

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO  
ENERGÉTICO EN EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL EDIFICIO DE  
POSTGRADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA.

**ANDREA CAROLINA SARMIENTO DIAZ**



UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2019

EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE REDUCCIÓN DEL CONSUMO  
ENERGÉTICO EN EL SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN DEL EDIFICIO DE  
POSTGRADOS DE LA UNIVERSIDAD DE LA COSTA.

**ANDREA CAROLINA SARMIENTO DIAZ**

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero

Eléctrico

Tutor del proyecto:

**ING. MILEN BALBIS MOREJON**

Cotutor:

**ING. DORA EDITH ROSALES VILLA**

UNIVERSIDAD DE LA COSTA  
DEPARTAMENTO DE ENERGÍA  
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA  
BARRANQUILLA  
2019

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

Jurado

---

Jurado

---

---

Barranquilla, 11 de febrero de 2019

### **Agradecimientos**

Agradezco a Dios porque sin él nada hubiese sido posible, a mi madre y hermanas por ser la principal motivación para alcanzar mis metas, a mi esposo por el apoyo brindado y a todas las personas que de una u otra manera influyeron y contribuyeron para lograr este proyecto. Y de manera especial a mi compañero y amigo Gustavo Segura por toda la colaboración y entrega en el presente trabajo investigativo.

A las diferentes compañías en donde laboré como TRANSMITEC S.A.S, SISTELAT S.A.S y LAUMAYER COLOMBIANA S.A las cuales me han permitido crecer como persona y profesionalmente.

A mis profesores Ing. John William Grimaldo y Armando Fontalvo, y mis tutores Ing. Milen Balbis y Dora Rosales por su dedicación en este trabajo y brindarme su conocimiento para aplicarlo en este proyecto.

*Andrea Carolina Sarmiento Díaz*

### **Resumen**

La eficiencia energética en edificaciones es un tema que está dando de qué hablar en la actualidad, sin embargo, hay que tener en cuenta los beneficios que esto trae consigo. Para países como Colombia es un campo casi nuevo ya que hasta hace poco se cuenta con el apoyo por parte del gobierno, lo que lleva a implementar modelos de eficiencia energética en las diversas instituciones, especialmente en las universidades. Para obtener resultados favorables en cuanto a la Eficiencia Energética, es necesario un estudio exhaustivo de todas las variables al interior de la edificación; analizando la energía que se gasta contrastándola con la que se debería gastar. Para de esta manera ofrecer soluciones y alternativas de mejora ante la posible baja eficiencia. Todo esto se expondrá en el desarrollo del presente proyecto investigativo, desde el ámbito de los equipos de refrigeración y aire acondicionado, y ayudándose del software de simulación energética y cálculo de carga térmica DESIGN BUILDER®.

***Palabras clave:*** Eficiencia energética, simulación, refrigeración, Designbuilder®

### **Abstract**

The energetic efficiency in buildings is a subject that is giving of which to speak at present, nevertheless it is necessary to consider the benefits that this brings with it. For countries such as Colombia it is an almost new field since until recently there has been support from the government, which leads to implementing energy efficiency models in the various institutions, especially in universities. To obtain favorable results in terms of Energy Efficiency, a thorough study of all the variables inside the building is necessary; analyzing the energy that is spent contrasting it with what should be spent. To thus offer solutions and alternatives for improvement in the face of possible low efficiency. All this will be exposed in the development of this research project, from the field of refrigeration and air conditioning equipment, and using the energy simulation software and thermal load calculation DESIGN BUILDER®.

**Keywords:** Energy efficiency, simulation, refrigeration, Designbuilder®

**Contenido**

Lista de tablas y figuras .....	9
Resumen .....	12
Abstract.....	12
Introducción.....	12
1.Planteamiento del problema .....	14
2.Justificación.....	16
3.Objetivos .....	17
3.1 Objetivo general.....	17
3.1 Objetivos específicos .....	17
4.Alcance.....	18
5.Aspectos metodológicos.....	19
6.Estado del arte .....	20
7.Marco regulatorio colombiano .....	23
8.Marco Teórico .....	25
8.1 Acondicionamiento de aire .....	28
8.1.1 Carga térmica .....	28
8.1.2 Cargas de Refrigeración.....	30
8.2.3 Métodos de cálculo de carga térmica.....	31
8.2.4 Transferencia de calor.....	32
8.2.5 Carga por temperatura diferencial. ....	36
8.2.6 Psicrometría. ....	38
8.2.7 Confort. ....	39
8.3 Tecnologías de aires acondicionados.....	43
8.3.1 Expansión directa.....	44
8.3.2 Expansión indirecta.....	44
8.4 Composición de un sistema de Climatización .....	45

8.4.1 Producción Térmica .....	45
8.4.2 Distribución .....	46
8.4.3 Emisión .....	46
8.4.4 Manejadoras de aire.....	50
8.4.5 Chillers. ....	51
9.Herramientas de simulación .....	52
9.1.1 DesignBuilder .....	54
10. Metodología.....	56
10.1 Recopilación de la información. ....	56
10.2 Selección del software de simulación. ....	58
10.3 Modelación. ....	59
10.3.1 Modelado Geométrico. ....	60
10.3.2 Modelado de envolvente térmica .....	61
10.3.3 Modelado del uso de cada zona. ....	63
10.3.4 Modelado de las instalaciones de Iluminación. ....	65
10.3.5 Modelado de las instalaciones térmicas .....	66
10.3.6 Visualización .....	68
10.3.7 Motores de simulación energética .....	70
10.3.8 Modelado y simulación del estado actual del Edificio de Postgrados – Bloque 11 .....	73
11. Resultados.....	78
11.1 Análisis y comparación de los resultados de las simulaciones .....	82
11.1.1 Primera Simulación.....	82
11.1.2 Segunda Simulación.....	85
11.1.3 Tercera Simulación .....	87
11.2 Propuesta de mejora.....	88
12. Conclusiones.....	89
13. Referencias .....	91

## Lista de tablas y figuras

### Tablas

Tabla 6.1 .....	21
Tabla 6.2 .....	22
Tabla 8.1 .....	41
Tabla 8.2 .....	41
Tabla 8.3 .....	43
Tabla 9.1 .....	57

### Figuras

<i>Figura 8.1</i> Carta Psicrométrica.....	39
<i>Figura 8.2</i> Intercambio de calor entre el ser humano y el ambiente a alta temperatura.....	40
<i>Figura 8.3</i> Temperatura del cuerpo humano: a. bajo condiciones de frío (20°-24°C) b. bajo condiciones de calor ( $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ).....	42
<i>Figura 8.4</i> Sistema todo refrigerante. ....	47
<i>Figura 8.5</i> Esquema básico de instalación de un Sistema todo refrigerante. ....	48
<i>Figura 8.6</i> Esquema del sistema de inducción de un Sistema agua-aire. ....	49
<i>Figura 8.7</i> Unidad de Tratamiento de Aire o UTA. ....	50
<i>Figura 8.4</i> Manejadoras de Aire.....	50
<i>Figura 8.5</i> Chillers enfriados por agua.....	51
<i>Figura 9.1</i> Proceso de simulación del comportamiento energético de un edificio con herramientas computacionales. ....	53
<i>Figura 10.1</i> Edificio Bloque 11.....	57
<i>Figura 10.2</i> Biblioteca de componentes.....	59
<i>Figura 10.3</i> Biblioteca de plantillas.....	60

<i>Figura 10.4</i> Botones para la generación de la geometría..	60
<i>Figura 10.5</i> Diferentes tipos de bloques.....	61
<i>Figura 10.6</i> Definición de un encerramiento.....	62
<i>Figura 10.7</i> Definición de una ventana..	62
<i>Figura 10.8</i> Definición de salientes laterales..	63
<i>Figura 10.9</i> Pestaña de datos de uso.....	64
<i>Figura 10.10</i> División de un Bloque en Zonas.....	65
<i>Figura 10.11</i> Pestaña de entrada datos de iluminación. ....	66
<i>Figura 10.12</i> Pestaña de entrada de datos de instalaciones térmicas. ....	67
<i>Figura 10.13</i> Visualización renderizada del edificio con proyección de sombras.....	68
<i>Figura 10.14</i> Visualización renderizada con diagrama solar del edificio..	69
<i>Figura 10.15</i> Visualización estándar del edificio. ....	69
<i>Figura 10.16</i> Plantilla para la selección de usos del Edificio.....	74
<i>Figura 10.17</i> Plantilla para la selección de cerramientos y materiales del Edificio.....	75
<i>Figura 10.18</i> Propiedades del cerramiento exterior del Edificio.....	76
<i>Figura 10.19</i> Esquema gráfico de las diferentes capas del encerramiento del Edificio. .....	76
<i>Figura 11.2</i> Gráficas de temperaturas mensuales del Edificio de postgrados.....	79
<i>Figura 11.3</i> Gráfica de confort anual. ....	80
<i>Figura 11.4</i> Grafica de consumo de combustible anual. ....	81
<i>Figura 11.5</i> Grafica de temperaturas diarias de la 1° simulación.....	83
<i>Figura 11.6</i> Grafica de confort anual de la 1° simulación.....	83
<i>Figura 11.7</i> Grafica de consumo de combustible anual de la 1° simulación. ....	84
<i>Figura 11.8</i> Grafica de consumo de combustible anual detallado de la 1° simulación .....	85

<i>Figura 11.9</i> Grafica de temperaturas diarias de la 2° simulación.....	86
<i>Figura 11.10</i> Grafica de consumo de combustible anual detallado de la 2° simulación .....	86
<i>Figura 11.11</i> Grafica de consumo de combustible anual detallado de la 3° simulación.....	87

## Introducción

Hoy día, las edificaciones son utilizadas tanto en el ámbito industrial, residencial, comercial y de igual manera en el ámbito académico por las instituciones de educación media y superior. Por el gran número de personas que los habitan, requieren de ambientes confortables, limpios y agradables. El sector terciario es de interés en lo que concierne a la eficiencia energética, los edificios tienen consumos de energía considerables dentro de todos los sectores y por ello presentan un importante potencial de ahorro de energía. Un edificio tiene una alta durabilidad, por lo tanto, su impacto ambiental repercutirá durante todo su ciclo de vida (Pinzón, 2013).

Cabe resaltar que no existen investigaciones sobre el comportamiento de los sistemas de climatización en edificios educativos de las universidades bajo condiciones climatológicas de la ciudad de Barranquilla y que permitan encaminar los proyectos en el uso eficiente de la energía eléctrica sin sacrificar el confort que brindan los sistemas de aire acondicionado en dichas edificaciones.

Para efectuar esta investigación se pretende realizar análisis por simulación del sistema de climatización en el edificio de postgrados de la Universidad de la Costa por medio del uso del software DesingBuilder® y de esta manera analizar la energía que consume el edificio.

En un mundo cada vez más poblado en algunos países como Estados Unidos en el cual la tasa de natalidad es mayor que la tasa de mortandad (Banco Mundial, 2017) y donde las ciudades importantes tienden a habitar una gran cantidad de personas, los edificios se han multiplicado alcanzando un puesto dentro de la sociedad muy importante, sin embargo cabe resaltar que el campo administrativo de las compañías juega un papel importante dentro del progreso de un país y por lo tanto son los más ocupados la mayor parte del día y por

consiguiente, se le exigen a estas áreas ser lo más confortables posibles para así contribuir de manera implícita al progreso y las buenas gestiones de las compañías.

Sin embargo, hay que tener en cuenta criterios energéticos adecuados para continuar con la construcción de edificaciones basadas en el uso racional de la energía en todos sus aspectos, iluminación, acondicionamiento de aire, entre otros. La aplicabilidad de estos criterios fomenta un equilibrio entre la expansión de las compañías e instituciones educativas y el consumo energético de las edificaciones. Existen distintos equipos de medición que nos determinan los valores necesarios para establecer los parámetros reales del aire a analizar y así determinar los equipos de climatización, como lo son: el higrostató, el anemómetro, el termómetro entre otros.

El estudio de la carga energética en un edificio y la variabilidad de las mismas ha sido uno de las consideraciones hoy en día a tener en cuenta al momento de diseñar los sistemas de acondicionamiento de aire de un recinto y con base a ese estudio determinar la capacidad de los equipos de acondicionamiento de aire donde el principal objetivo es disminuir el consumo de energía eléctrica y mantener un ambiente de confort para las personas. A diferencia de años anteriores, estos sistemas carecían de estos estudios lo que provocaba efectos negativos en el consumo de energía, confort, bienestar de las personas, entre otros.

Por este motivo, el principal objetivo de este trabajo de investigación, es establecer los parámetros necesarios para el dimensionamiento del sistema de aire acondicionado de manera eficiente teniendo en cuenta la variabilidad de la demanda energética en diferentes periodos de tiempo y ofrecer recomendaciones al momento de seleccionar los equipos y así de esta manera garantizar el uso eficiente de la energía sin verse afectado el confort de las personas.

## 1. Planteamiento del problema

Con el propósito de seguir mejorando la educación en la costa caribe colombiana se creó el 16 de noviembre de 1970, la Universidad De La Costa, una entidad de educación superior con personería Jurídica, resolución No. 352 del 23 de abril de 1971 y reconocida como Universidad mediante resolución 3235 del 28 de marzo de 2012 expedida por el MEN dedicada a la formación integral de profesionales en las áreas de la ciencia, la tecnología, las humanidades, el arte y la filosofía. Actualmente se encuentra ubicada con sede principal en la calle 58 # 55 – 66 Barrio Abajo en la ciudad de Barranquilla.

La constante búsqueda de la excelencia académica por parte Universidad De La Costa, conlleva a la preparación de los docentes en el ámbito académico y en la investigación para así obtener personal altamente calificado y cualificado, y brindar una formación integral bajo los más altos estándares de calidad educativa a nivel nacional e internacional. De igual manera, las mejoras del alma mater son de suma importancia para brindarle al personal docente y estudiantes aulas cómodas para así obtener una mayor concentración durante la clase. En búsqueda de una educación de alta calidad, La Universidad De La Costa ha invertido en los últimos años en infraestructura física y mejoramientos constantes de la planta física para la apertura de nuevos programas de postgrados y así brindarles a sus estudiantes la posibilidad de seguirse preparando para los nuevos retos y exigencias en el ámbito laboral y por consiguiente en el campo de la investigación (Universidad de la Costa, 2015).

Una de las grandes construcciones que se dieron dentro del plan de mejoramiento por parte de la Universidad, fue la construcción del Bloque 11 o Edificio de postgrados. Sin embargo, se ha observado constantemente que los vidrios tienden empañarse durante el día y la noche debido a la condensación que se produce por la diferencia de temperaturas entre el medio externo e interno del edificio producto del uso de aire acondicionado. Esto puede estar asociado a diferencias a la temperatura y la humedad, condicionado por el diseño del sistema

de aire acondicionado o la forma en que se opera el mismo por parte de los administradores. Velar por posibles fallas en el diseño o sobredimensionamiento del sistema de acondicionamiento del edificio, evita un alto consumo de energía eléctrica y por tanto, se podrá garantizar ahorros energéticos y confort térmico. Esto motiva a realizar en este trabajo, el estudio en el sistema de aire acondicionado en el edificio de posgrados de la Universidad de la Costa, para lograr identificar posibles una mejora energética.

**¿El sistema de aire acondicionado del edificio de postgrados de la Universidad de la Costa responde a las exigencias de la demanda y eficiencia energética necesaria para la edificación?**

## **2. Justificación**

Las edificaciones actualmente son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía a nivel mundial, donde gran parte del uso de la energía obedece al comportamiento de los sistemas de climatización, responsables de garantizar las condiciones de confort interno necesario para el desarrollo de las actividades cotidianas (Revista Construdata, 2010). En el caso de las Instituciones educativas, estas actividades se concentran en recintos adecuados para actividades académicas y administrativas (Balbis, 2010). Las condiciones de confort para uso en edificios educativos no han sido estudiadas en condiciones de climas tropicales, debido a que no existen políticas encaminadas a garantizar condiciones de calidad de aire en ambientes internos. De la misma manera, no existen registros sobre el impacto energético que se puede obtener cuando se garantizan las condiciones de confort siguiendo normativas internacionales.

El propósito del presente proyecto investigativo es verificar que el sistema de aire acondicionado actual del Bloque 11 de la Universidad de la Costa cumpla con los requerimientos de la demanda del edificio.

### **3. Objetivos**

#### **3.1 Objetivo general**

Evaluar alternativas de reducción del consumo energético en el sistema de climatización del edificio de postgrados de la Universidad de la Costa.

#### **3.1 Objetivos específicos**

- Desarrollar un modelo para simulación del sistema de climatización del edificio de postgrados de la Universidad de la Costa.
- Establecer el comportamiento de la demanda energética del edificio bajo las condiciones estándar recomendadas por la ASHRAE y dos tecnologías de climatización.
- Identificar oportunidades de ahorro de energía en la operación del sistema de climatización del edificio de postgrados de la Universidad de la Costa.

#### **4. Alcance**

El desarrollo de este trabajo de grado se basa en la evaluación del sistema de aire acondicionado instalado en el Bloque 11 de la Universidad de la Costa de alternativas de ahorro en el consumo de energía , para obtener los resultados esperados dentro del proyecto, primeramente, se realizará una inspección al edificio de postgrados con el fin de recopilar toda la información necesaria que demandará el proyecto cómo su levantamiento arquitectónico, sus características constructivas, horario de uso entre otros. Con base a esa información y soportados en simulaciones de comportamiento energético como el software DesignBuilder® se determinará las cargas térmicas del edificio y se observará su variabilidad durante el tiempo de uso del mismo.

## **5. Aspectos metodológicos**

El primer paso a seguir en toda investigación es la revisión del estado del arte para contemplar lo que se desarrolla en otros lugares, y más importante aún como se ejecuta. Por este motivo, el primer paso fue la búsqueda bibliográfica existente sobre el tema a nivel nacional e internacional con el fin de situarnos en estado de arte de los estudios sobre análisis energéticos y sistemas de climatización aplicados para la eficiencia energética.

La segunda parte del trabajo consto de un análisis del edificio mediante mediciones en sitio para conocer su funcionamiento y eficacia en los consumos de energía del sistema de climatización del bloque 11.

La tercera parte del trabajo son las simulaciones computacionales en el programa DesingBuilder para modelar el comportamiento del edificio frente a diversos sistemas de refrigeración.

## 6. Estado del arte

Para desarrollar la investigación es preciso partir de una base teórica, que se fundamenta en conceptos y estudios que han realizado distintos autores expertos en el tema, partiendo de una lógica de lo general a lo particular.

Existe una diversidad de definiciones de arquitectura con perspectivas distintas. No obstante, podemos tener una conceptualización que viene muy bien para el presente trabajo de investigación: “Aquella envolvente que no sólo, delimita espacios que el hombre necesita para el desarrollo de su vida cotidiana, sino que, también, los dota de las condiciones de confort necesarias para tal fin”. (Núñez Carrasco, 2012).

En base a lo anterior el mismo autor en su libro bioclimática, sostenibilidad y ahorro de energía, afirma lo siguiente:

“Los espacios interiores generados por la arquitectura, deben estar dotados de las condiciones de temperatura y humedad necesarias para poder desarrollar, en una situación de confort, las actividades para las que fueron diseñados”. (Núñez Carrasco, 2012).

A nivel mundial, el consumo de energía en los edificios representa uno de los sectores más consumidores, pues oscila entre un 20 y 40% con una tendencia a aumentar. Esto debido al aumento de la demanda de instalaciones a medida que crece la población y los estándares de confort para la misma, que se ven reflejados en un mayor consumo per cápita. Por ejemplo, en el 2004 el 37% de la energía total se consumió en los edificios de la Unión Europea, sobrepasando el sector del transporte y la industria (Luis Pérez-Lombard, 2008). Por otro lado, el Departamento de Energía de los Estados Unidos pronostica que en los próximos 20 años el sector de la construcción incrementará su demanda energética un 34%, y que para el sector comercial la demanda se duplicará en 25 años (Luis Pérez-Lombard, 2008).

Respecto a la energía en los edificios del sector comercial, los que desarrollan actividades de oficina y ventas al por menor son los mayores consumidores de energía

eléctrica. De hecho para el sector comercial, en Estados Unidos consumen cerca del 18% de la energía, siendo la principal causa el uso de equipos de cómputo, iluminación artificial y climatización (Luis Pérez-Lombard, 2008). En la Tabla 6.1 se puede apreciar una comparación del uso de los edificios en el sector comercial.

Tabla 6.1

*Distribución de edificios del sector comercial por uso de Energía 2013.*

<b>Tipo de inmueble</b>	<b>Estados Unidos (%)</b>	<b>España (%)</b>	<b>Reino Unido (%)</b>
Comercio al por menor	32	22	22
Oficinas	18	33	17
Hoteles y Restaurantes	14	30	16
Escuelas	13	4	10
Hospitales	9	11	6
Ocio	6	0	6
Otros	8	0	23

Notas: *Elaboración propia. Tomado de Una revisión sobre información de consumo de energía en edificios. Energía y Edificios, 40, 394-398 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>)*

Mientras que para los edificios que realizan actividades de oficina, los principales consumos de energía eléctrica se deben a los dispositivos de luz artificial y sistemas de aire acondicionado para las áreas de trabajo. Estas condiciones son representativas en la mayoría de los edificios, así como se muestra en la Tabla 6.2.

Tabla 6.2

*Distribución del consumo de energía en edificios de oficinas o administrativos.*

<b>Uso final de la Energía</b>	<b>Estados Unidos (%)</b>	<b>España (%)</b>	<b>Reino Unido (%)</b>
HVAC	48	52	55
Iluminación	22	33	17
Equipos	13	10	5
ACS	4	0	10
Preparación de comidas	1	0	5
Refrigeración	3	0	5
Otros	10	5	4

*Notas: Elaboración Propia. Tomado de Una revisión sobre información de consumo de energía en edificios. Energía y Edificios, 40, 394-398 (<http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2007.03.007>)*

## 7. Marco regulatorio colombiano

En la actualidad existen marcos regulatorios que obligan y fomentan el URE en las edificaciones para lograr un ahorro energético, estableciendo requisitos, exigencias de funcionalidad y criterio básicos de calidad, en donde se abarca las nuevas edificaciones y la adecuación de las existentes teniendo en cuenta factores ambientales, económicos, energéticos y técnicos. También se incluyen criterios en cuanto a seguridad estructural, en caso de incendio y de utilización, higiene, salud, aislamiento térmico, protección del medio ambiente y contra ruido. De igual manera en algunos códigos se anexan reglamentos más específicos en función de la aplicación de la infraestructura, los cuales tienen la función de complementarlos, esto para lograr que las edificaciones sean más sostenibles, eficientes y modernas.

Las políticas de eficiencia energética se han venido incentivando a través del tiempo con el propósito de crear medidas que ayuden a solventar el cambio climático y la disminución de gases de efecto invernadero asociado al sector energético, obligando a los diferentes agentes energéticos y partes interesadas en el uso racional de la energía.

Como estrategia, el marco legal colombiano ha dispuesto de la ley 697 de 2001, en la cual se establecen el Uso Racional de la Energía (URE), bajo esta premisa el estado debe garantizar, promover, organizar, desarrollar y dar seguimiento a su implementación por medio del Ministerio de Minas y Energía. Una de las principales consecuencias de esta ley fue el desarrollo y la implementación de reglamentos técnicos tales como el RETIE, RETILAP y RETIQ, integrando cada vez con mayor grado criterios y requisitos asociados a la eficiencia energética.

En continuación de la política se observa la necesidad de implementar un lineamiento técnico que permita establecer requisitos acerca de las instalaciones térmicas. Colombia cuenta con diversos pisos térmicos en los cuales es propensa la instalación de

acondicionadores de aire en áreas internas y externas, controladores térmicos de agua para uso sanitario y piscinas, teniendo incidencia en el bienestar térmico e higiene de la población que está expuesta a este tipo de acondicionamientos; siendo entonces, el establecer criterios de diseño de instalaciones y la selección de equipos, principal objetivo para la política energética, aprovechando de manera óptima los elementos que componen la instalación.

Debido a las razones anteriores la Asociación Colombiana del Aire Acondicionado y la Refrigeración (ACAIRE) y la Asociación Colombiana de Ingenieros (ACIEM) han planteado una propuesta reglamentaria ante el Ministerio de Minas y Energía, el Ministerio de Medio Ambiente y el Ministerio de Comercio y Vivienda, por estar relacionados directamente con el bienestar de las personas, medio ambiente y el buen uso de la energía. Estas asociaciones partieron principalmente del RITE español (reglamento técnico de instalaciones térmicas en edificaciones) el cual tiene como objetivo "...establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento.", siendo para el regulador colombiano necesario evaluar y validar la propuesta planteada, ya que las condiciones climáticas, los elementos y los valores nominales de potencia, así como las demandas energéticas son muy diferentes a las de España (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, 2013).

A partir de lo anterior se evaluará y definirá la viabilidad de la propuesta planteada por el sector privado para la implementación de un reglamento técnico de instalaciones térmicas en edificaciones RITE para Colombia.

## 8. Marco Teórico

En la antigüedad, los egipcios ya utilizaban sistemas y métodos para reducir el calor. Se utilizaba principalmente en el palacio del faraón, cuyas paredes estaban formadas por enormes bloques de piedra, con un peso superior a mil toneladas. Durante la noche, tres mil esclavos desmantelaban las paredes y acarreaban las piedras al Desierto del Sahara. Como el clima desértico es extremo y la temperatura disminuye a niveles muy bajos durante las horas nocturnas, las piedras se enfriaban notablemente. Justo antes de que amaneciera, los esclavos acarreaban de regreso las piedras al palacio y volvían a colocarlas en su sitio. Se supone que el faraón disfrutaba de temperaturas alrededor de los 26°C, mientras que afuera el calor subía hasta casi el doble. Por esa época, un impresor de Brooklyn, Nueva York, tenía serias dificultades durante el proceso de impresión, debido a que los cambios de temperatura y humedad en su taller alteraban ligeramente las dimensiones del papel, impidiendo alinear correctamente las tintas. El frustrado impresor no lograba imprimir una imagen decente a color.

Carrier, recién graduado de la Universidad de Cornell con una Maestría en Ingeniería, acababa de ser empleado por la Compañía Buffalo Forge, con un salario de 10 dólares semanales. El joven se puso a investigar con tenacidad cómo resolver el problema y diseñó una máquina que controlaba la temperatura y la humedad por medio de tubos enfriados, dando lugar a la primera unidad de aire acondicionado de la Historia (Carrier, 2018).

En 1911, Carrier reveló su Fórmula Racional Psicométrica Básica a la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. La fórmula sigue siendo hoy, la base de todos los cálculos fundamentales para la industria del aire acondicionado.

En 1915, entusiasmados por el éxito, Carrier y seis amigos ingenieros reunieron 32,600 dólares para formar la Compañía de Ingeniería Carrier, dedicada a la innovación tecnológica de su único producto, el aire acondicionado.

Durante aquellos años, su objetivo principal fue mejorar el desarrollo de los procesos industriales con máquinas que permitieran el control de la temperatura y la humedad. Por casi dos décadas, el uso del aire acondicionado estuvo dirigido a las industrias, más que a las personas. En 1921, Willis Haviland Carrier patentó la Máquina de Refrigeración Centrífuga. También conocida como enfriadora centrífuga o refrigerante centrifugado, fue el primer método para acondicionar el aire en grandes espacios (Carrier, 2018).

Las máquinas anteriores usaban compresores impulsados por pistones para bombear a través del sistema el refrigerante, a menudo amoníaco, tóxico e inflamable. Carrier diseñó un compresor centrífugo similar a las paletas giratorias de una bomba de agua. El resultado fue un enfriador más seguro y eficiente. El nuevo sistema se estrenó en 1924 en la tienda departamental Hudson de Detroit, Michigan. Los asistentes a la popular venta de sótano se sentían mareados por el calor debido al pésimo sistema de ventilación, por lo que se instalaron tres refrigerantes centrifugados Carrier para enfriar el piso.

En 1928, Willis Haviland Carrier desarrolló el primer equipo que enfriaba, calentaba, limpiaba y hacía circular el aire para casas y departamentos, pero la Gran Depresión en los Estados Unidos puso punto final al aire acondicionado en los hogares. Las ventas de equipos para uso residencial no empezaron hasta después de la Segunda Guerra Mundial. A partir de entonces, el confort del aire acondicionado se extendió a todo el mundo.

El calor y el frío que sienten las personas no sólo dependen de la temperatura ambiental, sino también de la humedad y de la apropiada distribución del aire.

La climatización es el proceso de tratamiento del aire que controla simultáneamente su temperatura, humedad, limpieza y distribución para responder a las exigencias del espacio climatizado. El calor es una forma de energía relacionada directamente con la vibración molecular. Cuando calentamos una sustancia, sus moléculas se mueven rápidamente, generando así una energía, el calor. Si la enfriamos, el movimiento molecular se detiene,

bajando la temperatura. La humedad se refiere a la cantidad de agua contenida en el aire y está directamente relacionada con la sensación de bienestar. El aire ambiente se controla para mantener la humedad relativa preestablecida mediante la humidificación o deshumidificación del aire ambiente. Para obtener el confort deseado, es necesario que el aire sea distribuido y circule uniformemente por todo el recinto, sin producir corrientes desagradables.

Por último, la eliminación de las partículas de polvo es fundamental para la salud. Conseguir un adecuado filtrado de aire es una labor básica de un equipo de aire acondicionado. Además de la comodidad que disfrutamos con el aire acondicionado en un día cálido y húmedo de verano, actualmente muchos productos y servicios vitales en nuestra sociedad dependen del control del clima interno, como los alimentos, la ropa y la biotecnología para obtener químicos, plásticos y fertilizantes.

El aire acondicionado juega un rol importante en la medicina moderna, desde sus aplicaciones en el cuidado de bebés y las salas de cirugía hasta sus usos en los laboratorios de investigación. Sin el control exacto de temperatura y humedad, los microprocesadores, circuitos integrados y la electrónica de alta tecnología no podrían ser producidos. Los centros computacionales dejarían de funcionar.

Muchos procesos de fabricación precisa no serían posibles. El vuelo de aviones y de naves espaciales sería solo un sueño. Minerales valiosos no podrían ser extraídos desde la profundidad de la tierra y los arquitectos no podrían haber diseñado los enormes edificios que han cambiado la cara de las ciudades más grandes del mundo.

El aire acondicionado inventado por Willis Haviland Carrier ha hecho posible el desarrollo de muchas áreas tropicales y desérticas del mundo, que dependen de la posibilidad de controlar su medio ambiente.

## **8.1 Acondicionamiento de aire**

El acondicionamiento de aire es un proceso combinado, el cual involucra muchas funciones como las condiciones del aire, su transporte, el cómo introducirlo al espacio que se va a acondicionar. Además involucra el calentamiento o enfriamiento desde una unidad encargada de mantener la temperatura, la humedad, el caudal de aire, la limpieza del mismo, así como también el nivel de ruido y la presión para que este proceso sea confortable para el usuario dentro de los parámetros establecidos en un lugar determinado (WANG, 2001).

Una de las formas en las cuales los sistemas de acondicionamiento de aire se pueden clasificar es de acuerdo a su construcción y a sus características de funcionamiento.

### **8.1.1 Carga térmica**

La determinación de la carga térmica de un recinto es muy importante al momento de especificar el equipo de refrigeración a usar, la carga térmica se define como el fenómeno que tiende a modificar tanto la temperatura como la humedad absoluta (Pizano, 1996) dentro del espacio a refrigerar y por consiguiente obtener la temperatura deseada, es decir que es la cantidad de flujo de calor que se retira de un espacio determinado, normalmente se encuentra expresado en BTU/hr.

La carga térmica depende mucho de las características físicas de los objetos y personas, por lo tanto, es muy importante determinar este factor antes de la adquisición de los equipos debido a su papel indispensable dentro del proceso de diseño de un sistema de acondicionamiento de aire.

#### ***8.1.1.1 Calor sensible.***

El calor sensible es aquel que recibe un objeto o un cuerpo determinado y logra que aumente su temperatura sin intervenir o afectar su estructura molecular y por ende su estado

físico. Se ha logrado comprobar experimentalmente que la cantidad necesaria para calentar o enfriar un cuerpo, es directamente proporcional a la masa del cuerpo y a la diferencia de temperaturas. La constante de proporcionalidad recibe el nombre de calor específico. Entonces se considera que el calor sensible está relacionado con un cambio de temperatura sin cambio de fase.

$$Q = 1,08 (v * \Delta T * n) \quad (1)$$

*Dónde:*

$Q$  = Calor transferido (Btu/h)

$v$  = Flujo del aire (CFM)

$\Delta T$  = Diferencia de temperatura del aire (°F)

$n$  = Eficiencia

#### **8.1.1.2 Calor latente**

El calor latente es todo lo opuesto al calor sensible, es decir que es el calor que se suministra por el efecto del aumento de temperatura sin que sea notado, ya que por lo general la sustancia a la que se le aplica no aumentará su temperatura a pesar de estar entregándole calor. Tal como sucede en el cambio de fase de hielo a agua líquida y de agua líquida a vapor (Cálculos de cargas térmicas, 2017).

$$Q = m * L \quad (2)$$

*Dónde:*

$Q$  = Cantidad de calor (cal) o (J)

$m$  = Masa (gr) o (Kg)

$L$  = Calor latente (cal/gr) o (J/kg)

### **8.1.2 Cargas de Refrigeración.**

Las cargas de refrigeración generalmente se pueden dividir en exteriores e interiores, dependiendo de cuál sea la procedencia del factor de contribución de flujo calórico.

#### ***8.2.2.1 Cargas exteriores.***

A través de paredes, techos y suelos. En la cual la transferencia de calor por las superficies del edificio aportará un calor que aumentará la temperatura del aire contenido en el recinto. Este tipo de carga se considerará sensible.

Carga a través de superficies de cristal, claraboyas y ventanales. Existe una transmisión de calor a través de superficies semitransparentes, y por ende existe una transmisión de calor por radiación importante.

Carga por ventilación. En algunas instalaciones se toma aire externo, ya sea para mantener el aire a un grado determinado de pureza o para facilitar el oxígeno necesario para la respiración. Este aire se encuentra a diferente temperatura y contiene distinto porcentaje de vapor de agua que el aire del presente en el sitio.

Carga por filtración. En los edificios siempre hay una cantidad de aire exterior no controlado que ingresa a través de las ventanas y puertas, las cuales aportan calor latente y sensible al lugar (Ojer, 1996).

#### ***8.2.2.2 Cargas interiores.***

Las cargas por ocupantes: Los seres humanos, teniendo en cuenta la actividad que se esté ejecutando y la temperatura ambiente a la que se encuentren, disipan una cierta cantidad de calor. Esta carga se da bajo forma sensible y latente.

Las cargas por Iluminación: La iluminación produce consumo de energía, la cual se transforma a en energía térmica. Esta incide en la edificación bajo la forma de carga sensible.

**Cargas debido a máquinas y motores:** La cantidad de calor que depende de la naturaleza de la máquina. Sin embargo, son capaces de aportar tanto carga sensible como latente. (Bolívar & Martínez, 2014).

### 8.2.3 Métodos de cálculo de carga térmica

Existen entidades que han desarrollado diferentes metodologías para el cálculo de carga térmica, debido a la gran cantidad de variables que existe para el desarrollo del cálculo, cada método de cálculo de la carga térmica, tienen sus ventajas y limitaciones sin embargo todo se puede agrupar en dos grandes términos, simplicidad y exactitud. La simplicidad y la exactitud del método son dos objetivos que se contraponen. Si se pudiese considerar que un método es simple, su exactitud sería cuestión de interrogante, y viceversa. Sin embargo existe una correlación entre estos métodos estándar para el cálculo de carga térmica; se basan en el cálculo de cada hora de la carga térmica.

Estos métodos fueron diseñados por ASHRAE, CIBSE y VDI, instituciones especializadas en refrigeración de Norteamérica, Inglaterra y Alemania respectivamente, los cuales han desarrollado los siguientes métodos:

- El Método de Balance de Calor (ASHRAE, Fundamentals Handbook, 2001)
- La Serie de Tiempo Radiante (ASHRAE, Fundamentals Handbook, 2001)
- El método CLTD/SCL/CLF (ASHRAE, Fundamentals Handbook, 1997)
- El Método de Admitancia (CIBSE 1986)
- Los métodos VDI (VDI 1996)

Los dos primeros métodos, los más recientes presentados por ASHRAE, son metodologías más exactas, debido al cálculo de las mayorías de las variables, sin embargo, debido a lo anterior también es su desventaja, ya que, se necesitaría la ayuda de una computadora (software especial) para realizar los cálculos, además que la precisión del método hace que se deba tomar muchas variables ya sea de temperatura (Balance de Calor) o de tiempo (Tiempo Radiante). Los métodos presentados por CIBSE y VDI, son metodologías simples de fácil realización, sin embargo, no son aplicables a esta región del planeta debido que fueron diseñados específicamente para las regiones de estas instituciones (Inglaterra y Alemania respectivamente), en el caso del método de admitancia (CIBSE), se presenta sobredimensión y además, se obviaron algunos puntos de importancias para la metodología ASHRAE la cual está basada esta metodología. Estas metodologías sin embargo, son válidas y reconocidas para su utilización en cualquier tipo de situación, pero, para la realización de este estudio se aplicara unos de los primeros métodos para el cálculo de carga térmica, el método CLTD/SCL/CLF.

#### **8.2.4 Transferencia de calor.**

Cuando dos cuerpos que tienen distintas temperaturas se ponen en contacto entre sí, se produce una transferencia de calor desde el cuerpo de mayor temperatura al de menor temperatura. La transferencia de calor se puede realizar por tres mecanismos físicos: conducción, convección y radiación (Witt, 2000).

##### **8.2.4.1 Radiación**

Mientras que la conducción y la convección térmica tienen lugar sólo a través de un medio natural, la Radiación térmica puede transportar el calor a través de un fluido o del vacío, en forma de ondas electromagnéticas o fotones como resultado de los cambios en las

configuraciones electrónicas de los átomos o moléculas, estos se propagan a la velocidad de la luz (Witt, 2000).

La cantidad de energía que abandona una superficie en forma de calor radiante depende de la temperatura absoluta a la que se encuentra y también la naturaleza de la superficie. El radiador perfecto o cuerpo negro, emite una cantidad de energía radiante de su superficie,  $Q_r$ . (Witt, 2000)

$$Q_r = \sigma A T^4 = A E_b \quad (3)$$

*Donde:*

$E_b$  = poder emisivo del radiador.

$\sigma$  = constante dimensional de Stefan – Boltzmann

$5,67 \times 10^{-8} \text{ w/m}^2 \text{ K}^4$  Para el sistema internacional (SI)

$0,1714 \times 10^{-8} \text{ BTu/h pie}^2$  Para el sistema americano de ingeniería.

La ecuación anterior dice: que toda superficie negra irradia calor proporcionalmente a la cuarta potencia de su temperatura absoluta. Siendo la emisión independiente de las condiciones de los alrededores, la evaluación de una transferencia neta de energía radiante requiere una diferencia en la temperatura superficial de dos o más cuerpos entre los cuales tiene lugar el intercambio.

Si un cuerpo negro irradia calor a un recinto que la rodea completamente y cuya superficie es también negra, es decir, absorbe toda la energía radiante que incide sobre él (Witt, 2000).

### 8.2.4.2 Conducción.

La conducción, es el único mecanismo de transmisión de calor posible en los medios sólidos opacos, cuando en estos cuerpos existe un gradiente de temperatura. El calor se transmite de la región de mayor temperatura a la de menor temperatura, debido al movimiento cinético o el impacto directo de las moléculas como en el caso de los fluidos en reposo o por el arrastre de los electrones como sucede en los metales (Witt, 2000).

La ley básica de la conducción del calor (Joseph Fourier), establece: “La tasa de transferencia de calor por conducción en una dirección dada es proporcional al área normal a la dirección del flujo de calor y al gradiente de temperatura en esa dirección”.

$$Q_x = -K A \frac{\partial T}{\partial x} \left( \frac{BTu}{h}, w \right) \quad (4)$$

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = -K \frac{\partial T}{\partial x} \left( \frac{BTu}{h \cdot pie^2}, \frac{w}{m^2} \right) \quad (5)$$

*Dónde:*

$Q_x$  = Tasa de flujo de calor a través del área A en la dirección positiva.

$K$  = Conductividad térmica  $\frac{w}{m \cdot k}$ ,  $\frac{BTu}{h}$ ,  $pie^{\circ}R$

$A$  = Área de sección transversal de la transferencia de calor

$\frac{\partial T}{\partial x}$  = Gradiente de temperatura.

El flujo real de calor depende de la conductividad térmica (k), que es una propiedad física del cuerpo. El signo (-) es consecuencia del segundo principio de la termodinámica, según el cual el calor debe fluir hacia la zona de temperatura más baja. El gradiente de temperatura es negativo si la temperatura disminuye para valores crecientes de x, por lo que el calor transferido de la dirección positiva debe ser una magnitud positiva, por lo tanto, al segundo miembro de la ecuación anterior hay que introducir un signo negativo.

### 8.2.4.3 Convención.

Cuando un fluido a  $T_F$  se pone en contacto con un sólido cuya superficie de contacto está a una temperatura distinta  $T_S$ , al proceso de intercambio de energía térmica se denomina convección. Existen dos tipos de convección:

**Convección libre o natural**, ocurre cuando la fuerza motriz procede de la variación de densidad en el fluido como consecuencia del contacto con una superficie a diferente temperatura, lo que da lugar a fuerzas ascensionales, el fluido próximo a la superficie adquiere una velocidad debida únicamente a esta diferencia de densidades, sin ninguna fuerza motriz exterior.

Ejemplo: La convección en un tanque que contiene un líquido en reposo en el que se encuentra sumergida una bobina de calefacción.

**Convección forzada**, tiene lugar cuando una fuerza motriz exterior mueve un fluido con una velocidad ( $v$ ), sobre una superficie que se encuentra a una temperatura  $T_s$  mayor o menor que la del fluido  $T_f$ , como la velocidad del fluido en la convección forzada es mayor que en la convección natural, se transfiere por lo tanto, una mayor cantidad de calor para una determinada temperatura.

Independiente de que la convección sea natural o forzada, la cantidad de calor transmitido  $Q_c$ , se puede escribir (Ley de enfriamiento de Newton)

$$Q_C = h A (T_S - T_F) \quad (6)$$

*Dónde:*

$h$  = Coeficiente de transmisión del calor por convección en la interface líquido – sólido ( $w/m^2 k$ )

$A$  = Área superficial en contacto con el fluido ( $m^2$ )

La ecuación anterior sirve como definición de (h), su valor numérico se tiene que determinar analítica o experimentalmente.

### **8.2.5 Carga por temperatura diferencial.**

En 1975 ASHRAE desarrolló un método denominado cálculo de carga por temperatura diferencial / factores de carga de enfriamiento CLTD/CLF que se derivó del método de Función de Transferencia o TFM (por sus siglas en inglés), el cual fue introducido en 1967. El método del CLTD/CLF depende de datos tabulados para simplificar su operación para el uso manual. Este método fue sometido a varias revisiones para acomodar los problemas que aumentaron en aproximaciones y limitaciones para cubrir más datos tabulados precisos. Debido a esto, ASHRAE publicó el cálculo de carga por temperatura diferencial/carga solar de enfriamiento/factores de carga de enfriamiento (CLTD/SCL/CLF) (ASHRAE, Fundamentals Handbook, 1997) el cual es un método revisado del CLTD/CLF. Este es un método simplificado, más simple que el RTS.

**Características Principales:** La temperatura del aire se asume como constante y se usan tres factores para hallar las ganancias de calor: por conducción, por calor solar, y las ganancias internas, las cuáles son respectivamente, CLTD/SCL/CLF. Esos factores se calculan usando el método de función de transferencia (TFM) y considera cargas térmicas para las condiciones ambientales estándar y los tipos de zona.

#### **Suposiciones**

- La temperatura de aire del sol es asumida por el aire exterior
- La temperatura de aire está tomada como una constante

#### **Metodología**

Este método utiliza datos tabulados de CLTD (cálculo de carga de temperatura diferencial), SCL (factor solar de carga térmica), y CLF (factor de carga térmica), los cuales incluyen el efecto de:

Intervalos de tiempo generado por conducción a través de superficies exteriores opacas.

El tiempo de retraso del almacenamiento térmico en la conversión generado por radiación a carga térmica. Esta simplificación genera que la carga térmica se pueda calcular manualmente. Los datos son generados con factores del material de diseño y coeficientes de transferencia por conducción, el cuál produce cargas térmicas en condiciones ambientales estándar y los tipos de zona. Las cargas térmicas son estandarizadas para condiciones especificadas de una zona, así será posible calcular las cargas térmicas para cada hora con una multiplicación simple.

### **Ventajas**

- Un método simplificado
- Más apropiados para ser un método de cálculo manual incluyendo uso de la hoja de cálculo (Excel).
- Los resultados del local pueden tener mayor exactitud usando las tablas disponibles, las cuales contienen la mayoría de las edificaciones comunes, o usando un programa de computadora se puede generar un set de tablas para una zona específica, latitud y mes.

### **Desventajas**

- El ajuste para una pared o techo que no corresponde a uno de los grupos listados es una fuente de errores.
- La inexactitud de corregir para otros meses y otras latitudes.

### 8.2.6 Psicrometría.

El método de cálculo no es el paso final para determinar la carga que necesita un espacio para estar acondicionado, debido que, lo determinado en los cálculos fue la carga térmica generada en el local, y no se tuvo en cuenta las propiedades del aire en el espacio ni el proceso que se quiere realizar para acondicionar el espacio, por lo tanto, el paso final debe ser la psicrometría.

La Psicrometría es la ciencia que trata sobre las leyes físicas de las mezclas de aire – agua. Para poder diseñar un sistema de aire acondicionado, se debe conocer la temperatura y la humedad relativa del aire a ser condicionado, así como también las mismas propiedades del aire requerido para producir el efecto deseado de aire acondicionado. Una vez conocidas estas propiedades, se podrá determinar la tarea del aire acondicionado. Este análisis puede realizarse con el uso de una carta psicrométrica. La carta psicrométrica muestra gráficamente diversas propiedades físicas del aire en un amplio rango de condiciones. Su empleo es universal por que presenta una gran cantidad de información en forma muy sencilla y por lo que ayuda a estudiar los procesos de acondicionamiento de aire. A primera vista, la gráfica psicrométrica aparenta ser una complicada red de líneas entrelazadas. Sin embargo, cuando se utiliza apropiadamente, proporciona valiosa información acerca de las propiedades del aire. Para utilizar la carta psicrométrica, se debe conocer por lo menos 2 de los 7 puntos de la tabla: Temperatura de Bulbo seco (TBS o DB), Temperatura de Bulbo húmedo (TBH o WB), Humedad Relativa (HR), Humedad del aire (W), Volumen específico (v), Entalpía (h) y caída de presión ( $\Delta P$  o dp) para poder colocar el punto del proceso en la tabla (condición inicial).

Si se presentan cambios en el contenido de calor o en el contenido de humedad del aire, el punto de la gráfica psicrométrica que representa la condición original del aire se desplaza a una posición que representa la nueva condición de temperatura y/o humedad, estas son llamadas líneas de proceso, las cuales determinan que proceso se está llevando a cabo

(Enfriamiento, calefacción, humidificación y/o des humidificación). En la figura 1 se muestra la carta psicrométrica.

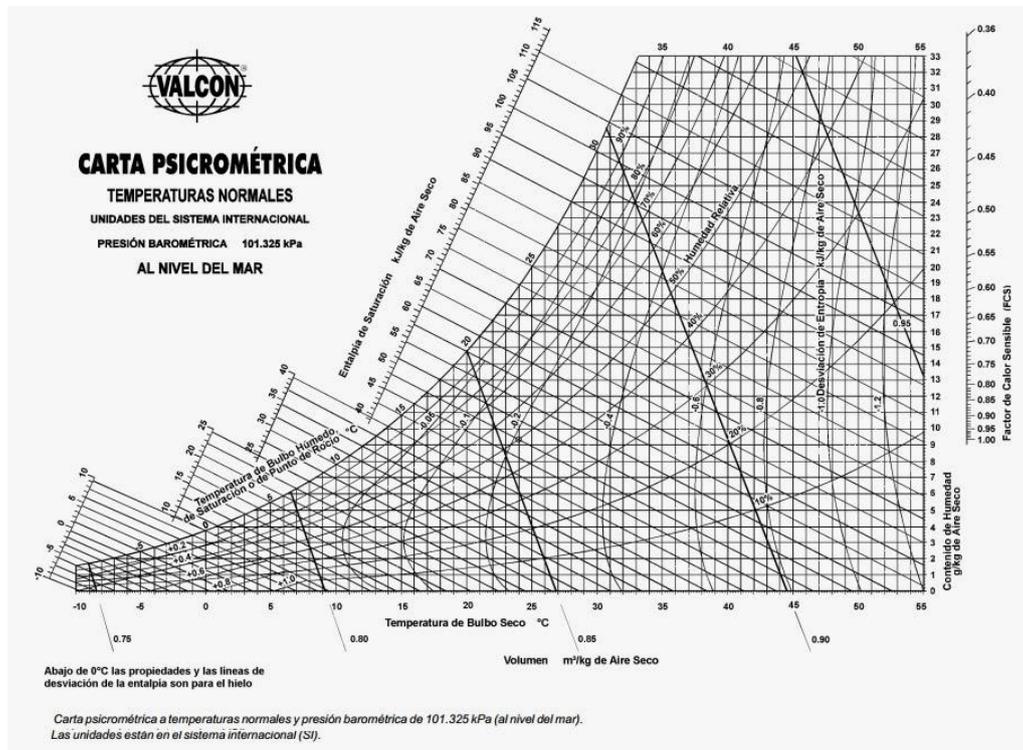


Figura 8.1 Carta Psicrométrica. Por Carrier, 2018.

### 8.2.7 Confort.

Se podría definir confort como todo aquello que produce bienestar o comodidades. También según ASHRAE, se puede describir el confort térmico cualitativamente como la “condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico” (Madrigal et al., 2018). Cualquier sensación desagradable impide al ser humano concentrarse en lo que tiene que hacer. La mejor sensación global durante una actividad es la de no sentir nada, indiferente ante el ambiente. Esa situación de indiferencia ante el ambiente se puede definir como confort (Serrano, 2012).

Para conseguir el objetivo confort, primero se ha de observar el comportamiento del ser humano con el ambiente. Las proporciones de intercambio de calor ideales entre el ser humano y el ambiente son las siguientes:

Radiación: 45 – 50%

Convección: 20 – 25%

Evaporación: 15 - 20%

Conducción: 2 – 5%

A continuación se podrá observar un ejemplo de intercambio a alta temperatura

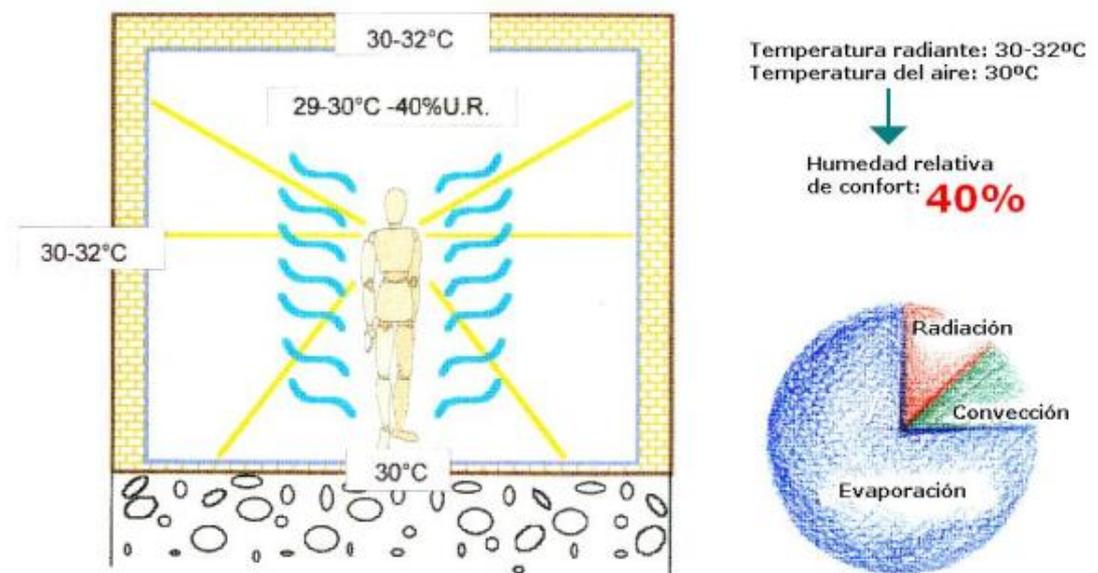


Figura 8.2 Intercambio de calor entre el ser humano y el ambiente a alta temperatura. Por Eficiencia Energética en el sector residencial y metodología para su calificación energética, 2018.

Se observa claramente que si en la vivienda de la figura 8.2 no se colocará ningún sistema de aislamiento adecuado ni de climatización no se cumpliría la condición de confort. El mayor intercambio se produciría mediante la evaporación, lo que se reflejaría en que el ser humano sudaría y eso es una sensación molesta. Por otra parte se puede observar como el intercambio por radiación es muy pequeño en comparación con la evaporación, esto es debido a que no puede intercambiar tanto calor con el ambiente, puesto que si el ambiente está sobre los 30°C y el cuerpo humano tiene una temperatura media de unos 36-37°C y la

temperatura de contacto de la piel es de unos 32°C, esto nos da poco margen para poder intercambiar calor con el medio. Es por ello que se necesita un sistema de climatización adecuado para evitar la sensación de calor y conseguir un bienestar termo higrométrico del cuerpo humano (Serrano, 2012).

En consecuencia, el caso contrario, en caso de tener una baja temperatura en el ambiente, es decir, si estamos en época de frío, pasaría el inverso y la persona en este caso tendría la sensación de frío. Se puede observar en las siguientes tablas la relación de temperaturas óptimas para actividades sedentarias en invierno y en verano según dos estudios realizados.

Tabla 8.1

*Intervalo de temperaturas en actividades sedentarias según Eatsman Kodak Company.*

<b>Estación del año</b>	<b>Temperatura mínima</b>	<b>Temperatura máxima</b>
Invierno	19°C	20°C
Verano	21°C	26°C

*Nota. Se presentan intervalos de temperatura de las actividades sedentarias. Elaboración Propia. Tomado de Eficiencia energética en edificios residenciales y metodología para su calificación energética pg. 11-12*

Tabla 8.2

*Intervalo de temperaturas en actividades sedentarias según Grandjea.*

<b>Estación del año</b>	<b>Temperatura mínima</b>	<b>Temperatura máxima</b>	<b>Humedad Relativa</b>
Invierno	20°C	21°C	>30%
Verano	20°C	24°C	40-60%

*Nota: Se presentan intervalos de temperatura de las actividades sedentarias. Elaboración propia. Tomado de Eficiencia energética en edificios residenciales y metodología para su calificación energética pg. 11-12*

Por lo tanto, se puede observar que el rango de temperaturas óptimas del ambiente que debemos conseguir es entre unos 20°C de mínima y unos 26°C de máxima, estas temperaturas serán con las que se podrán jugar a la hora de escoger el sistema de climatización más adecuado. En lo respectivo a la humedad del entorno se prefiere el rango de 30-60%.

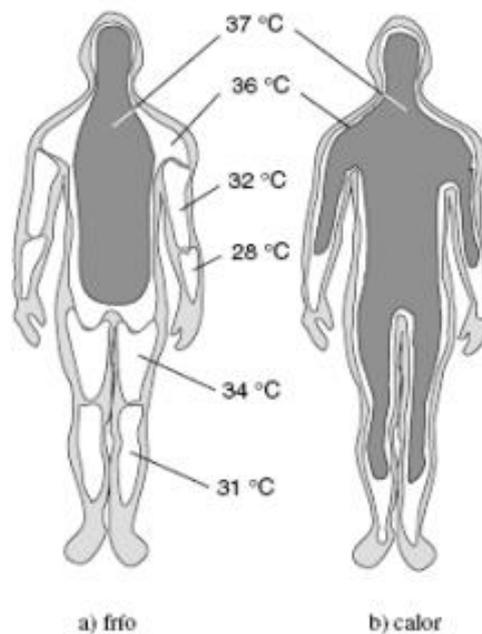


Figura 8.3 Temperatura del cuerpo humano: a. bajo condiciones de frío (20°-24°C) b. bajo condiciones de calor ( $\geq 35^{\circ}\text{C}$ ). Por Eficiencia Energética en el sector residencial y metodología para su calificación energética, 2018.

Según el reglamento de instalaciones térmicas en edificios (RITE), da unos parámetros de bienestar e higiene a cumplir (ACAIRE, Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones, 2017). Según el artículo 10 correspondiente a especificaciones técnicas de bienestar e higiene hemos de cumplir lo siguiente:

“Las instalaciones térmicas deben diseñarse y calcularse, ejecutarse, mantenerse y utilizarse de tal forma que se obtenga una calidad térmica del ambiente, una calidad del aire interior y una calidad de la dotación de agua sanitaria que sean aceptables para los usuarios del edificio sin que se produzca menoscabo de la calidad acústica del ambiente, cumpliendo los siguientes requisitos:

**Calidad térmica del ambiente:** las instalaciones térmicas permitirán mantener los parámetros que definen el ambiente térmico dentro de un intervalo de valores determinados con el fin de mantener unas condiciones ambientales confortables para los usuarios de las edificaciones.

**Calidad del aire interior:** las instalaciones térmicas permitirán mantener una calidad del aire interior aceptable, en los locales ocupados por las personas, eliminando los contaminantes que se produzcan de forma habitual durante el uso normal de los mismos, aportando un caudal suficiente de aire exterior y garantizando la extracción y expulsión del aire viciado.

**Higiene:** las instalaciones térmicas permitirán proporcionar una dotación de agua caliente sanitaria, en condiciones adecuadas, para la higiene de las personas.

Calidad del ambiente acústico: en condiciones normales de utilización, el riesgo de molestias o enfermedades producidas por el ruido y las vibraciones de las instalaciones térmicas, estará limitado.”

Además de darnos una introducción de los que hemos de cumplir nos da una instrucción técnica de diseño y dimensionado que será lo que se debe cumplir para el cálculo de la instalación. Es decir que según el RITE las condiciones de diseño interiores para actividades sedentarias serán las siguientes.

Tabla 8.3

*Condiciones de diseño para personas con actividad metabólica sedentaria.*

<b>Estación del año</b>	<b>Temperatura operativa</b>	<b>Humedad relativa</b>
Invierno	21-23°C	40-50%
Verano	23-25°C	45-60%

Notas: *Elaboración propia.*

### **8.3 Tecnologías de aires acondicionados**

Cuando hablamos de climatizar un recinto existen diferentes maneras de hacerlo teniendo en cuenta el mismo principio de refrigeración. El objetivo principal de la refrigeración es generar un ambiente de confort, para la industria en sus diferentes procesos que conlleven la utilización de este sistema. La refrigeración no solo es para el sector residencial y comercial, también es para el industrial. Existen distintos tipos de sistemas de

refrigeración con los mismos principios termodinámicos. En la actualidad existen un sin número de equipos que conforman el sistema de acondicionamiento de aire, anteriormente habíamos visto los componentes básicos de un sistema de refrigeración para tener un panorama más claro de la función principal de cada equipo, en cada etapa del ciclo de refrigeración.

Existen equipos de uso doméstico los cuales climatizan hasta 60 metros cuadrados por lo tanto su uso se concentran en casas, oficinas y comercios. El voltaje que utilizan es de 220Vac.

También existen equipos de uso comercial que climatizan desde los 60 a 120 metros cuadrados, generalmente se pueden encontrar en tiendas comerciales y oficinas de gran tamaño.

Y por último, los equipos industriales, que se usan para grandes espacios sobre los 120 metros cuadrados en adelante. Se pueden encontrar en los centros comerciales, supermercados, edificios, entre otros. Los equipos de tipo industrial se pueden clasificar en dos tipos: Expansión directa o expansión indirecta.

### **8.3.1 Expansión directa**

Son todos aquellos equipos que su vehículo o mecanismo de enfriamiento o calefacción es el mismo refrigerante.

### **8.3.2 Expansión indirecta**

Son aquellos equipos en el que el refrigerante no es el primer elemento que enfría o calienta la zona a climatizar. Como, por ejemplo, el principio de funcionamiento de un aire acondicionado es la compresión de un gas refrigerante que al circular por un circuito cerrado de refrigeración absorbe o disipa calor. Este es intercambiado con otro elemento ya sea con agua o aire. En el caso de la expansión directa el aire acondicionado intercambia energía con el Aire del medio ambiente a climatizar, por lo tanto, el vehículo de intercambio es el

refrigerante. Para los sistemas de expansión indirecta el aire acondicionado enfría o calienta otro vehículo que realizara el intercambio con la zona a climatizar (enfría agua y el agua enfría el aire de la zona a climatizar) (Castillo, 2014).

#### **8.4 Composición de un sistema de Climatización**

Existe una gran variedad de diseños y equipos para climatizar locales, por el hecho de que varios sistemas participan de características comunes, es muy difícil incluso hacer una clasificación con diferenciaciones claras entre unos y otros. Toda instalación de climatización se compone de tres partes diferenciadas: Producción térmica, Distribución, y Emisión en los locales; cuando en un mismo equipo están incluidos todos los elementos se dice que los equipos son compactos.

##### **8.4.1 Producción Térmica**

Hay dos formas de producción por ciclo de compresión y por ciclo de absorción; la más extendida corresponde al ciclo de compresión. El ciclo de compresión dispone de una zona de evaporación y otra de condensación unidas mediante el compresor y cerrándose el ciclo mediante una laminación. En la evaporación es donde se produce el frío necesario para la climatización y en la condensación es donde se cede el calor extraído en los locales. Atendiendo a estos factores los equipos de producción se denominan con dos palabras, indicando en primer lugar el medio en el que se realiza la evaporación y después el medio condensante (Recknagel, 2000). Habitualmente se encuentran cuatro tipos de equipos de producción:

Aire – Aire o todo Aire

Aire – Agua

Agua – Agua o todo agua

Agua – Aire

### **8.4.2 Distribución**

El frío producido en el equipo frigorífico debe ser transportado a los locales a climatizar mediante alguno de los siguientes fluidos: Refrigerante, Agua o Aire, empleándose para ello tuberías o ductos, según corresponda.

### **8.4.3 Emisión**

El frío se emite en los locales a través de rejillas y difusores, que pueden estar incorporadas en los propios equipos, o bien formar parte de una red de ductos de distribución. Lo más habitual es clasificar los sistemas de climatización, según sea el fluido que entra en el local para producir el efecto de enfriamiento o calentamiento (Recknagel, 2000). Según esto, los sistemas pueden ser:

Todo Refrigerante: Sistemas de expansión directa en el interior del local.

Refrigerante-Aire: Al local llega refrigerante y aire.

Todo Agua: Al local llega sólo agua.

Agua - Aire: Al local llega aire y agua.

Todo Aire: El único fluido que entra en el local es el aire.

Además de la clasificación anterior, se podrían introducir la diferenciación entre los equipos compactos o sistemas centralizados. A continuación se describen las características más importantes de cada sistema.

#### ***8.4.3.1 Sistema todo refrigerante***

En estos sistemas, la refrigeración se produce por la expansión directa de refrigerante en un equipo provisto de batería aleteada para este propósito. El aire del local pasa directamente por la batería en la que se expansiona el refrigerante, que forma parte del sistema frigorífico. De acuerdo con lo anterior, pueden incluirse en este grupo, los equipos

compactos de "ventana", consolas enfriadas por aire o agua, y todos los equipos compactos situados en el interior del local a acondicionar, así como los equipos y sistemas partidos, en los que la unidad condensadora, generalmente condensado por aire se encuentra situada a distancia y unida a la unidad interior o climatizadora, por tuberías de refrigerante (López Coloco, 2011, págs. 37-44).



*Figura 8.4* Sistema todo refrigerante. Tomado de Aire acondicionado y climatización (<http://www.aireacondicionadoyclima.com/2013/01/sistemas-de-refrigerante-variable.html>)

#### **8.4.3.2 Sistema refrigerante – aire**

Un problema importante del sistema todo refrigerante, es que no resuelven el aspecto de la ventilación, debiendo proporcionarse la misma de manera independiente. El sistema refrigerante – aire consiste en un conjunto de equipos como los descritos anteriormente, complementado con un sistema de aire primario. El aire primario viene tratado en un climatizador central y repartido a los diferentes locales. Este aire primario provee las necesidades de ventilación y parte o todas las necesidades de deshumidificación, según sea el dimensionamiento. En este caso la distribución de aire primario se hace con una red general de conductos y se impulsa a los locales a través de rejillas. El aire primario también puede ser enviado sin tratamiento termohigométrico, y en este caso se impulsa a la aspiración de los equipos interiores, y es en estos en los que se enfría y deshumidifica. También existe la posibilidad de prever los equipos interiores con una toma de aire exterior directa.

### 8.4.3.3 Sistema todo agua

Son aquellos en los que el único fluido calor portador que llega al espacio acondicionado desde el exterior es agua. Para la producción se requieren equipos enfriadores de agua, con condensación por aire o por agua, en este último caso además se requiere la instalación de torres de enfriamiento, para poder a su vez eliminar el calor del agua de condensación, a no ser que se disponga de una fuente continua para el agua de condensación. La cesión del frío al aire del local se realiza en equipos terminales, que generalmente son ventiloconvectores, que incorporan una batería de tubo aleteado y un ventilador que recircula el aire del local a través de la batería, enfriándolo según la temperatura del agua que se suministra.

Los equipos ventiloconvectores pueden adoptar formas, disposiciones y colocaciones variadas. Desde el más conocido de suelo con envolvente metálica para instalación vista, hasta el oculto sobre el falso techo que aspira e impulsa el aire a través de rejillas, pasando por colocaciones de pared o techo vistos, empotrados en nichos o los más recientes compactos de techo vistos, que incluyen los elementos de difusión. Generalmente, en el proceso de enfriamiento, se produce también deshumidificación, habiendo necesidad de evacuar el agua formada, lo que en ocasiones presenta dificultades. Modernamente, existen bombas de elevación del condensado que pueden resolver el problema. Las temperaturas del agua de enfriamiento que se envía suelen estar entre 7 y 9°C (López Colacho, 2011).

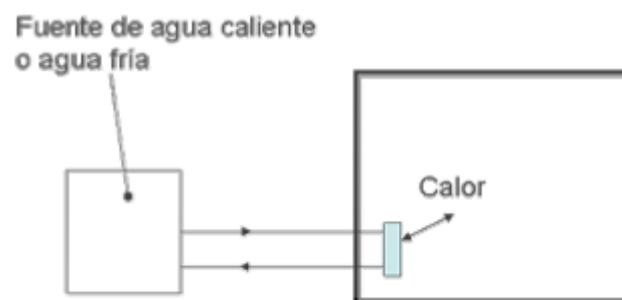


Figura 8.5 Esquema básico de instalación de un Sistema todo refrigerante. Tomado de Carrier air conditioning company. "Manual de Aire Acondicionado"

#### 8.4.3.4 Sistema agua – aire

En estos sistemas, a los locales llegan ambos fluidos, realizando cada uno una función, aunque el diseño admite variantes que diferencian unos de otros.

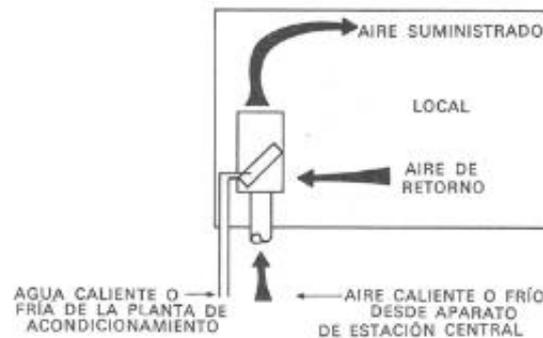
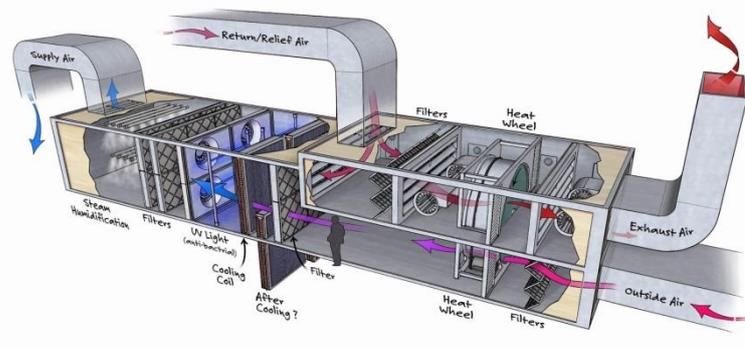


Figura 8.6 Esquema del sistema de inducción de un Sistema agua-aire. Tomado de Carrier air conditioning company. "Manual de Aire Acondicionado"

#### 8.4.3.5 Sistema todo aire

El único fluido que entra en el espacio acondicionado es el aire. Este aire, proviene del exterior y está ya tratado, es decir, filtrado, enfriado y deshumidificado, según las necesidades. El aire puede provenir de una manejadora que a su vez recibe el frío de un productor central (enfriadora de agua), o puede ser un equipo autónomo, que incluye en su interior el sistema de tratamiento de aire y el equipo productor de frío (compresor para expansión directa), o incluso puede ser una manejadora con batería de expansión directa atendida desde un equipo partido.





*Figura 8.7* Unidad de Tratamiento de Aire o UTA. Tomado de Instalaciones Térmicas y Certificación Energética (<http://instalaciones-termicas.blogspot.com/2013/10/climatizador-o-uta-unidad-de.html>)

#### **8.4.4 Manejadoras de aire.**

Estos sistemas se utilizan para las grandes construcciones como edificios, hoteles, industria. Este sistema solo impulsa el aire que es refrigerado a partir de un intercambiador de calor por el circula agua fría que proviene de una gran condensadora, generalmente para este sistema se utilizan los llamados Chillers como condensadoras ya que estos manejan grandes cantidades de toneladas de refrigeración. Una vez generada el agua fría estos pasan al intercambiador de calor (antes mencionado) y la manejadora a través de un blower obliga al aire a pasar por ese intercambiador y así generar el aire frío que será transportado a través de ductos aislados térmicamente bien sea por poliuretano o poliisocianurato.



*Figura 8.4* Manejadoras de Aire. Elaboración propia.

### 8.4.5 Chillers.

Los chillers, son equipos de climatización muy usados en grandes instalaciones debido a la posibilidad que tienen de enfriar o calentar, según lo requiera el inmueble. El chiller es un refrigerador de líquido, que, como en un sistema de expansión directa, calienta o enfría mediante el intercambio térmico. El agua que se requiere enfriar circula a través de un intercambiador. Este flujo de agua transmitirá su calor al flujo del refrigerante, ya que éstos se encuentran separados por la pared del tubo. El refrigerante, al recibir el calor, se evapora debido a sus características y a la baja presión de evaporación. El refrigerante es extraído por el compresor, el cual lo envía comprimido hacia el condensador. En dicho proceso, el refrigerante se calienta por el efecto de la compresión y del calor del motor del compresor. El gas caliente del compresor entra al condensador, en donde su calor es transmitido a un medio refrigerante, que bien puede ser agua o aire. El calor extraído provoca que el refrigerante se condense a alta presión. El refrigerante en estado líquido a alta presión puede ser almacenado o enviado directamente al a válvula de expansión para su inyección en el evaporador y así reiniciar el ciclo. Las capacidades de estos equipos oscilan entre 80TR hasta 200TR (Celsius, 2017).



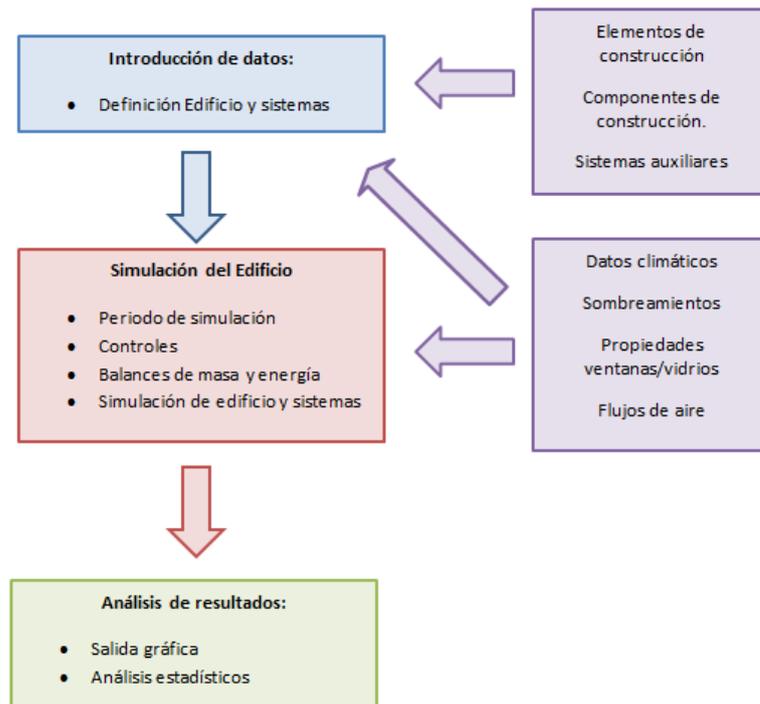
Figura 8.5 Chillers enfriados por agua. Elaboración propia.

## 9. Herramientas de simulación

Las herramientas computacionales para simulación energética de edificaciones permiten realizar análisis térmicos y lumínicos, a fin de evaluar la influencia de las características climáticas específicas y las diversas alternativas de construcción en las condiciones de operación y, en consecuencia, el comportamiento energético de una edificación.

Tal análisis se realiza con base en la BIM de la edificación (Modelo de Información de la Edificación) y las condiciones de su entorno. Esta información se usa para resolver sistemas de ecuaciones que describen el comportamiento de variables de tipo ambiental y energética en los espacios interiores de la edificación, de acuerdo con las capacidades del software. Los resultados ayudan en las tomas de decisiones, respecto al diseño de la edificación, para reducir consumos energéticos (Principalmente, de energía eléctrica). (Barros et al., 2017), (Revista Construdata, 2010)

En el proceso de evaluación de una edificación con herramientas computacionales se pueden distinguir tres etapas, introducción de datos, simulación del edificio y análisis de resultados, tal como se ilustra en la figura 9.1.



*Figura 9.1* Proceso de simulación del comportamiento energético de un edificio con herramientas computacionales. Elaboración propia. Tomado de Proceso de validación de Modelos de Simulación ([https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/\\_Public/38/106/38106925.pdf](https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/38/106/38106925.pdf))

La primera etapa consiste en la definición de BIM, caracterizando la edificación de forma geométrica, constructiva y operacional, al igual que sus sistemas. Después, se realizan las simulaciones térmicas y lumínicas de los parámetros que inciden en los consumos energéticos; finalmente se hace el análisis de los resultados de las simulaciones para conocer los consumos energéticos del edificio y tomar medidas de control sobre las variables que los afectan (Energía, 2008).

Los programas para la simulación del comportamiento energético de edificaciones permiten analizar varios de los siguientes aspectos: penetración de la luz solar, ventilación, sistemas de energía renovable, ganancias y pérdidas térmicas, temperaturas internas, sistemas y equipos HVAC (Heat, Ventilation and Air Conditioned Systems) y emisiones al medio ambiente. En general estos programas generan reportes consolidados y/o permiten la exportación de datos para el análisis en detalle con otras herramientas.

Entre los programas más importantes para realizar simulaciones energéticas de edificaciones, según el departamento de Energía de los Estados Unidos se destacan los siguientes veinte programas: Blast, BSim, DeST, DOE-2.1E, Autodesk Ecotect Analysis, Ener-Win, Energy Express, Energy-10, EnergyPlus, eQuest, DesignBuilder, IDA ICE, IES VE, HAP, HEED, PowerDomus, Surel, TAS, TRACE y TRNSYS (D. Crawley, 2017), (Balbis et al, 2017)

En este trabajo de investigación se usó el programa Design Builder, adquirido por la universidad en el 2016, se decidió usarlo siendo uno de los programas más completos y que permite conocer el comportamiento energético de una edificación a través de varias simulaciones, y teniendo en cuenta que es una de las herramientas más usadas para este fin.

### **9.1.1 DesignBuilder**

DesignBuilder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de carbono. Concebido 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 energética (DesignBuilder, 2018).

Hoy en día es necesario considerar una gran cantidad de factores para lograr edificios confortables, y que al mismo tiempo cumplan con las regulaciones energéticas, minimicen los costos de inversión, optimicen el uso de la energía y reduzcan su impacto medioambiental.

Design Builder facilita ese cometido, ya que permite, entre otras cosas:

Desarrollar modelos de edificios, incluso de elevada complejidad, de forma más fácil y rápida. Llevar a cabo simulaciones dinámicas con el avanzado motor de cálculo de EnergyPlus para evaluar diversas opciones constructivas y de diseño. Modelar y evaluar de

forma detallada sistemas de climatización, ventilación y agua caliente sanitaria, incluyendo el uso de energías renovables.

Evaluar estrategias para aprovechar la luz natural en el edificio, mejorando su calidad lumínica y reduciendo los consumos por iluminación artificial.

Optimizar los proyectos de edificios y sus sistemas en función de uno o más objetivos, por ejemplo, minimizar tanto los costes como las emisiones de carbono.

Evaluar de manera detallada las condiciones ambientales en los edificios, mediante métodos avanzados de Dinámica Computacional de Fluidos (CFD).

DesignBuilder combina una eficiente tecnología de modelado con algunos de los sistemas de cálculo y simulación más avanzados, para que arquitectos, ingenieros y consultores energéticos puedan desarrollar edificios de elevada calidad ambiental y energética invirtiendo menos tiempo, esfuerzo y recursos.

## 10. Metodología

La simulación térmica de edificios, consiste en analizar en función del tiempo las necesidades energéticas a proporcionar por los servicios definidos para garantizar las condiciones de diseño fijadas dentro de un entorno condicionado por variables como la radiación solar directa o difusa, la ocupación de las estancias, orientación del edificio o caracterización térmica de sus componentes arquitectónicos.

Se trata por tanto de una simulación energética dinámica, cuyo resultado nos ayudará a experimentar posibles modificaciones, con la intención de mejorar las condiciones de diseño y optimizarlo. Buscando un equilibrio entre consumo de energía, economía, confort y medio ambiente.

### 10.1 Recopilación de la información.

El edificio objeto de estudio es el Bloque 11 de la Universidad de la Costa, cuenta con una superficie total de  $2.695m^2$  distribuidos en 8 pisos, con una altura de planta de 5m, y un techo falso de 3,8 m de altura y una relación de acristalamiento del 6,7% con respecto al envolvente. Su distribución está dada para aulas de clases, oficinas y auditorios, dados de la siguiente manera 55 aulas con una capacidad aproximada para 1.625 estudiantes, 12 salas de cómputo con capacidad para 340 puestos, 4 salas de lectura para 160 personas; además de 2 aulas múltiples con capacidad para 79 personas cada una, aumentando así la capacidad total del edificio a 2.283 estudiantes, además cuenta con servicio de 2 ascensores, baños para damas y caballeros en cada piso, y una cafetería en el piso 8 con capacidad para 112 puestos.



*Figura 10.1* Edificio Bloque 11. Elaboración propia.

La Tabla 10.1 muestra las características constructivas, localización tipología y cargas internas del edificio del bloque 11 de la Universidad de la Costa.

Tabla 10.1

*Características constructivas, cargas térmicas y operativas del edificio Bloque 11.*

<b>Principales características del Bloque 11</b>	
Localización	Barranquilla, Colombia
Tipo de edificación	Edificio Educativo
Área total	2.695 m <sup>2</sup>
Zonas térmicas	74 zonas
Composición paredes externas	Estuco 0,025, ladrillo de 200 mm y yeso 0,019 (Transmitancia U=2,886 W/m <sup>2</sup> – K)

Tipo de cristal	Simple de 6 mm (Transmitancia $U=5,778 W/m^2 - K$ )
Carga interna por iluminación	$20 W/m^2$
Carga interna por persona	$12 m^2/persona$
Carga interna por equipos eléctricos	$120 W/persona$

Nota: *Elaboración propia. Valores de la densidad de ocupación tomadas de la Tabla 6.1 del Standard ASRAHE 62.1*

Las jornadas laborales del edificio están comprendidas desde las 6:30 a.m. a 9:30 p.m., sin embargo se presentan algunas variaciones en el periodo de medio día entre las 12:30 p.m. y 2:00 p.m. En cuanto a los niveles de equipos eléctricos e iluminación corresponde a un 100% durante la jornada laboral cuando los salones, salas de informática y bibliotecas se encuentran en uso, mientras que para el resto del tiempo solo corresponde al 20%. El sistema de refrigeración actual del edificio corresponde a un Chiller, el cual cuenta con una distribución final de unidades de tratamiento de aire mejor conocido como UMA con un rendimiento aproximado del 70% en los ventiladores.

## 10.2 Selección del software de simulación.

El software utilizado para la simulación energética del edificio analizado es DesignBuilder, un programa que se desarrolla como un entorno de modelización de edificios intuitivo y visual sobre el que se integran diferentes módulos para el cálculo energético y ambiental de los edificios. A pesar de esta diferenciación en módulos, el entorno del programa es común, y las entradas de datos se comparten entre las diferentes herramientas de cálculo evitando duplicados en la modelización.

Actualmente existen los módulos de Visualización, Energyplus, CFD, Iluminación Natural, HVAC Detallado (Calefacción y Refrigeración) y coste y carbono que ofrecen al usuario variedad de funcionalidades.

Existen dos elementos transversales al modelado en DesignBuilder de gran interés e importancia práctica: las bibliotecas de componentes y de plantillas. Los componentes y plantillas permiten agilizar enormemente la definición de los modelos, al contar con elementos ya predefinidos que podemos cargar de una sola vez en el programa (plantillas de cerramientos, horarios de ocupación, curvas de rendimiento, etc.). No obstante, siempre se pueden crear plantillas propias y componentes específicos que nos faciliten en futuros modelos la introducción de datos, ahorrando un valioso tiempo especialmente si trabajamos sobre tipologías similares de edificios.

### 10.3 Modelación.

A continuación se recogen las posibilidades de DesignBuilder en cuanto a modelado se refiere:



Figura 10.2 Biblioteca de componentes. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

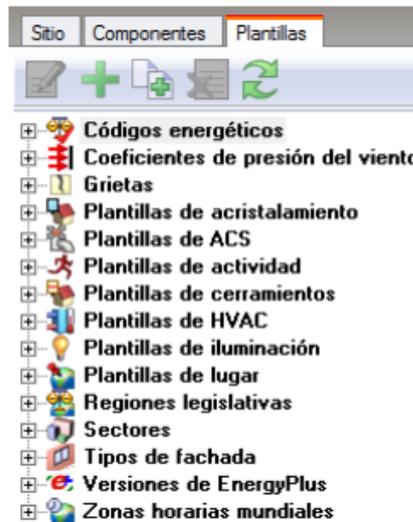


Figura 10.3 Biblioteca de plantillas. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

### 10.3.1 Modelado Geométrico.

A partir de los planos en CAD o imágenes que nos sirvan de plantilla, o bien mediante la introducción directa de las medidas en DesignBuilder vamos definiendo la geometría del edificio mediante bloques, operaciones con bloques y particionado en zonas. La geometría tridimensional la obtenemos mediante operaciones de extrusión, corte, unión, referencias a puntos, etc.



Figura 10.4 Botones para la generación de la geometría. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

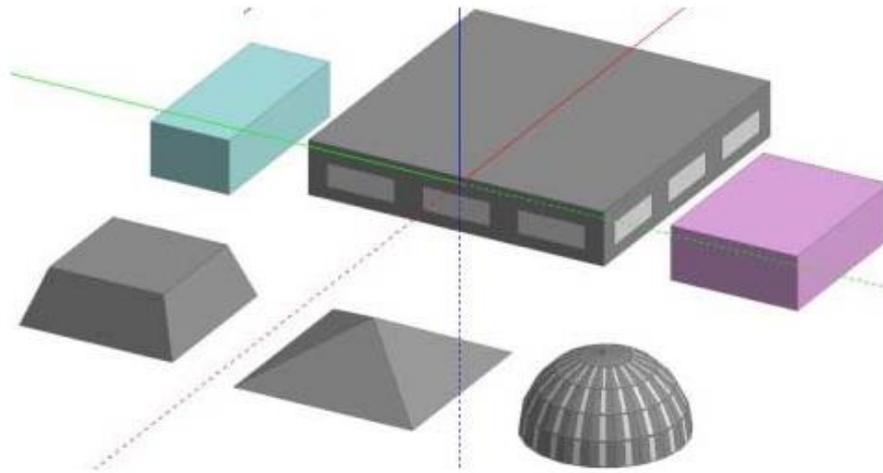


Figura 10.5 Diferentes tipos de bloques. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

### 10.3.2 Modelado de envolvente térmica

Definición de cerramientos simple (masa térmica/aislamiento) o por capas, incluyendo la base de datos de materiales del Código Técnico de la Edificación.

Definición de una cubierta vegetal para su simulación.

Definición del acristalamiento simple (factor solar y transmitancia) o detallado por capas, incluyendo la base de datos IGDB con más de 3.800 vidrios de los principales fabricantes de todo el mundo.

Definición detallada de la carpintería: composición, dimensiones de marcos, travesaños, etc.

Definición paramétrica de lamas, persianas, voladizos, vidrio electrocrómico, etc. así como su estrategia de control en función de un horario, de niveles de radiación, temperaturas, etc.

Definición de la calidad de los cerramientos con respecto a infiltraciones o bien la tasa de renovaciones hora por infiltración o bien los datos de un ensayo blower door, dependiendo del tipo de análisis.

En caso de análisis detallados de ventilación natural, deberemos definir las condiciones de apertura de ventanas y puertas para que el programa calcule los caudales de ventilación natural en el edificio.

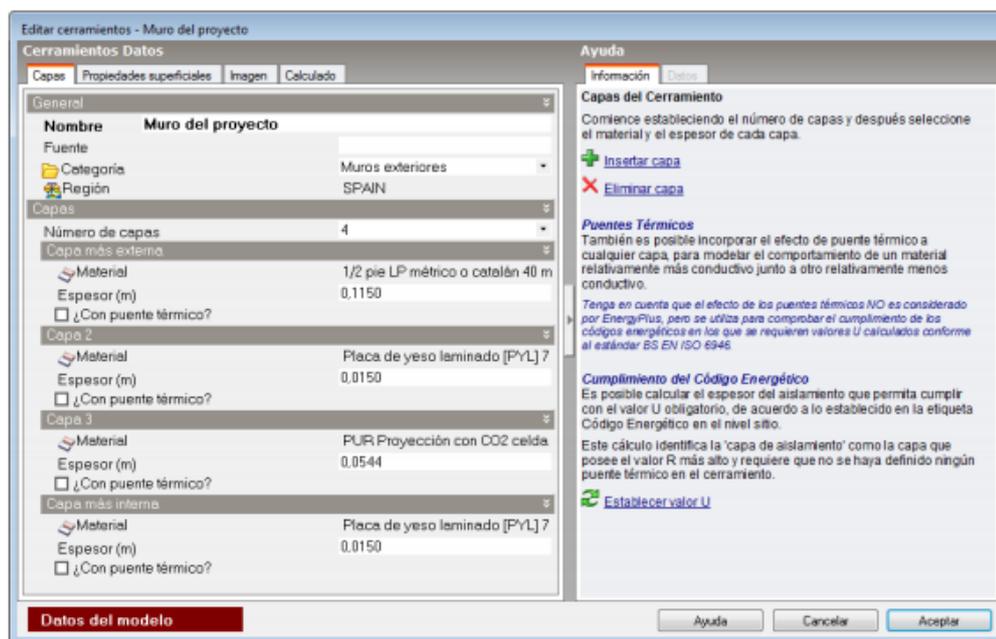


Figura 10.6 Definición de un encerramiento. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

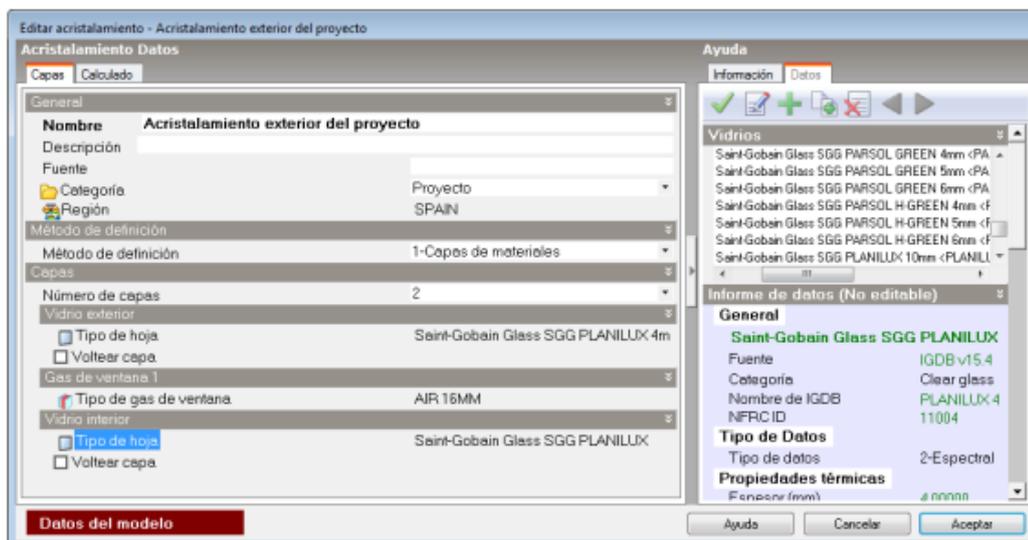


Figura 10.7 Definición de una ventana. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

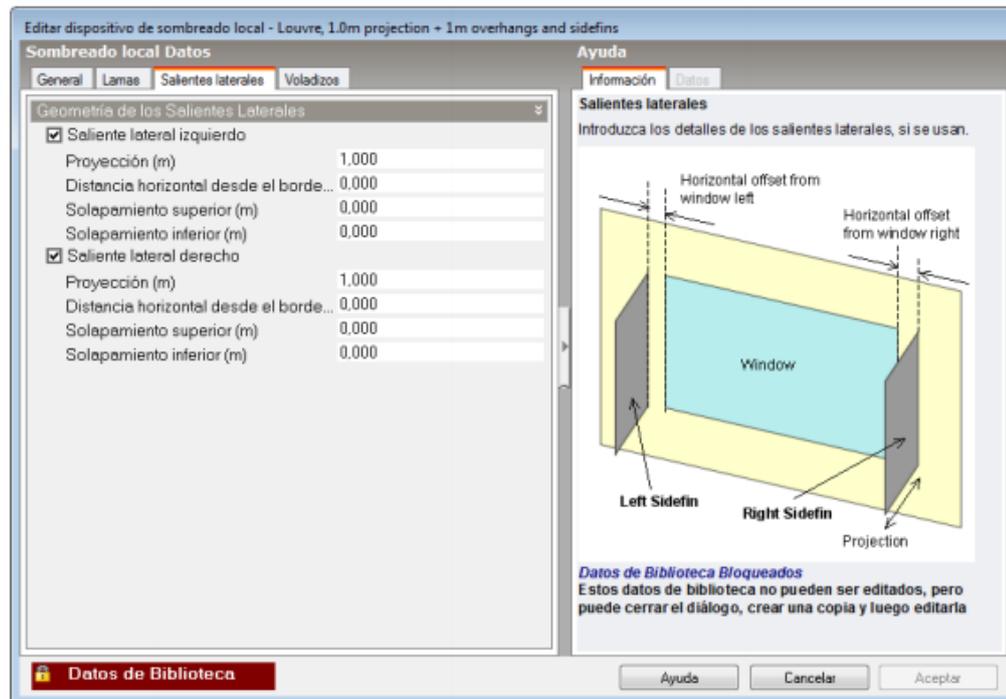


Figura 10.8 Definición de salientes laterales. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

### 10.3.3 Modelado del uso de cada zona.

En esta etapa se define la ocupación de cada una de las zonas y la tasa metabólica de las personas, junto con sus horarios de funcionamiento, pudiendo definir la ocupación en función de la franja horaria del día. Habrá que indicar las consignas a mantener en cada una de las zonas para controlar la calefacción, la refrigeración, posible ventilación natural, mecánica y deshumidificación, así como el consumo previsto de agua caliente sanitaria en el caso de que aplique.

Es necesario definir las cargas internas que se producen relativas a equipos informáticos, de cocina, etc. así como sus horarios de funcionamiento.

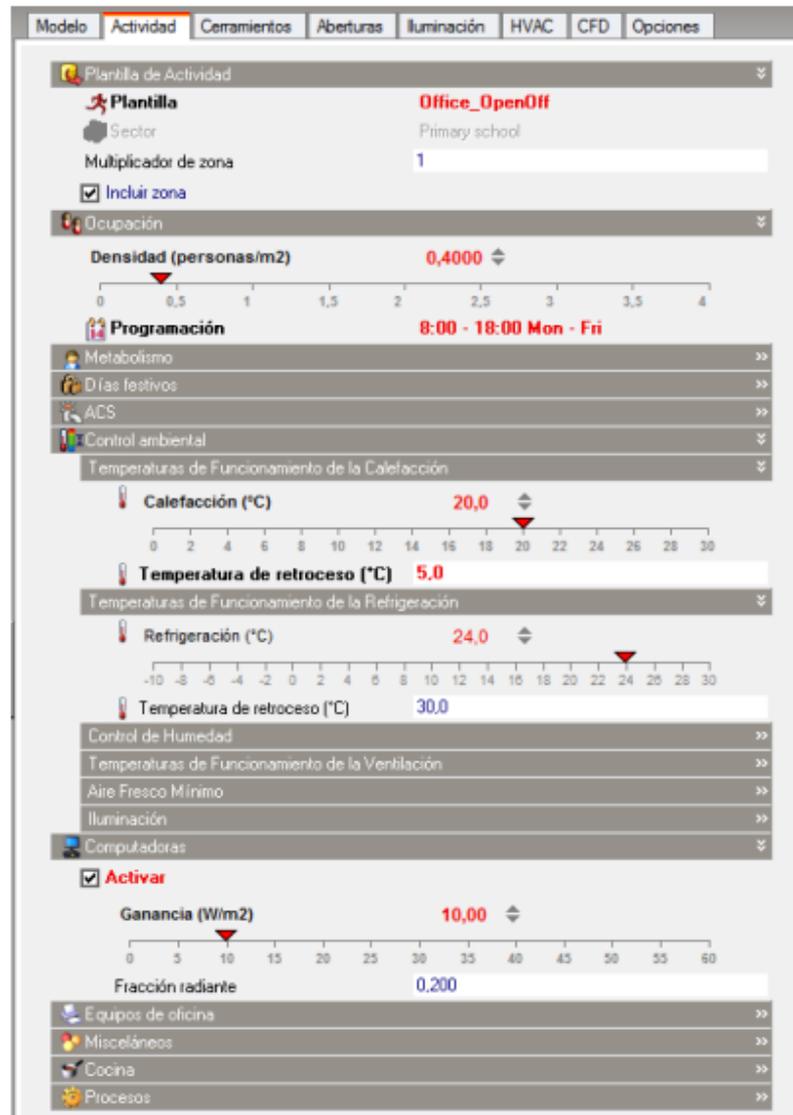
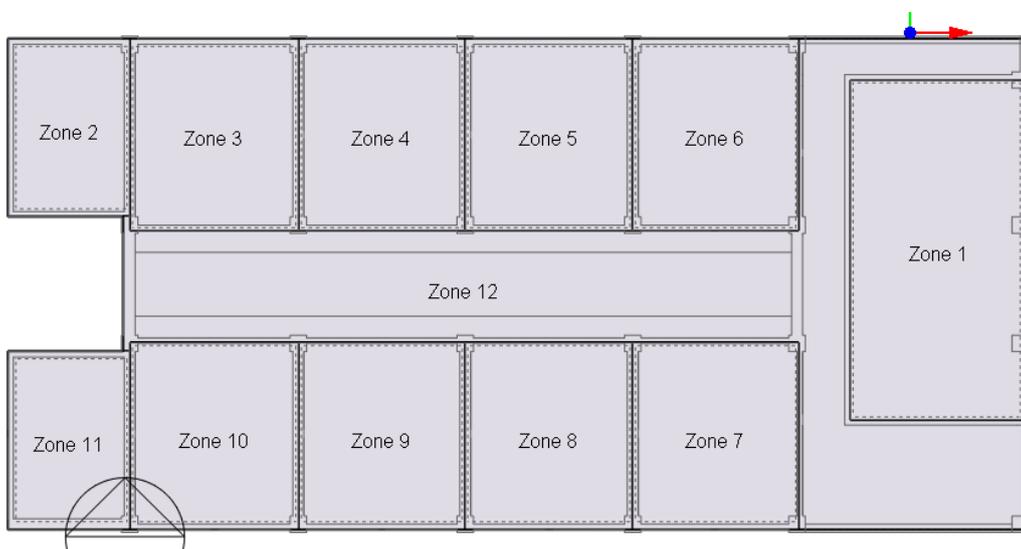
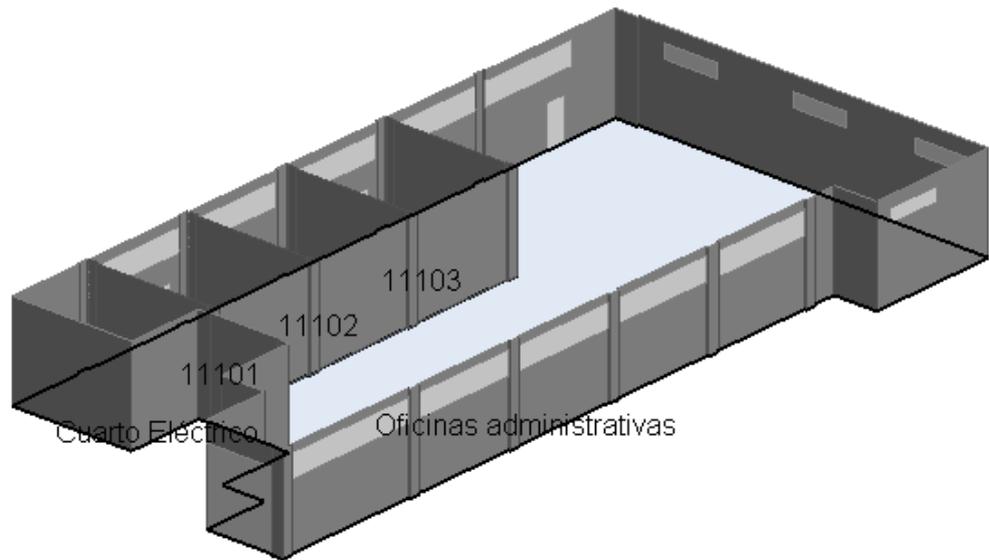


Figura 10.9 Pestaña de datos de uso. Elaborado por DesignBuilder, 2018.





*Figura 10.10* División de un Bloque en Zonas. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

#### **10.3.4 Modelado de las instalaciones de Iluminación.**

Es necesario introducir los datos relativos al tipo de luminarias instaladas, así como la potencia por superficie y la iluminancia en cada una de las zonas del edificio. Es posible definir si existe algún tipo de control de iluminación y como se realizará la regulación. Se podrá definir también si existe alguna iluminación especial del tipo exhibición o escritorio así como si la instalación cuenta con un sistema de control.

Figura 10.11 Pestaña de entrada datos de iluminación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

### 10.3.5 Modelado de las instalaciones térmicas

En esta fase se introducen los datos relativos a los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria (ACS), el modelado de estas instalaciones puede realizarse en tres niveles de complejidad.

Modelado simple: mediante un sistema ideal y rendimientos medios estacionales.

Modelado compacto: mediante 5 tipologías de instalaciones complejas para las que el programa solicita una serie de datos básicos y Energy Plus completa la definición con valores por defecto de manera automática:

- Sistemas Autónomos Zona Única o Multizona todo aire con baterías de frío/calor, recuperación de calor, enfriamiento gratuito, deshumidificación, etc.
- Fancoils: a 2 o 4 tubos.

- Volumen de Aire Variable o Constante: con recuperación de calor, enfriamiento gratuito, recalentamiento terminal, etc.



Figura 10.12 Pestaña de entrada de datos de instalaciones térmicas. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

Modelado detallado: mediante un modelado gráfico de tipo “arrastrar y soltar” y la interconexión entre sistemas, siendo posible definir un abanico muy amplio de instalaciones, contando con elementos como:

- Sistemas zonales: Radiadores de agua y eléctricos, convectores, suelo radiante, techos refrescantes, fancoils, splits, impulsión y extracción, unidades terminales VAV, etc.
- Distribución de Aire: climatizadoras de aire primario, Unidades de Tratamiento de Aire (con baterías de precalentamiento, humidificación, recuperación de

calor, etc.), baterías de expansión directa o alimentadas por enfriadora o caldera, bombas, ventiladores, etc.

- Sistemas primarios: enfriadoras aire-aire o alimentadas por torre y calderas, individuales o en cascada con fraccionamiento de carga, depósito de ACS autónomo o alimentado por caldera, etc.

### 10.3.6 Visualización

A través del módulo de visualización del programa se obtiene una representación visual del modelo geométrico del edificio mediante un renderizado realista, ofreciendo además la posibilidad de realizar un estudio de los elementos de sombreado en distintos instantes de año de cara a estudiar las posibles opciones de protección solar y de diseño de dispositivos de sombra.



*Figura 10.13* Visualización renderizada del edificio con proyección de sombras. Elaborado por DesignBuilder, 2018

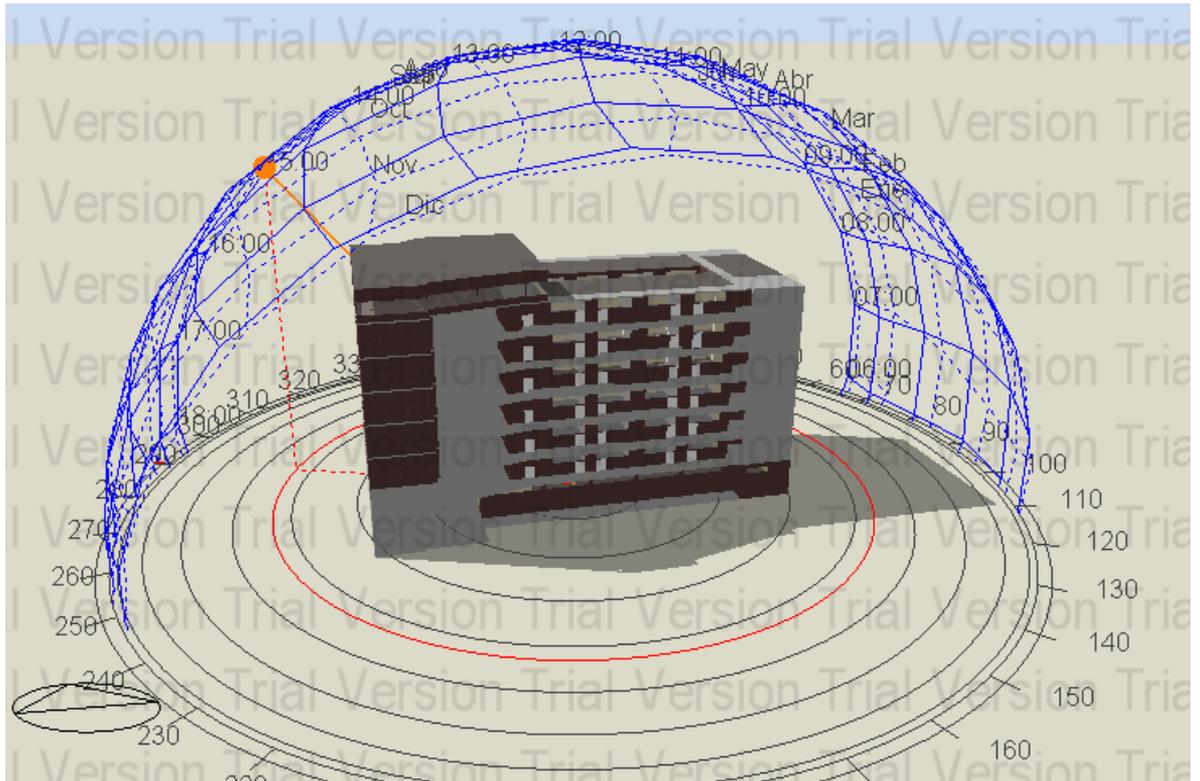


Figura 10.14 Visualización renderizada con diagrama solar del edificio. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

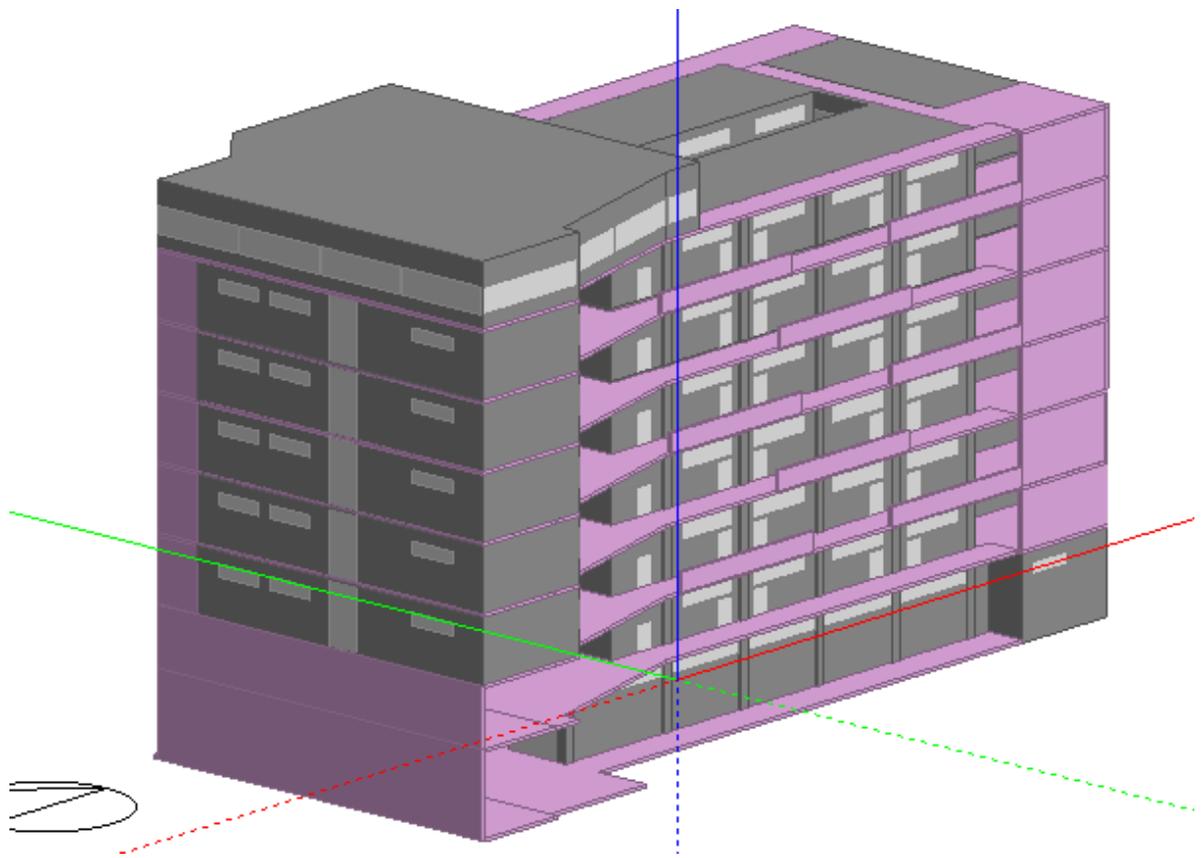


Figura 10.155 Visualización estándar del edificio. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

### 10.3.7 Motores de simulación energética

#### 10.3.7.1 *EnergyPlus.*

DesignBuilder utiliza la última versión del motor de simulación Energyplus para realizar los cálculos energéticos. Es un motor de cálculo reconocido a nivel mundial, y en continuo desarrollo por el Departamento de Energía de los EEUU. Con cada nueva versión se implementan nuevas funcionalidades situando al motor como referencia internacional en capacidad de simulación. Es un motor de simulación gratuito, sin embargo, su complejidad radica en la entrada de datos, está pensado para que se desarrollen en torno al mismo aplicaciones gráficas y manejables que aprovechen su potencia de cálculo, aplicaciones como DesignBuilder, la primera y más completa del mercado.

Energy Plus es un motor sumamente completo y complejo, del que DesignBuilder incorpora sus principales funcionalidades pero necesariamente no todas (para tener una idea solo el manual de programación de la entrada de datos de Energy Plus tiene más de 2.200 páginas). Entre otras, las funcionalidades que DesignBuilder proporciona a través de la simulación mediante Energyplus son las siguientes:

- Cálculo de cargas. DesignBuilder implementa de forma específica el cálculo de cargas máximas de calefacción y refrigeración conforme al estándar ASHRAE. Esta funcionalidad es especialmente interesante de cara al dimensionado de las instalaciones.
- Cálculo de la demanda de calefacción y refrigeración. Mediante una opción sencilla del programa, es posible calcular la demanda de forma ágil durante las primeras etapas del diseño orientado a la mejora del diseño bioclimático del edificio, sin entrar a modelar en detalle las instalaciones de climatización.
- Cálculo de los consumos de calefacción, refrigeración y ACS y de las emisiones de  $CO_2$ . Introduciendo las instalaciones, que pueden modelizarse en diferentes niveles de detalle y complejidad, se obtienen los consumos energéticos y el

gasto en combustible (electricidad, gas, biomasa, etc.) así como las emisiones de  $CO_2$  asociadas.

- Cálculo de las condiciones ambientales interiores. Esté climatizado o no, se obtienen resultados de las condiciones interiores del edificio, temperatura y humedad, en cualquier instante del año.
- Cálculo de las condiciones de confort. Mediante diversos índices de confort, como el PMV, PPD, la temperatura operativa o el porcentaje de horas a determinadas temperaturas, forman parte de los resultados que DesignBuilder puede mostrar
- Balance Térmico. DesignBuilder mostrará las ganancias solares, por ocupación, iluminación, etc. así como las pérdidas en ventilación, transmisión de cerramientos, etc. Dando una valiosa información acerca de los elementos más críticos en el balance térmico de nuestro edificio.
- Ventilación. Se pueden obtener las renovaciones/hora que tiene el edificio así como los caudales que entran por cada abertura, en caso de que se realice un cálculo de ventilación natural.
- Inercia Térmica. El programa aplica directamente, al realizar los cálculos referentes a las necesidades térmicas y energéticas, las características de los distintos paramentos que componen el edificio teniendo en cuenta la inercia térmica de estos, utiliza para ello el método de transferencia en el cual se tiene en cuenta en función de las dimensiones y características físicas de las distintas capas de un paramento el tiempo en el que la energía que acumula consecuencia de las condiciones ambientales exteriores pasan al interior de la edificación.

Así a través de los datos introducidos en el proceso de descripción de cerramientos el programa evalúa la inercia térmica de estos teniéndola en cuenta en el cálculo global de las necesidades energéticas del edificio.

#### ***10.3.7.2 DBSim.***

DBSim (en fase beta) es un motor de simulación desarrollado por DesignBuilder que puede seleccionarse como alternativa al cálculo mediante Energyplus. Sin tanta potencia como Energyplus, su principal ventaja radica en la rapidez en el cálculo, permitiendo realizar análisis muy rápidos en edificios de gran complejidad. Está pensado para las primeras etapas de diseño o para cálculos de demanda donde no sea necesario modelizar las instalaciones en detalle. La variedad de resultados (consumos, emisiones, temperaturas, etc.) es equivalente a los obtenidos desde Energyplus.

#### ***10.3.7.3 Radiance.***

DesignBuilder aprovecha la definición geométrica de nuestro edificio, junto con las características superficiales de los cerramientos ya definidas, para alimentar al motor de simulación de iluminación natural Radiance. Radiance es un estándar reconocido internacionalmente para la simulación de iluminación natural basado en Raytracing. Mediante Radiance y de nuevo de forma totalmente transparente al usuario, DesignBuilder es capaz de calcular y generar gráficas de iluminancias y Factor de Luz Día e informes resumen de accesibilidad a la luz natural de nuestro edificio.

Esta funcionalidad permite, por un lado, servir de ayuda al diseño de estrategias encaminadas al aprovechamiento de la luz natural, y por otro, justificar diversas certificaciones como LEED o BREEAM con los informes automáticos generados por DesignBuilder.

#### ***10.3.7.4 CFD.***

El módulo de CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) de DesignBuilder es un módulo que aprovecha la geometría de nuestro modelo para realizar simulaciones de flujos de aire y calor tanto en el exterior como en el interior de los edificios. A diferencia de la simulación con Energyplus, donde se trabaja con valores homogéneos para cada zona

térmica, la simulación CFD divide el espacio en pequeños volúmenes para los que se calculan las condiciones del aire (temperatura, velocidad y presión) en régimen estacionario en función de las condiciones de contorno que hayamos establecido (caudales que entran por las ventanas, temperaturas de los cerramientos, etc.).

El módulo CFD no calcula consumos energéticos sino la distribución espacial de presiones y velocidades en el exterior de nuestro edificio (análisis de viento) y de presiones, velocidades y temperaturas en el interior (análisis de flujos de aire y calor).

Su interrelación con el resto del interface de DesignBuilder se da de la siguiente manera. Por un lado aprovechamos la geometría que hayamos definido en nuestro modelo y por otro, podemos utilizar los resultados de una simulación de Energyplus para cargar de forma automática los caudales de aire en las aberturas o las temperaturas de los diferentes cerramientos.

De manera específica, en el CFD deberemos dibujar elementos como radiadores, rejillas de impulsión, o personas, para configurar el espacio 3D para la simulación CFD, dado que dichos elementos no se modelizan con sus dimensiones y ubicación física real para las simulaciones en Energyplus.

Adicionalmente a presiones, velocidades o temperaturas de aire, el CFD de DesignBuilder calcula la distribución espacial de los índices de confort (temperatura operativa, PMV, PPD), así como la antigüedad o la tasa de renovación efectiva del aire.

### **10.3.8 Modelado y simulación del estado actual del Edificio de Postgrados – Bloque**

#### **11**

Para este proyecto y con el objetivo de estudiar posibles soluciones que mejoren la eficiencia energética en el Edificio de Posgrados - Bloque 11 de la Universidad de la Costa se ha utilizado el software DesingBuilder y se ha modelado por completo el Edificio.

Para ello, se comienza situando y orientando el edificio. El programa cuenta con una extensa base de datos en los que la situación es una de las variables de cálculo y como ya hemos dicho antes, está situado en la ciudad de Barranquilla.

Seguidamente se diseña el edificio en 3D. Se levanta cada una de las fachadas, particiones interiores y elementos constructivos de la estructura con sus respectivos huecos, tanto exteriores como interiores, aplicando correctamente las dimensiones de cada uno de estos elementos (ver Figura 10.14).

La jerarquía con la que funciona el programa es la siguiente: el edificio está conformado por bloques, que pueden dividirse a su vez en zonas, dibujando particiones en su interior (Ver Figura 10.10). Para cada una de estas zonas se escoge un uso y plantilla, se le aplican las características concretas de los elementos que componen la envolvente, se seleccionan los materiales de su composición y la disposición de los mismos. Después se escoge qué tipo de instalaciones tiene para climatización y fontanería y el resto de detalles que completan el diseño para asemejarlo al edificio real (ver figura 10.16).

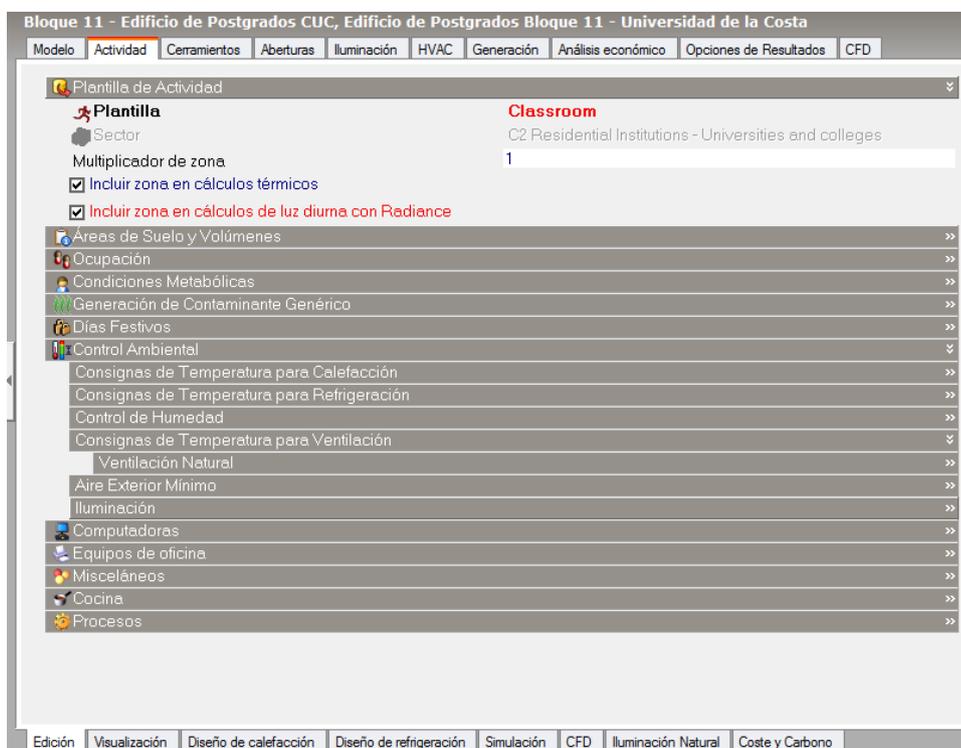


Figura 10.166 Plantilla para la selección de usos del Edificio. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

De las diferentes opciones de plantilla de actividad que ofrece el software, se ha seleccionado la plantilla de Universidades y colegios/Salones de clase/Sala de lectura/Auditorio. Esta plantilla tiene por defecto unos valores marcados respecto a la ocupación, el consumo de ACS, configuración de la climatización, ventilación, iluminación, uso de equipos de oficina, etc. Así que se han modificado todos aquellos parámetros para adecuarlos a los que realmente tiene el edificio. Por ejemplo, se ha seleccionado que la calefacción/refrigeración utiliza la electricidad como fuente de energía, no existe gas para el ACS, la iluminación y muchos más detalles particulares para cada zona del Edificio.

Respecto al tipo de particiones, se han seleccionado de la base de datos algunas normalizadas al igual que los cerramientos exteriores, especificando para cada capa el material, espesor y disposición de acuerdo a los materiales típicos de la construcción para la región. Como ya se ha comentado anteriormente, DesignBuilder cuenta con una amplia base de datos de distintos materiales con sus respectivas características y propiedades (ver figura 10.17, figura 10.18 y figura 10.19)

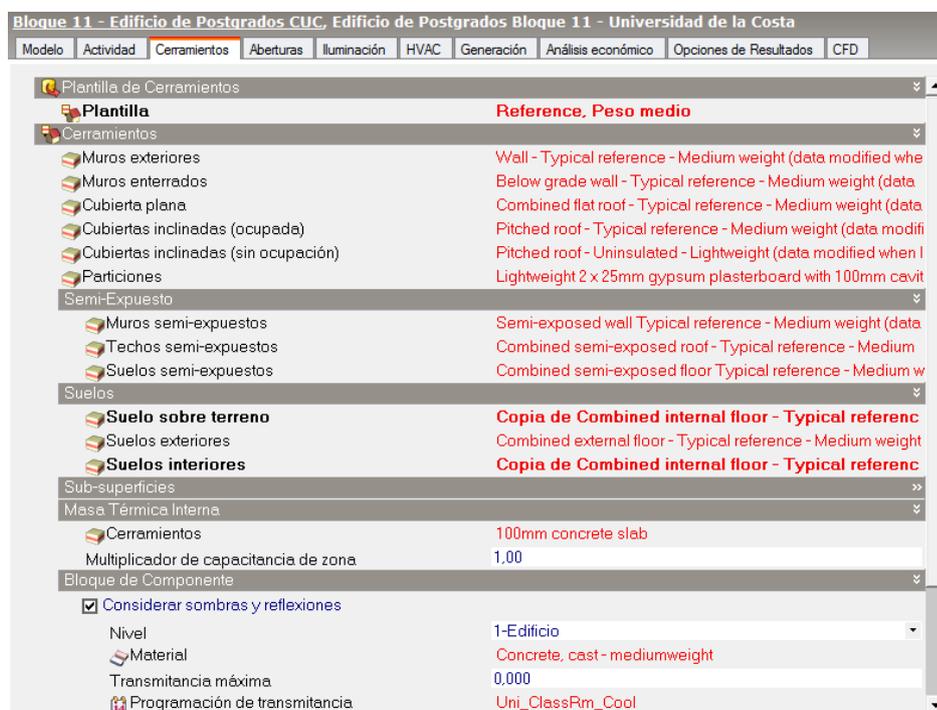


Figura 10.17 Plantilla para la selección de cerramientos y materiales del Edificio. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

<b>Superficie interior</b>	
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m <sup>2</sup> K)	4,460
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m <sup>2</sup> K)	5,540
Resistencia superficial (m <sup>2</sup> K/W)	0,100
<b>Superficie exterior</b>	
Coefficiente de transferencia de calor por convección (W/m <sup>2</sup> K)	19,870
Coefficiente de transferencia de calor por radiación (W/m <sup>2</sup> K)	5,130
Resistencia superficial (m <sup>2</sup> K/W)	0,040
<b>Sin Puentes Térmicos</b>	
Valor U de superficie a superficie (W/m <sup>2</sup> K)	0,364
Valor R (m <sup>2</sup> K/W)	2,886
<b>Valor U (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>0,346</b>
<b>Con puentes térmicos (BS EN ISO 6946)</b>	
Espesor (m)	0,3230
Km - Capacidad térmica interna (KJ/m <sup>2</sup> K)	32,6144
Límite superior de resistencia (m <sup>2</sup> K/W)	2,886
Límite inferior de resistencia (m <sup>2</sup> K/W)	2,886
Valor U de superficie a superficie (W/m <sup>2</sup> K)	0,364
Valor R (m <sup>2</sup> K/W)	2,886
<b>Valor U (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>0,346</b>

Figura 10.18 Propiedades del cerramiento exterior del Edificio. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

En la figura 10.18 se muestran los resultados de los valores de Transmitancia del encerramiento principal del edificio de Postgrados.

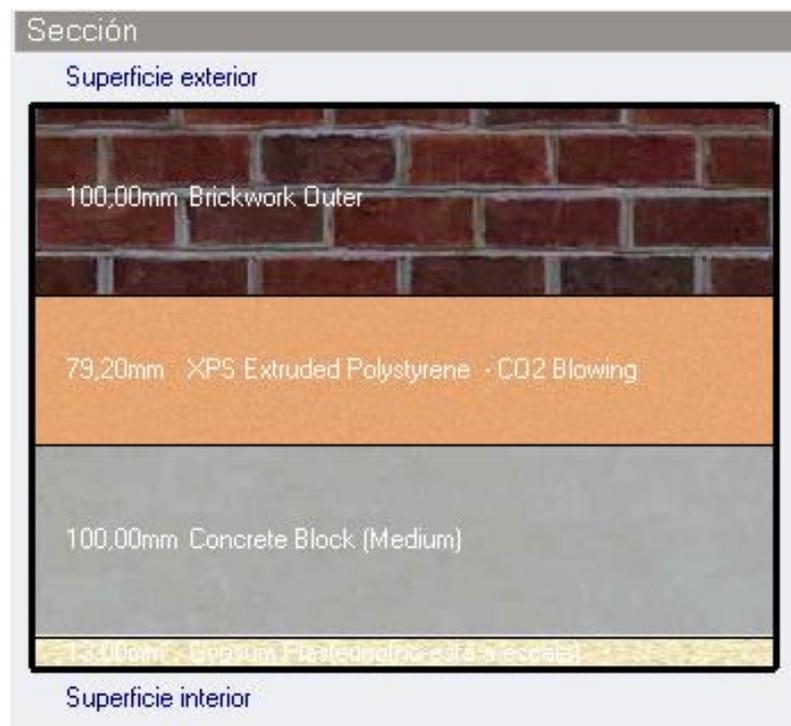


Figura 10.19 Esquema gráfico de las diferentes capas del encerramiento del Edificio. Elaborado por DesignBuilder, 2018

Y por último con el diseño terminado y todas las variables modificadas tal y como están en el edificio real, se ha simulado. Se ponen en marcha los motores de simulación de los que hemos hablado en el apartado anterior para obtener datos de un año completo y al acabar se extraen las gráficas y datos que nos interesan para analizar y mejorar la eficiencia energética del sistema de refrigeración del Edificio de postgrados.

## 11. Resultados

Para comparar los resultados y caracterizar térmicamente el modelo se toman como referencia los datos de temperaturas y humedad relativa de todos los meses del año en Barranquilla, esta información fue tomada de la página del Ideam (IDEAM, 2018), en la figura 10.1 se puede observar detalladamente esta información.

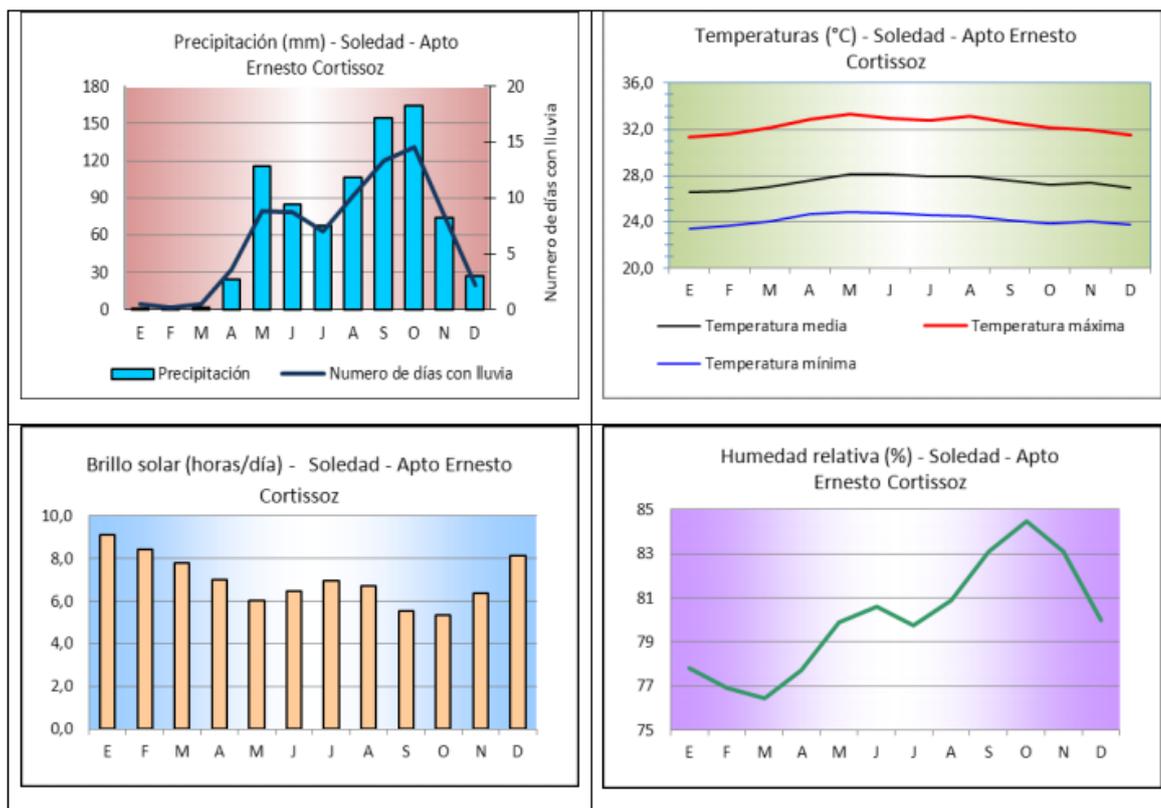


Figura 1 Datos climáticos para simulación. Imagen recuperada de: <http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

Se han exportado las gráficas y tablas resultantes de la simulación del edificio importantes para analizar el comportamiento térmico y la eficiencia energética del mismo. Para ello, se han extraído 4 tipos diferentes de gráficas y tablas que comentaremos a continuación:

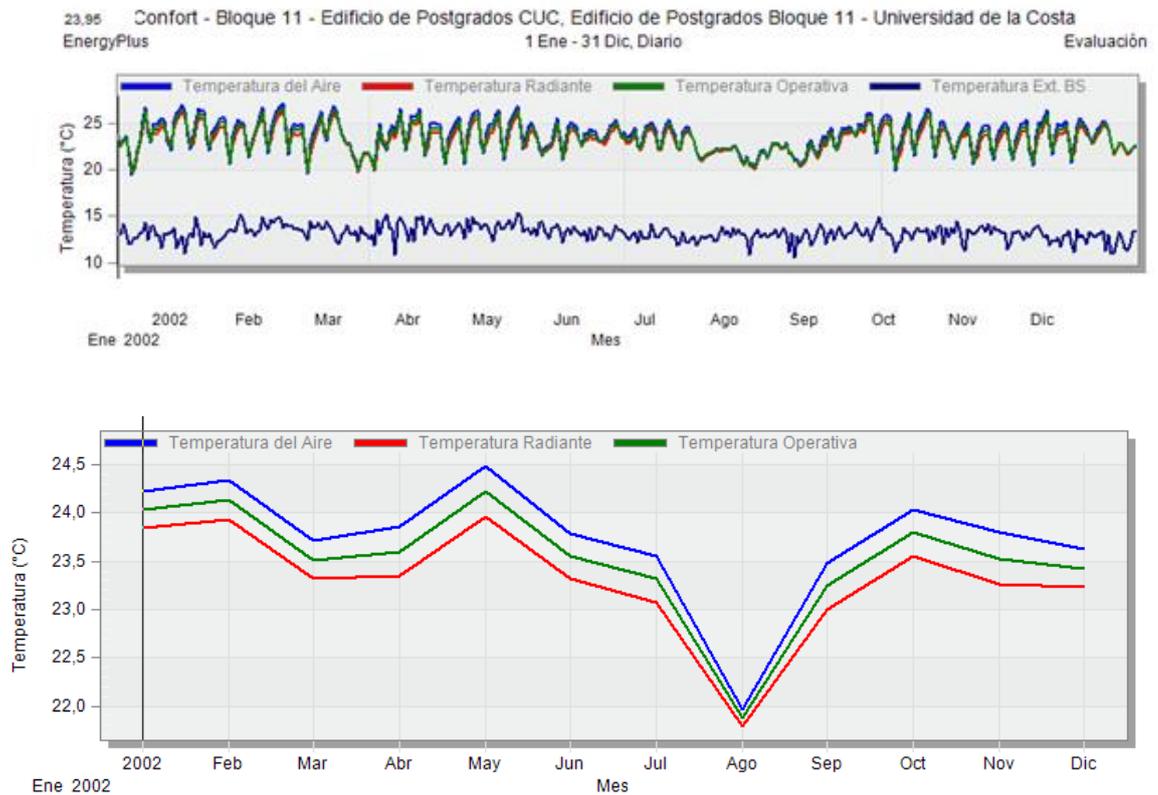


Figura 2 Gráficas de temperaturas mensuales promedio del Edificio de postgrados. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

La figura 11.2 muestra las temperaturas interiores del Edificio de postgrados de la universidad a lo largo del año en verde, rojo y azul con líneas casi superpuestas (temperatura operativa, temperatura radiante y temperatura del aire respectivamente).

Teniendo en cuenta lo especificado por el RITE cuando se deba climatizar, los valores de confort obligatorios son (ACAIRE, Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones (RITE), 2017):

Invierno: Temperatura: 20 - 23°C

Humedad relativa: 40 – 60%

Verano: Temperatura: 23 – 25°C

Humedad relativa: 40 – 50%

De enero a mayo, la temperatura interior está rondando entre los 23 y 25°C, una temperatura que como ya se ha dicho con anterioridad, es una temperatura que se encuentra entre los valores de confort en verano. De octubre a diciembre se mantienen temperaturas más confortables con respecto al resto del año en esa época rondando entre los 23 y 24°C. En agosto tenemos temperaturas más bajas con respecto al resto del año alrededor de los 22°C dado que es un mes en los que se presentas brisas.

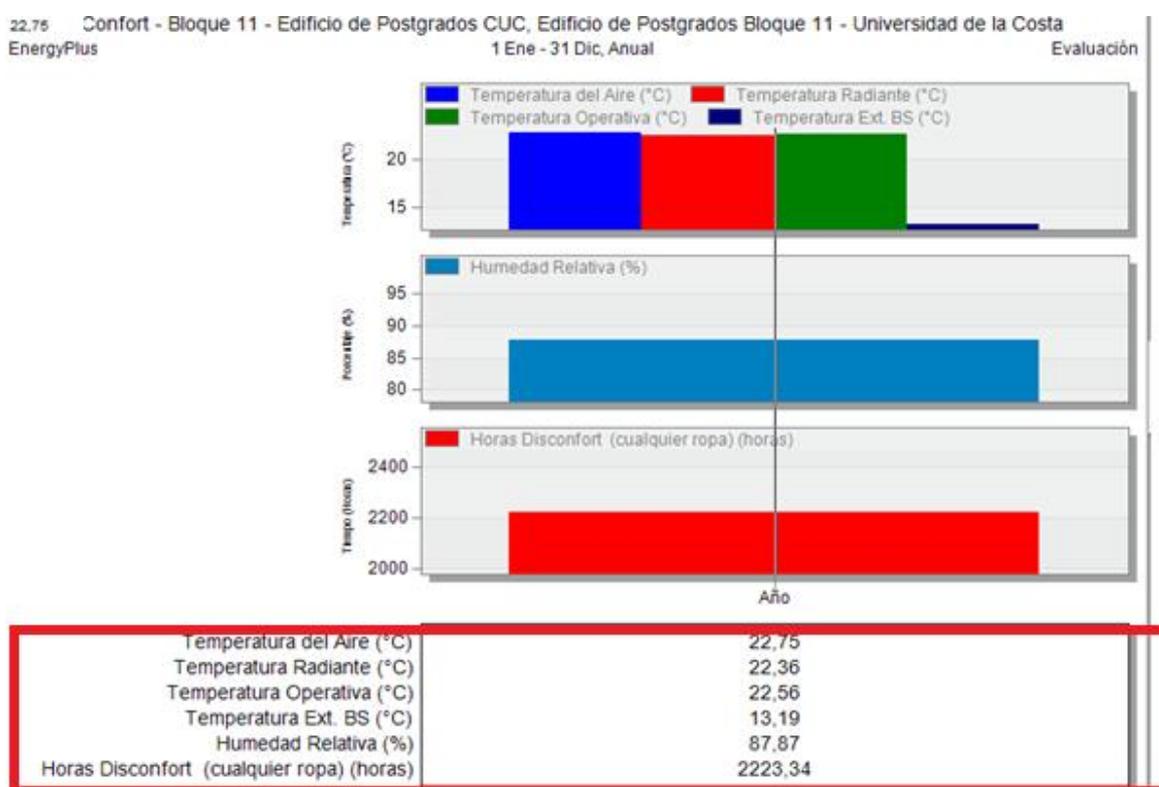


Figura 3 Gráfica de confort anual. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

Cómo se indica en la figura 11.3 la temperatura media anual al interior del Edificio de postgrados ha sido de 22,7°C con una humedad relativa del 87,87% y un total de 2223, 31 horas de disconfort debido a las temperaturas asociadas al interior del edificio.

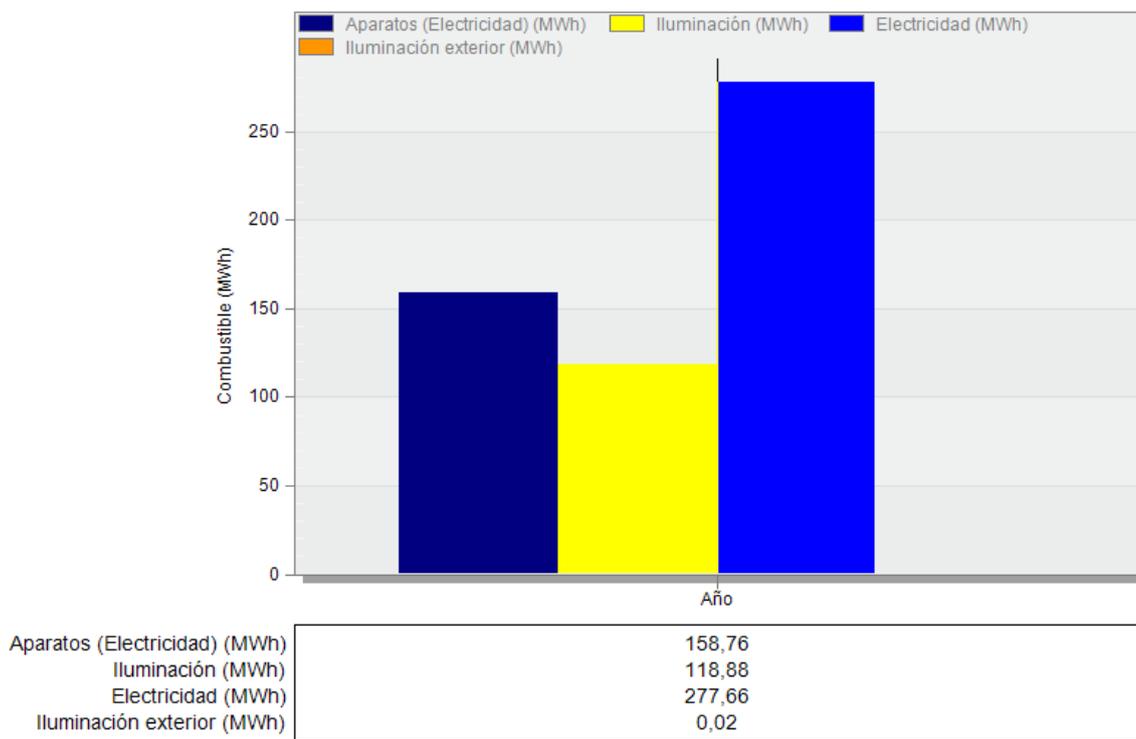


Figura 4 Grafica de consumo de combustible anual. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

En la figura 11.4 se indican los consumos de equipos de electricidad de todas las máquinas audiovisuales, iluminación y electricidad haciendo alusión al sistema de climatización del Edificio de postgrados a lo largo del año. El sistema de climatización haciendo referencia al sistema de refrigeración que es el que más consumo eléctrico registra, el siguiente hace referencia a los misceláneos y equipos de cómputos con los cuales cuenta el edificio en sus salones y salas informáticas y por último el sistema de iluminación.

De acuerdo a las gráficas y simulación realizada el consumo en electricidad del edificio seria de **555,32 MWh** en un año.

En conclusión se puede decir que debido a que es un edificio nuevo se comporta muy bien térmicamente en las dos épocas del año que tenemos en barranquilla verano e invierno (épocas de lluvias) y se pasa un poco más de frio en los meses de invierno.

En el siguiente apartado se realizarán una serie de simulaciones con la intención de mejorar el comportamiento y si es posible, reducir el consumo eléctrico del edificio de postgrados.

### **11.1 Análisis y comparación de los resultados de las simulaciones**

Una vez analizados los datos de la simulación del edificio en su estado actual, y concluido que se comporta muy bien térmicamente y que existen horas de discomfort en verano por la subida de temperaturas, lo primero que se ha de solucionar es la reducción del valor de esas temperaturas.

Se tiene en cuenta que al ser un edificio nuevo no se tiene pensado intervenir en la estructura y gran parte de sus elementos. Por ello, la primera simulación será cambiar la configuración de los equipos de climatización, de tal modo que se consiga aumentar la temperatura interna en el edificio manteniendo los criterios de confort ya mencionados.

#### **11.1.1 Primera Simulación.**

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, dando prioridad al estado de confort en el interior del edificio, el objetivo de la simulación será reducir las temperaturas al menor costo e intentando reformar lo menos posible. Por lo que se realiza el siguiente cambio en la configuración del sistema de refrigeración:

Refrigeración 25°C

Teniendo en cuenta que en la simulación base estaban configurados de la siguiente manera:

Refrigeración 24°C

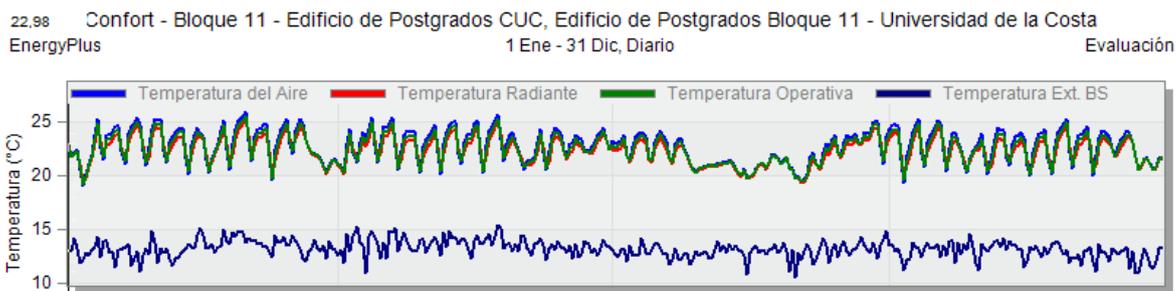


Figura 5 Grafica de temperaturas diarias de la 1° simulación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

La gráfica de la figura 11.5 nos indica que a pesar de haber modificado el valor de temperatura en 1° más arriba, no varía mucho el comportamiento de la temperatura al interior del edificio de postgrados ya que la temperatura media anual aumenta casi 1° y la humedad relativa se mantiene casi igual 87,46%. Sin embargo las horas de disconfort se ven reducidas casi en un 50% (de 2223,31 a 1223,34 horas) respecto a la simulación del edificio real (Ver figura 11.3). Mejorando el confort.

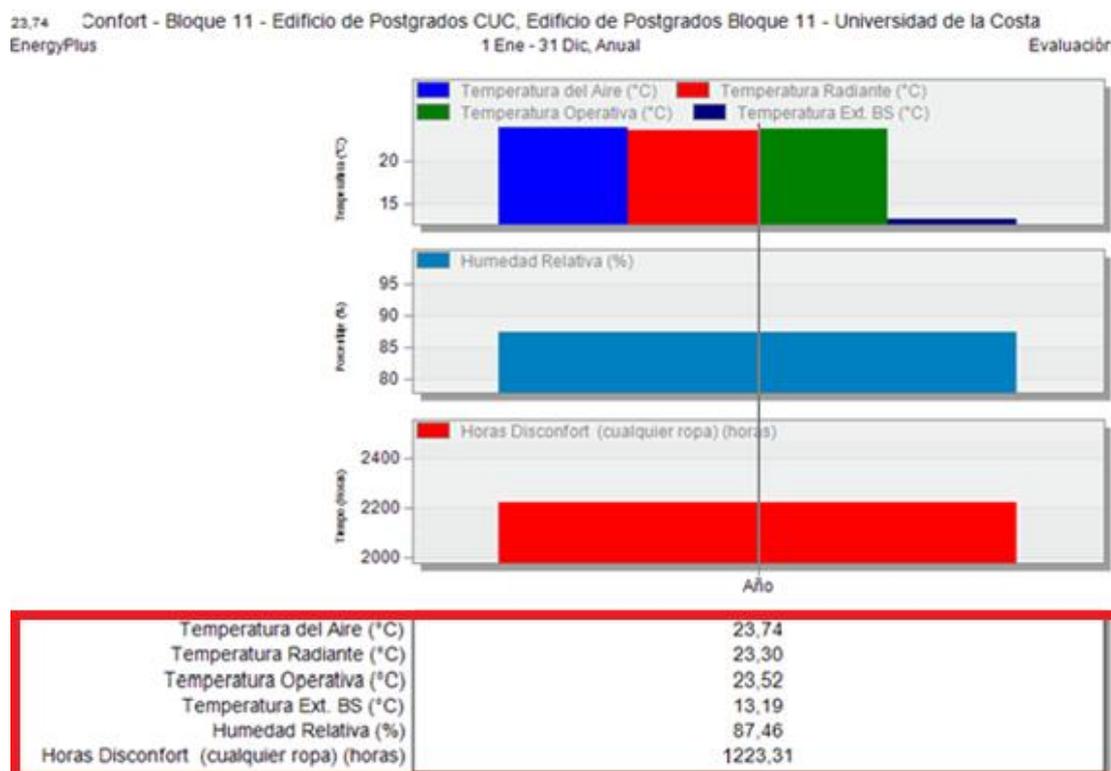


Figura 6 Grafica de confort anual de la 1° simulación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

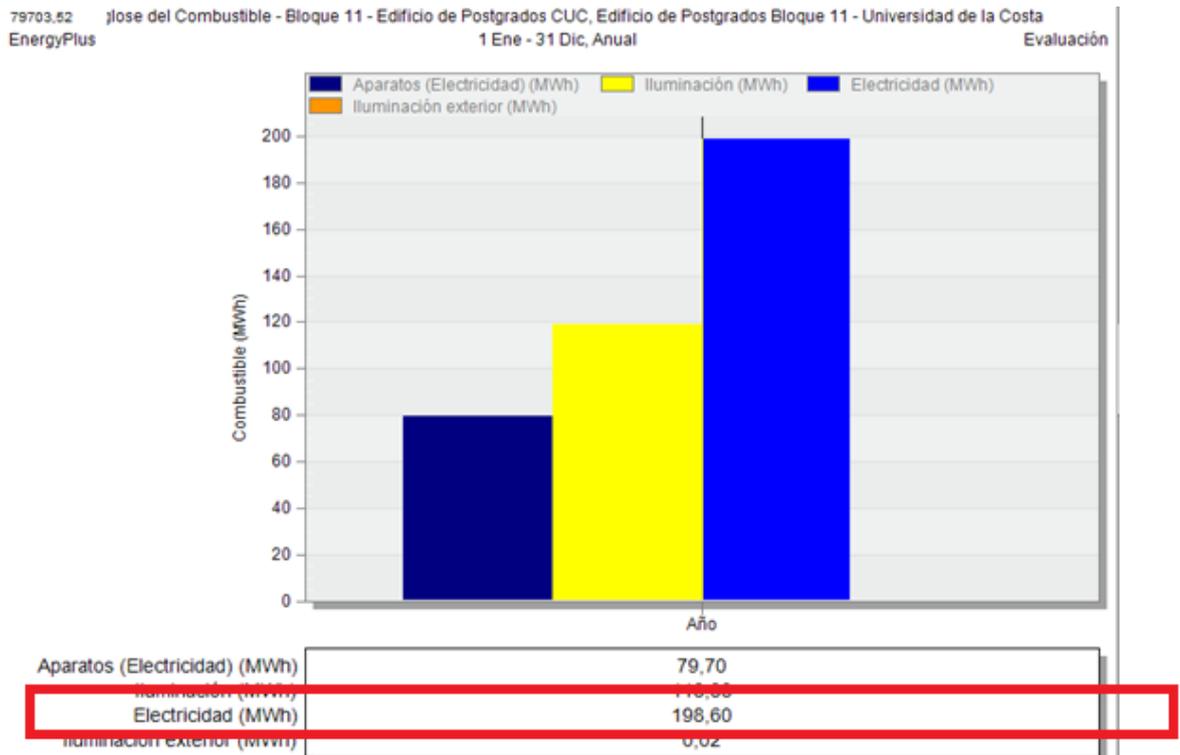


Figura 7 Grafica de consumo de combustible anual de la 1° simulación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

Al aumentar las temperaturas los equipos de climatización han trabajado un poco menos y el consumo de los mismos se ha disminuido un poco como se puede apreciar en las figuras 11.7 y 11.8 Los valores de consumo del sistema de refrigeración han variado de 277,66 a 198,60 MWh (79,06MWh menos). Para un consumo total en electricidad de **476,9 MWh** con respecto a la simulación inicial.

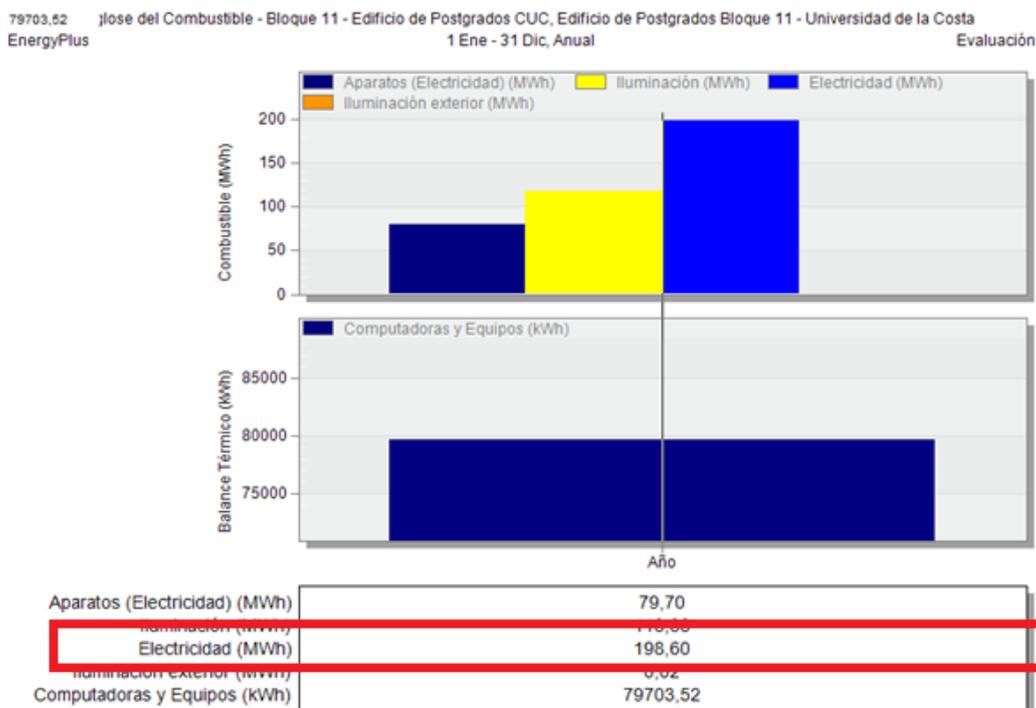


Figura 8 Grafica de consumo de combustible anual detallado de la 1° simulación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

### 11.1.2 Segunda Simulación

Una vez establecidas las temperaturas internas, el objetivo es seguir reduciendo el consumo de los equipos de climatización y mejorar el confort de los estudiantes. Para ello, la idea es conseguir que el frío consiga mantenerse por más tiempo en el interior, evitando pérdidas, puentes térmicos y consiguiendo un mayor aislamiento.

Cómo se ha comentado anteriormente las reformas deberían ser mínimas por tratarse de una estructura prácticamente nueva. En vista que el cambio de temperaturas en la configuración del sistema no ha logrado variar mucho el comportamiento de las temperaturas internas se decide evaluar por medio de la sustitución de los elementos que puedan influir en la Transmitancia térmica.

Para ello en esta simulación se han sustituido el material de las puertas interiores y exteriores con las que cuentan los salones del edificio por otras con un valor de

Transmitancia térmica menor, con menor porcentaje de puente térmico y por ende un mayor aislamiento térmico.

Se han cambiado todas las puertas de los salones y aulas de informática (a excepción de las de las salas de lectura que son de vidrio), estas puertas son de madera con un valor de Transmitancia térmica de  $2,823 W/m^2 - K$  sin puente térmico, por puertas de doble chapa metálica con un valor de Transmitancia térmica de  $3,124W/m^2 - K$ .

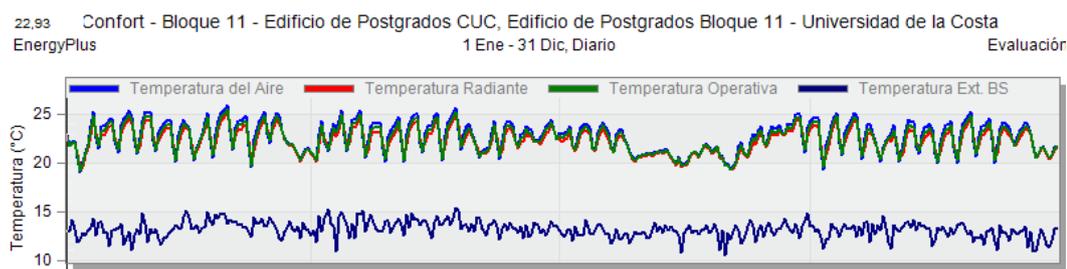


Figura 9 Grafica de temperaturas diarias de la 2° simulación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

La figura 11.9 muestra las temperaturas interiores de la segunda simulación y tal como se puede apreciar la diferencia es nula con respecto a la primera simulación, veamos el consumo de energía.

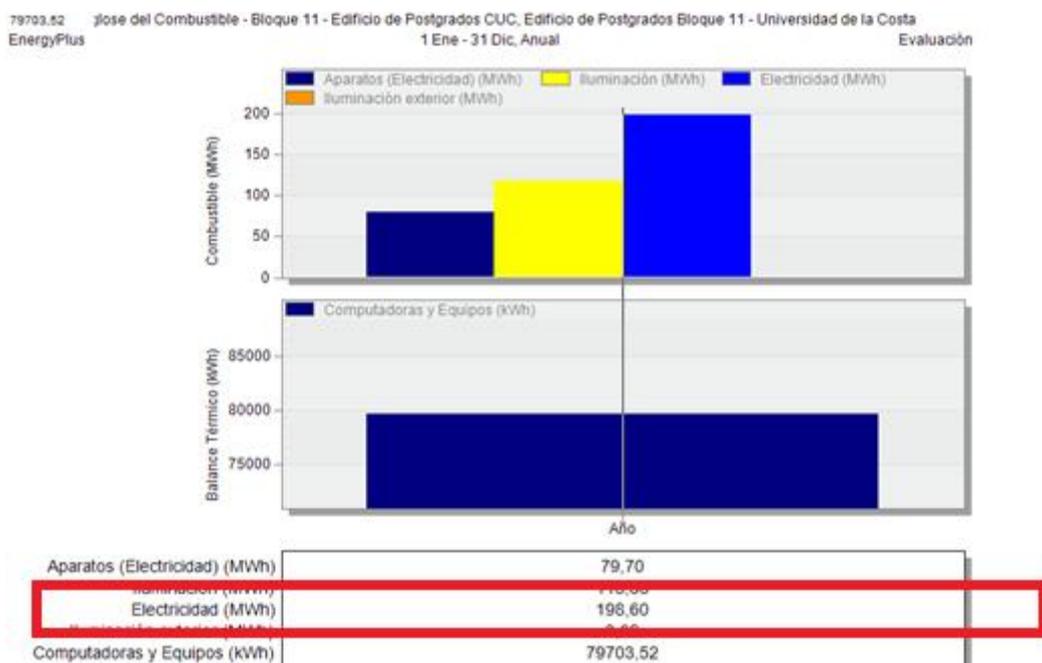


Figura 10 Grafica de consumo de combustible anual detallado de la 2° simulación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

Respecto al consumo del sistema de climatización la variación también es nula, se podría decir que esto se debe a que la diferencia entre el valor de Transmitancia térmica de las puertas metálicas y las de madera no es tan grande como para apreciar notablemente una diferencia de aislamiento y en consecuencia reducir el consumo.

### 11.1.3 Tercera Simulación

Dado que mejorando solo el aislamiento la diferencia de consumo no ha sido notable, en la siguiente simulación se mejora el aislamiento térmico de todos los cerramientos del edificio particularmente el de los salones. La idea sería colocar una capa de aislamiento térmico a toda la envolvente con el fin de poder mantener el frío por más tiempo con una temperatura interna más confortable.

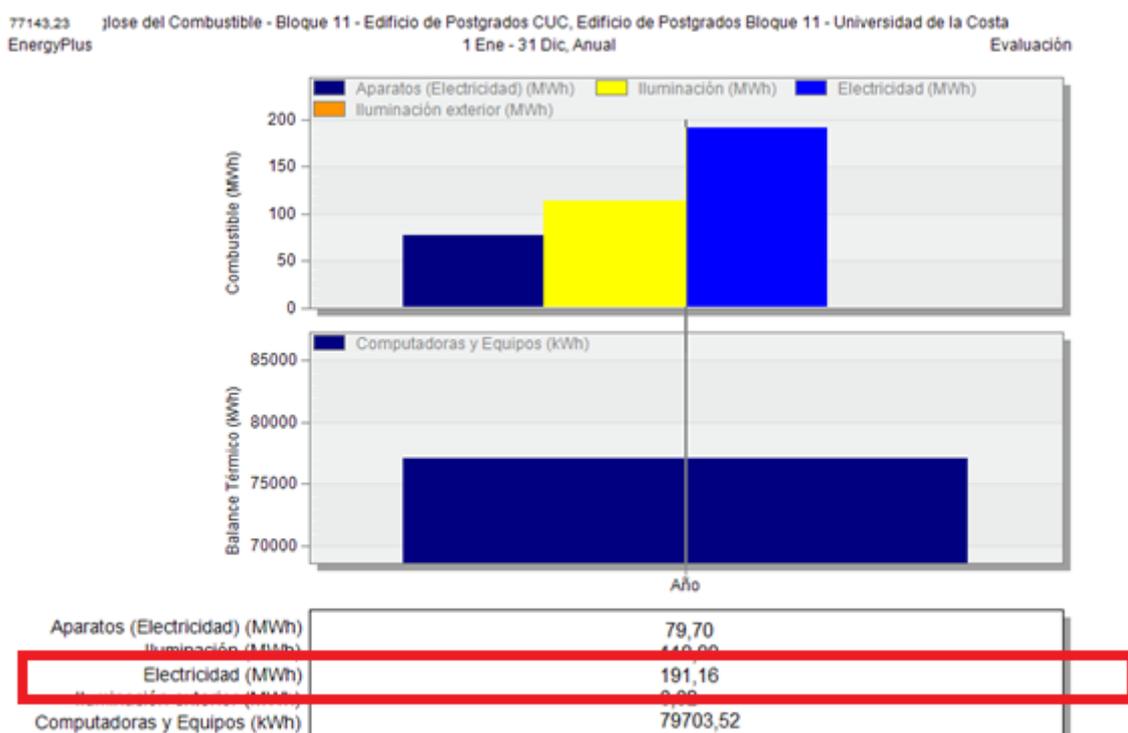


Figura 111 Grafica de consumo de combustible anual detallado de la 3° simulación. Elaborado por DesignBuilder, 2018.

Como se aprecia en la figura 11.11 el consumo del sistema de refrigeración ha bajado solo un poco a 191,1 MWh con respecto al consumo de la simulación inicial y la primera simulación (277,66 MWh y 198,60 MWh respectivamente). Es decir que el consumo total sería de **469,46 MWh**. Si se comparan estos consumos con los de la primera simulación donde solo se han modificado los valores de temperatura en la configuración en el sistema de climatización, observamos que el consumo total baja de 476,9 MWh a 469,46 MWh, poca diferencia para el gasto o inversión que puede acarrear la sustitución todas las puertas exteriores de madera y la colocación del aislamiento térmico en todos los cerramientos.

## **11.2 Propuesta de mejora**

Después de realizar las simulaciones y analizar los resultados, llegamos a la conclusión de que los cerramientos del edificio de postgrados tal y como están actualmente no tienen grandes pérdidas de frío, no resultando económicamente rentable una mejora de aislamiento.

Por ello, se propone una mejora en la configuración de los equipos de climatización, tal y como se han indicado en la 1ª simulación. De esta manera se consigue un poco más de confort y ahorro en el consumo de energía del sistema de refrigeración.

## 12. Conclusiones

La eficiencia energética se puede definir como el consumo inteligente de la energía. Las fuentes de energía son finitas, y por lo tanto, su correcta utilización se presenta como una necesidad del presente para que podamos disfrutar de ellas en un futuro. Por ello, reducir el consumo en los edificios siempre ha de ser un objetivo que nos hemos de plantear sin llegar a perder el confort. Pero antes la aplicación de energías renovables como la solar, se ha de estudiar la aplicación de medidas destinadas a la reducción del consumo energético mediante soluciones arquitectónicas, como la orientación, aislamientos, distribución, minimización de residuos, etc.

El edificio de postgrados utiliza el mismo sistema de climatización para todo el edificio, dada las condiciones de temperatura y ubicación de la ciudad no se hace necesaria calefacción solo refrigeración, los cuales están conectados a un sistema común en este tipo de edificaciones. Por ello, la temperatura y humedad que consiguen mantener en el ambiente esta sincronizada y los resultados de los datos recogidos durante el periodo de simulación, no muestran una gran diferencia de temperatura y humedad entre las diferentes zonas del edificio de postgrados.

Después de modelar y simular térmicamente el edificio de postgrados mediante el software DesignBuilder e incorporar modificaciones en las configuraciones de los equipos de climatización y mejoras en algunos elementos de los cerramientos, a través de tres simulaciones realizadas, en la primera simulación se realizó un aumento en la temperatura de 1°C con el fin de poder evaluar una posible reducción de energía en el sistema, dado que al aumentar la temperatura, los equipos del sistema se esforzarán un poco menos y por ende su consumo se verá afectado, tal como se muestra en las figuras 11.7 y 11.8. Con el fin de seguir reduciendo el consumo de los equipos de climatización se realizó una segunda simulación, en la cual se busca seguir reducción el consumo de energía, a través de la

sustitución de los elementos que puedan influir en la Transmitancia térmica, como por ejemplo cambiar el material de las puertas, sin embargo para esta simulación el cambio en el consumo de energía con respecto a la primera simulación fue nula, tal como se observa en la figura 11.10. En la tercera y última simulación se mejora el aislamiento térmico de todos los cerramientos del edificio con el fin de poder mantener el frío por más tiempo con una temperatura interna más confortable, obteniendo como resultado que el consumo de energía baje un poco, como se puede observar en la figura 11.11.

De acuerdo a las tres simulaciones realizadas podemos llegar a la conclusión de que la estructura actual del edificio de postgrados, tal y como están, tienen mucha inercia térmica y aíslan muy bien. Esto se debe a su gran espesor y poco porcentaje de huecos respecto al espacio total de la construcción.

Se propone una mejora en el edificio de postgrados de la universidad de la costa para adecuar el confort de los estudiantes. La mejora consiste en reconfigurar los equipos de climatización con un ajuste en los que la temperatura se encuentre en los niveles de confort. Este cambio genera una mejora en el consumo de electricidad que se ha intentado reducir mejorando el aislamiento de los cerramientos y mejorando la inercia térmica del edificio, pero como se ha comentado, la estructura funciona tan bien que no saldría económicamente rentable. La diferencia de consumo después de aplicar el aislamiento es muy poca para el gasto que conllevaría realizar la reforma.

### 13. Referencias

(2010). Obtenido de Gases refrigerantes:

<http://app1.semarnat.gob.mx:8080/sissao/archivos/Gases%20Refrigerantes.pdf>

(2 de Septiembre de 2017). Obtenido de Cálculos de cargas térmicas:

[http://www.fisicanet.com.ar/acondicionamiento/acondicionamiento/ap01\\_acondicionamiento\\_ambiental.p](http://www.fisicanet.com.ar/acondicionamiento/acondicionamiento/ap01_acondicionamiento_ambiental.p)

ACAIRE. (2017). *Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones*.

Republica de Colombia.

ACAIRE. (2017). *Reglamento Técnico de Instalaciones Térmicas en Edificaciones (RITE)*.

Bogotá: ACAIRE.

ASHRAE. (1997). *Fundamentals Handbook*.

ASHRAE. (2001). *Fundamentals Handbook*. En ASHRAE.

Bolivar, L., & Martinez, M. (6 de Marzo de 2014). Estudio de eficiencia energetica de equipos de aire acondicionado en la edificacion del bloque G en la universidad autonoma del caribe. Barranquilla, Atlántico, Colombia.

Carnicer, E. (2001). Aire acondicionado. En *aIRE ACONDICIONADO* (pág. 41). España: Thomson.

Carrier. (17 de Septiembre de 2018). *Biografía Carrier - Carrier refrigeración Ibérica*.

Obtenido de <https://www.carrier.com/commercial-refrigeration/es/ib/about/willis-carrier/>

Castillo, F. S. (2014). Control de refrigeración. En F. S. Castill, *Control de refrigeración* (pág. 52). Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Castro, E., & Jimenez , C. (2008). *Estudio comprativo para la debido seleccion del refrigerante utilizado en una camara frigorifica para refrigerar manzanas* . Ciudad de Mexico: tesis .

Celsius, C. G. (21 de Julio de 2017). *Revista Cero Grados Celsius*. Obtenido de <https://www.0grados.com/chillers-aspectos-tecnicos/>

D. Crawley, J. H. (15 de Octubre de 2017). *Constrasting the capabilities of building energy perfomance simulation programs*. Obtenido de Energy: [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/pdfs/contrasting\\_the\\_capabilities\\_of\\_building\\_energy\\_performance\\_simulation\\_programas\\_v1.0.pdf](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/pdfs/contrasting_the_capabilities_of_building_energy_performance_simulation_programas_v1.0.pdf)

DesignBuilder. (2018). *DesignBuilder Latinoamérica*. Obtenido de <https://www.designbuilder-lat.com/>

Díaz, J. (17 de Agosto de 2017). *www.sistemamid.com*. Obtenido de <http://sistemamid.com/preview.php?a=6135>

Energía, I. p. (2008). *Las energías renovables a ambos lados de la raya* .

Escuela Tecnolófgica Instituto Técnico Central . (16 de Enero de 2007).

<http://www.itc.edu.co/es>. Obtenido de <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/Apuntes/APUNTES%20REFRIGERACION/compresor.pdf>

general, I. e. (05 de Septiembre de 2017). *www.energianow.com* . Obtenido de [http://www.energianow.com/Articulos/valvula\\_expansion.pdf](http://www.energianow.com/Articulos/valvula_expansion.pdf)

Goribar, E. H. (1997). *Fundamentos de aire acondicionado y refrigeración*. Limusa.

IDEAM. (12 de Octubre de 2018). *CARÁCTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS DE*

*CIUDADES PRINCIPALES Y MUNICIPIOS* . Obtenido de

<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21789/1Sitios+turisticos2.pdf/cd4106e9-d608-4c29-91cc-16bee9151ddd>

- Karyono, T. H. (2014). Thermal comfort study of university students in Jakarta,. *Proceedings of 8th Windsor Conference: Counting the Cost of Comfort in a changing world.*
- Lijó, J. M. (2008). *Manual de Refriggeración*. Reverté.
- López, N. B. (2011). Manual Básico de Sisistemas de Aire Acondicionado y Extracción mecánica de Uso Común en Arquitectura. En N. B. López, *Manual Básico de Sisistemas de Aire Acondicionado y Extracción mecánica de Uso Común en Arquitectura* (págs. 44 - 70). Antiguo Cuscatlan.
- Luis Pérez-Lombard, J. (2008). A review on buildings energy consumption information. En *Energy and Buildings, Volumen 40* (págs. 394-398). ELSEIVER.
- Midiendo la eficiencia del Aire Acondicionado*. (2018). Obtenido de NERGIZA:  
<https://nergiza.com/eer-cop-seer-y-scop-midiendo-la-eficiencia-del-aire-acondicionado/>
- (2013). *Ministerio de Industria, Energia y Turismo, Reglamento de Intalaciones Termicas en los Edificios*. Madrid. Obtenido de Ministerio de Industria, Energia y Turismo, Reglamento de Intalaciones Termicas en losEdificios.
- Núñez Carrasco, R. A. (2012). Bioclimática, sostenibilidad y ahorro de energía. Manual de Técnicas de acondicionamiento Térmico. Madrid: CEU Ediciones.
- Ojer, J. M. (1996). Manual de climatización . En J. M. Ojer, *Manual de climatización Tomo II: Cargas térmicas* (pág. 101). México: Universidad Politecnica de Valencia.
- Olesen, B. W. (2002). Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. Energy Build.
- Pinzón, J. (2013). *Caracterización energética del edificio Luis Alejandro Suarez Copete (Tesis de pregrado)*. . Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Pizano, J. (1996). *Manual de climatización*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia.

*Plan de Eficiencia Energética*. (Julio de 2017). Obtenido de Refrigeración por absorción:

[http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portaenergia/pla\\_eficiencia\\_energetica/climatitzacio\\_2.es.html](http://www.caib.es/conselleries/industria/dgener/user/portaenergia/pla_eficiencia_energetica/climatitzacio_2.es.html)

Recknagel, S. H. (2000). Manual Técnico de Calefacción y Aire Acondicionado. Tomo II. Bellisco.

Revista Construdata. (2010). Construcción sostenible, materiales y sistemas. *Construdata Segunda Edición*.

Sanidad, M. d. (05 de 09 de 2017). *Gobierno de España*. Obtenido de

[https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4\\_leg.pdf](https://www.msssi.gob.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/agenBiologicos/pdfs/4_leg.pdf)

Serrano, S. M. (2012). Eficiencia energética en edificios residenciales y metodología para su calificación energética. En S. M. Serrano, *Eficiencia energética en edificios residenciales y metodología para su calificación energética* (págs. 13-15). UB-UPC.

Teli, D. J. (2012). Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. En D. J. Teli. *Energy Build*.

Universidad de la Costa, C. (20 de Agosto de 2015). Obtenido de

<https://www.cuc.edu.co/noticias/67-generales/2761-universidad-avanza-en-infraestructura>

WANG, S. K. (2001). HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION.

En S. K. WANG, *HANDBOOK OF AIR CONDITIONING AND REFRIGERATION* (pág. 565). Estados Unidos de America: McGraw Hill.

Wang, Z. L. (2014). "Thermal adaptation and thermal environment in university classrooms and offices in Harbin," *Energy Build*. En *"Thermal adaptation and thermal*

*environment in university classrooms and offices in Harbin,*” *Energy Build* (págs. 192–196.).

Whitman, W., & Johnson, W. (2000). *Tecnología de la refrigeración y aire acondicionado*. España: Paraninfo Thomson Learning.

Witt, F. P. (2000). *Fundamentos de Transferencia de Calor, 4a Ed.* Mexico: Pearson Educacion.

Zomorodian, Z. S. (2016). Thermal comfort in educational buildings: A review.