18000	Secretaría Gerencia	600
Mini Split 04	24000	Sala de juntas	800

Cassete 01	7000	Vigilancia Epidemiológica	250
Cassete 02	7000	Atención	250
Cassete 03	7000	Caja	250
FanCoil 02	48000	Contabilidad Comunicaciones	2100
		Coordinación Contabilidad	530
Tercer Piso			
Equipo	Capacidad BTU	Zona	Aire Inyectado CFM
UMA 03	102400	Consultorio 1	900
		Consultorio 2	600
		Consultorio 3	600
		Consultorio 4	900
		Consultorio 5	900
		Consultorio 6	600
UMA 04	80500	Enfermería 1	630
		Enfermería 2	630
		Toma de muestras	630
		Nutrición	630
		Trabajo Social	630
Mini Split 02	18000	Recepción	600

Fuente: Elaboración propia

Tabla B.6. Ocupacion del edificio UISALUD

piso 1		
Zona	Área (m2)	Ocupación (No. personas)
Inyectología	5.87	0
Depósito de Materiales	5.9	0
Recepción Inyectología	10.33	2
Procedimientos	12.73	2
Bodega de Medicamentos	12.93	1
Farmacia	30.39	2
Rayos X	3.35	0

Consultorio 3	20.43	2
Consultorio 2	17.66	2
Consultorio 1	25.62	2
Auxiliar Transcripciones	11.09	2
Elevador Piso 1	4.29	0
Coordinación Medica	19.58	2
W.C Discapacitados	5.97	0
Hall de Recepción	121.94	9
Auditoria Medica	13.95	2
piso 2		
Zona	Área (m2)	Ocupación (No. personas)
Caja	5.79	1
Contabilidad Comunicaciones	75.15	10
Archivo	41.44	1
Atención	5.8	1
Vigilancia Epidemiológica	7.44	2
Coordinación Contabilidad	16.53	2
hall espera	56.69	5
Gerencia General	27.98	2
Secretaria Gerencia	15.83	2
Sala de juntas	30.62	0
W.C Públicos	6.9	0
piso 3		
Zona	Área (m2)	Ocupación (No. personas)
Consultorio 1	20.74	2
Consultorio 2	18.94	2
Consultorio 3	18.99	2
Consultorio 4	19.38	2
Consultorio 6	19.99	2
Consultorio 5	18.85	2
Terapia Respiratoria	17.79	1
GYM adulto mayor	97.86	4
Fisioterapia	22.9	2

Terapia Física	69.77	3
Toma de muestras	15.53	1
Enfermería 2	13.68	2
Enfermería 1	13.69	2
Nutrición	13.69	2
Trabajo Social	13.96	1
W.C Públicos	11.25	0
Recepción	31.01	2
Elevador	3.86	0
Hall Segundo Piso 2	171.24	2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla B.7, se observa la ocupación promedio en horas, para las zonas que tiene un uso intermitente durante el día.

Tabla B.7. Zonas de baja ocupación

Zonas	Ocupación (No. personas)	Horas por día
Inyectología	1	2.5
Depósito de Materiales	1	2
Rayos X	1	1.5
Elevador	1	2.5
W.C Discapacitados	1	1.5
Sala de juntas	3	2
W.C Públicos	1	2.5

Fuente: Elaboración propia

ANEXO C: RESULTADOS DETALLADOS DE LA SIMULACIÓN

Tabla C1. Tabla de niveles de luminancia

		Area (m2)	whatts instalados	lum	lux instalados	lux norma
Piso 1	Farmacia	28,59	240	18000,0	629,59	500
	Bodega medicamentos	11,72	144	10800,0	921,50	500
	Inyectología	5,27	24	1800,0	341,56	500
	Auxiliar transcripciones	10,21	96	7200,0	705,19	500
	Consultorios 1, 2 y 3	58,36	735	55125,0	944,57	1000
	Recepcion de inyectologia	9,24	48	3600,0	389,61	500
	Auditoría médica	12,88	162	12150,0	943,32	500
	Rayos X	2,9	24	1800,0	620,69	500
	Coordinación médica	17,75	162	12150,0	684,51	500
	Baño de dsicapitados	5,16	24	1800,0	348,84	200
	Procedimientos	11,47	48	3600,0	313,86	500
	Deposito de materiales	5,29	24	1800,0	340,26	300
	Hall-acceso-espera	121,94	623	46725,0	383,18	200
Piso 2	Contabilidad, comunicaciones	71,81	543	40725,0	567,12	500
	Gerencia	26,28	120	9000,0	342,47	500
	Caja	5,45	69	5175,0	949,54	500
	Secretaria Gerencia	15,09	166	12450,0	825,05	500
	Atención	5,46	69	5175,0	947,80	500
	Archivo	38,39	160	12000,0	312,58	500
	Epidemiología	6,9	69	5175,0	750,00	500
	Sala de juntas	28,32	216	16200,0	572,03	500
	Baños publicos	6,04	48	3600,0	596,03	300
Hall-acceso-espera	53,43	378	28350,0	530,60	200	
Piso 3	Consultorio 1	16,36	186	13950,0	852,69	1000
	Consultorio 2	13,81	186	13950,0	1010,14	1000
	Consultorios 3	13,85	186	13950,0	1007,22	1000
	Consultorios 5	13,78	186	13950,0	1012,34	1000
	Consultorios 6	13,94	186	13950,0	1000,72	1000
	Programa adulto mayor(GYM)	87,43	720	54000,0	617,64	500
	Enfermerías 1	8,86	138	10350,0	1168,17	1000
	Enfermerías 2	8,86	138	10350,0	1168,17	1000
	cubiculos Fisioterapia	21,14	276	20700,0	979,19	500
	Hall-espera	147,41	360	27000,0	183,16	200
	Nutricion	8,86	138	10350,0	1168,17	500
	Recepcion	31,01	96	7200,0	232,18	500
	Terapia fisica	62,68	546	40950,0	653,32	500
	terapia respiratoria	15,55	207	15525,0	998,39	500
	Trabajo Social	9,1	138	10350,0	1137,36	500
	Toma de muestras	11,63	138	10350,0	889,94	1000
Baños publicos	6,66	72	5400,0	810,81	300	

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.2. Rangos de temperatura.

Zona	<20,5	20,5-21,5	21,5-22,5	22,5-23,5	23,5-24,5	24,5-25,5	25,5-26,5	26,5-27,5	27,5-28,5	>28,5
Archivo	0	0	60	596	2345	0,5	0	0	0	0
Atención	0	0	0	87,5	2902	11,7	0	0	0	0
Caja	0	0	0	88,9	2901	11,9	0	0	0	0
contabilidad y comunicaciones	0	0	2,2	281,9	2714	3,6	0	0	0	0
Coordinación contabilidad	0	0	1,5	245,4	2748	6,6	0,1	0	0	0
Gerencia general	0	0	1,1	207,9	2783	9,5		0	0	0
Hall de espera	0	0	30,4	579,6	1444	867	80,3	0	0	0
Sala de Juntas	0	0	16	116,4	520,1		0	0	0	0
Secretaria gerencia	0	0	5	317,5	2673	6,2	0	0	0	0
vigilancia epidemiológica	0	0	0	90,5	2904	7,4	0	0	0	0
Consultorio médico 1	0	6,5	209,5	601,6	2184		0	0	0	0
Consultorio médico 2	0	0	17,2	463,8	2520	0,5	0	0	0	0
Consultorio médico 3	0	0	17,4	467,2	2516	0,5	0	0	0	0

Consultorio médico 4	0	9,7	210,1	635,7	2143	3	0	0	0	0
Consultorio médico 5	0	0	1	342,8	2650	7,4	0	0	0	0
Consultorio médico 6	0	0	0	88,7	2894	18,9	0	0	0	0
enfermería 1	0	0	0	88,4	2897	15,9	0	0	0	0
enfermería 2	0	0	0	101,7	2886	13,5	0	0	0	0
fisioterapia	0	0	0	26,8	348,2	747,5	817,9	656,3	325	83,8
Gimnasio	0	0	15,9	437,5	1100	623,5	488,9	262,5	57,6	15,3
Hall	0	0	2,7	147,1	509,1	724,1	620,6	584,2	329	84,5
Nutrición	0	0	0	85,8	2900	15,3	0	0	0	0
Recepción	0	0,5	29,1	392,3	2569	9,1	1,5	0	0	0
Terapia física	0	0	0,6	158,7	627,7	870,1	728,6	481	107	27,7
Terapia Respiratoria	0	0	16,6	288,6	588	718,3	590,8	494	200	92,8
Toma de Muestras	0	48,4	351,6	792,9	1807	1	0	0	0	0
Trabajo social	0	0	0	80,1	2906	15,1	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.3. Confort según el modelo de Fanger

Planta	Zona	PMV	PPD
Piso1	Auditoria medica	-0,09	6,32
	Auxiliar transcripciones	-0,22	7,57
	Bodega de medicamentos	-0,31	8,85
	Consultorio1	-0,27	8,34
	Consultorio2	-0,20	7,22
	Consultorio3	-0,22	7,58
	Coordinación medica	-0,29	8,41
	Depósito de materiales	-0,28	7,99
	Elevdorpiso1	0,08	7,78
	Farmacia	-0,05	6,19
	Hall de recepción	-0,13	7,53
	Inyectología	-0,28	8,07
	Procedimientos	-0,26	8,28
	Rayos x	-0,22	7,26
	Recepción inyectología	-0,20	7,10
	WC discapacitados	-0,14	6,73
Piso2	Archivo	-0,16	6,60
	Atención	-0,11	6,13
	Caja	-0,11	6,14
	Comunicaciones	-0,16	6,42
	Coordinación contabilidad	-0,16	6,42
	Gerencia general	-0,11	6,20
	Hall espera	0,04	6,47
	Sala de juntas	-0,16	6,49
	Secretaria gerencia	-0,11	6,24
	Epidemiologia	-0,08	6,01
	WC públicos	0,45	11,43
Piso3	Consultorio1	-0,21	7,20
	Consultorio2	-0,16	6,47
	Consultorio3	-0,16	6,46
	Consultorio4	-0,21	7,02
	Consultorio5	-0,16	6,48
	Consultorio6	-0,14	6,32
	Enfermeria1	-0,13	6,28

	Enfermería2	-0,14	6,28
	Fisioterapia	0,58	15,29
	Gym adulto mayor	2,30	87,59
	Hallsegundopiso2	0,49	13,82
	Nutrición	-0,13	6,27
	Recepción	-0,44	10,32
	Terapia física	1,90	71,43
	Terapia respiratoria	0,46	14,24
	Toma de muestras	-0,25	7,60
	Trabajo social	-0,14	6,34
	WC públicos	0,42	10,18

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.4. Confort según el estándar ASHRAE 55

ZONA	ASHRAE55 90% Acceptability Limits [Hours]	ASHRAE55 80% Acceptability Limits [Hours]
AUDITORIA MEDICA	55,5	0,8
AXLR TRANSCRIPCIONES	85,6	3,4
BODEGA DE MEDICAMENTOS	154,3	2,1
CONSULTORIO 1	127	18,8
CONSULTORIO 2	51,1	1,2
CONSULTORIO 3	66,7	2
COORDINACIÓN MÉDICA	184,7	14,2
DEPÓSITO DE MATERIALES	5,5	0
ELEVADOR PISO 1	1,2	0
FARMACIA	45	0
HALL RECEPCIÓN	51,8	0
INYECTOLOGÍA	8,9	0

PROCEDIMIENTOS	121,6	1,4
RAYOS X	3,4	0
RCPCNINYCTLG	8,1	0
WC DISCAPACITADOS	0	0
ARCHIVO	0	0
ATENCIÓN	0	0
CAJA	0	0
CNTBLDDCMNCCNS	0	0
CRDNCNCNTBLDD	0	0
GERENCIA GENERAL	0	0
HALL ESPERA	0	0
SALA DE JUNTAS	0	0
SECRETARIA GERENCIA	0	0
VGLNCEPDMLGC	0	0
WC PUBLICOS	77,6	22,5
CONSULTORIO 1	15	0
CONSULTORIO 2	0	0
CONSULTORIO 3	0	0
CONSULTORIO 4	17,3	0
CONSULTORIO 5	0	0
CONSULTORIO 6	0	0
ENFERMERÍA 1	0	0
ENFERMERÍA 2	0	0

FISIOTERAPIA	1040,8	369,7
GYMADULTOMAYOR	302.40	59.70
HALL SEGUNDO PISO 2	956.30	342.20
NUTRICIÓN	0.00	0.00
RECEPCIÓN	0.80	0.00
TERAPIA FÍSICA	561.90	143.40
TERAPIA RESPIRATORIA	775.00	285.50
TOMA DE MUESTRAS	66.20	0.60
TRABAJO SOCIAL	0.00	0.00
WC PUBLICOS	59.00	5.10

Fuente: Elaboración propia

Tabla C.5. Distribución de sensores de regulación del primer piso

	ZONA	No. sensores	Precio en pesos colombianos
Piso 2	Coordinación Contabilidad	1	\$ 528.924
	Contabilidad, comunicaciones	1	\$ 528.924
	Gerencia	1	\$ 528.924
	Secretaria Gerencia	1	\$ 528.924
	Epidemiología	1	\$ 528.924
	Hall segundo piso	1	\$ 528.924
	Sala de juntas	1	\$ 528.924
Piso 3	Consultorio 1	1	\$ 528.924
	Consultorio 2	1	\$ 528.924
	Consultorios 3	1	\$ 528.924
	Consultorios 4	1	\$ 528.924
	Consultorios 5	1	\$ 528.924
	Consultorios 6	1	\$ 528.924

Programa adulto mayor (GYM)	2	\$ 1.057.848
Enfermerías 1	1	\$ 528.924
Enfermerías 2	1	\$ 528.924
Hall-espera	1	\$ 528.924
Nutrición	1	\$ 528.924
Recepción	1	\$ 528.924
Terapia física	1	\$ 528.924
terapia respiratoria	1	\$ 528.924
Trabajo Social	1	\$ 528.924
Toma de muestras	1	\$ 528.924

Fuente: Elaboración propia