

DISEÑO ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DEL NUEVO EDIFICIO DE
LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

OMAR ARDILA SIERRA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN
BUCARAMANGA
2020

DISEÑO ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DEL NUEVO EDIFICIO DE
LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

OMAR ARDILA SIERRA

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE
ESPECIALISTA EN INGENIERÍA DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN

Director:

JULIAN ERNESTO JARAMILLO IBARRA
DOCTOR EN INGENIERÍA TÉRMICA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA DE REFRIGERACIÓN Y CLIMATIZACIÓN
BUCARAMANGA

2021

AGRADECIMIENTOS

A mi esposa, Adriana Rincón, por estar a mi lado en aquellos momentos difíciles y por todo el amor y la paciencia que me ha dado.

A mis hijas, Ariana María y Karen Daniela, por todo el tiempo que no pude compartir con ellas mientras elaboraba este documento.

A mis padres, Efraín y Felicitas, por el apoyo y acompañamiento incondicional que me ha ayudado a salir de situaciones difíciles.

Omar Ardila Sierra

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	9
1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	11
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA	13
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO	14
1.3.1 Objetivo general.....	14
1.3.2 Objetivos específicos.	14
2 ESTADO DEL ARTE	15
3 INFORMACIÓN DEL EDIFICIO	26
4 ELECCIÓN DE SOFTWARE.....	28
5 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y DESARROLLO DEL MODELADO	29
5.1 ESTRUCTURA Y DIMENSIONES DEL EDIFICIO.....	29
5.2 ESTRUCTURA DEL EDIFICIO DE LABORATORIOS DE IM.....	29
5.3 OCUPACIÓN, ILUMINACIÓN Y EQUIPOS	31
6 SIMULACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA MÁXIMA DEL EDIFICIO	34
6.1 CÁLCULO DE REFRIGERACIÓN	35
6.2 SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA	38
6.3 ANÁLISIS FINANCIERO	42
7 CONCLUSIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA	47

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1: Producción Energética en Colombia.....	12
Figura 2: Ubicación satelital del edificio de lab de IM	27
Figura 3: Vista 3D del edificio costado No-Oriental.....	30
Figura 4: Vista ortogonal modelado 3D del Edif de IM	30
Figura 5: Vista sombras del Edif IM el día 22 de febrero a las 16:00 horas.	31
Figura 6: Perfiles de uso y ocupación.....	32
Figura 7: Porcentajes de ahorro de cada tecnología	43
Figura 8: Consumo de energía en cada escenario	44

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1: Áreas por piso del Nuevo Edificio de Laboratorios.	26
Tabla 2: Listado de equipos principales seleccionados en el diseño inicial.	33
Tabla 3: Resultado estudio de cargas térmicas Edif IM mediante Design Builder .	36
Tabla 4: Comparación cargas térmicas inicial vs calculada por DB.	37
Tabla 5: Consumo anual de energía en condiciones iniciales.	40
Tabla 6: Consumo anual de energía con vidrios de alta eficiencia.	40
Tabla 7: Consumo anual de energía con aletas en las ventanas.	41
Tabla 8: Consumo anual de energía con aletas y vidrios de alta eficiencia.	41
Tabla 9: Consumo anual de energía con sistema VRF y Recuperador.	41
Tabla 10: Consumo anual de energía con chiller y economizador.	42
Tabla 11: Ahorro obtenido por cada medida implementada.	43

RESUMEN

TITULO: DISEÑO ENERGÉTICAMENTE EFICIENTE DEL NUEVO EDIFICIO DE LABORATORIOS DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.¹

AUTOR: ARDILA SIERRA OMAR.²

PALABRAS CLAVES: Eficiencia energética, aire acondicionado, carga térmica, simulación energética, medidas pasivas y medias activas de ahorro energético.

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo el lector podrá encontrar una diferencia de la energía eléctrica consumida por año entre el diseño tradicional de edificios y el resultado de la incorporación de medidas pasivas y activas de eficiencia energética.

Este estudio fue aplicado específicamente al nuevo edificio de laboratorios de la escuela de Ingeniería Mecánica, el cual consta de 5 pisos con un área total de 7.185,92 m², donde se encuentran ubicados los laboratorios de Transferencia de Fluidos, Potencia Fluida, Motores, Sistemas térmicos, Control y sistemas dinámicos entre otros. Adicionalmente contiene 8 aulas de clase, oficinas de profesores, dirección de escuela y posgrados además de las áreas operativas como racks y subestaciones eléctricas.

Para la realización de este análisis energético se seleccionó el software Design Builder (DB) cuyo motor de cálculo es el Energy Plus.

Inicialmente se utilizó el software DB para calcular la carga térmica del edificio con el cual se procedió a realizar una comparación con el reporte calculado con el software Chvac de Elite, con el fin de corroborar la información inicial del edificio para iniciar las simulaciones.

¹ Trabajo de grado

² Facultad de ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Mecánica, Especialización En Ingeniería de Refrigeración y Climatización, director: JULIAN JARAMILLO Dr. en Ingeniería Térmica.

Se realizaron 4 simulaciones, cada una con la implementación de diferentes medidas de ahorro energético y se obtuvieron diferentes consumos totales de energía por año, lo cual sirvió para conocer el beneficio de cada medida y también la agrupación entre ellas.

ABSTRACT

TITLE: ENERGY-EFFICIENT DESIGN OF THE NEW BUILDING OF LABORATORIES OF THE SCHOOL OF MECHANICAL ENGINEERING OF THE UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.³

AUTHORS: ARDILA SIERRA OMAR.⁴

KEYS WORDS: Energy efficiency, air conditioning, thermal load, energy simulation, passive measures and active means of energy saving.

DESCRIPTION:

In the present work, the reader will be able to find a difference in electrical energy consumed per year between the traditional design of buildings and the result of the incorporation of passive and active measures of energy efficiency.

This study was applied to the new building of laboratories of the school of mechanical engineering, which consists of 5 floors with a total area of 7,185.92 m², where the Fluid Transfer Laboratories, Fluid Power, Motors, Systems are located Thermal, Control and dynamic systems among others. Additionally, it contains 8 classrooms, faculty offices, school and postgraduate management, as well as operational areas such as racks and specifically electrical substations.

In order to carry out this energy analysis, the Design Builder (DB) software was selected whose calculation engine is the Energy Plus.

Initially the DB software was used to calculate the thermal load of the building with which a comparison was made with the report calculated with the Chvac de Elite software, in order to corroborate the initial information of the building to start the simulations.

³ Degree Work

⁴ Faculty of Physicomechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Specialization in Refrigeration and Air Conditioning Engineering, director: JULIAN JARAMILLO Dr. in thermal engineering

Four simulations were carried out, each with the implementation of different energy saving measures and different total energy consumptions per year were obtained, which helped us to know the benefit of each measure and the grouping among them.

INTRODUCCIÓN

El deterioro progresivo del medio ambiente causado por el cambio climático ha obligado a la creación de instituciones como el Consejo Mundial de la Energía, (WEC)⁵; acreditado por la ONU y principal red imparcial que representa a más de 3000 organizaciones en casi 100 países, promoviendo durante casi un siglo, debates sobre la energía y la creación de políticas energéticas de suministro y uso sostenible de la energía en beneficio de todos.

Entre tanto, el ministerio de minas de Colombia, a través de la UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética), ha desarrollado e implementado el PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017 – 2022, con el que pretende lograr el cumplimiento de las metas del país frente a los compromisos de ahorro energético, adquiridos por el país en la COP21⁶ para el año 2030, como la implementación de sistemas de aire acondicionado eficientes energéticamente y libres de sustancias agotadoras de ozono, de bajo potencial de calentamiento global.

En atención a lo anterior, el presente trabajo busca brindar a la Universidad Industrial de Santander, el resultado de la aplicación de tecnologías de ahorro y eficiencia energética en edificios, que pueden ser estudiadas y aplicadas en futuros proyectos arquitectónicos, con grandes ventajas de tipo económico, ecológico y de imagen para la universidad.

⁵ Tomado de: <https://www.worldenergy.org/>

⁶ XXI Conferencia Internacional sobre Cambio Climático; Francia, 2015.

El objetivo principal de esta monografía es estudiar y determinar una propuesta de ahorro energético para el nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica, implementando medidas pasivas y activas en sus diseños, los cuales son analizados mediante el software de cálculo de consumo de energía Design Builder cuyo motor de cálculo es el software Energy Plus desarrollado por el departamento de energía de los Estados Unidos, considerado uno de los más confiables a nivel mundial. Para lograr dicho propósito, este documento, esboza desde la recolección de la información correspondiente al diseño original, es decir, sin la implementación de nuevas tecnologías de ahorro de energía, la simulación energética de cada una de las medidas aplicables por separado y por último la descripción del resultado obtenido.

Como se observa más adelante en los resultados, la implementación de equipos de aire acondicionado más eficientes junto con economizadores o recuperadores de energía, son el mayor potencial de ahorro energético de edificios, el cual puede ser combinado con diseños pasivos que disminuyan la demanda energética requerida para confort térmico.

1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

“El consumo de energía en el planeta ha crecido exponencialmente, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX. En la actualidad, el consumo energético rebasa los 12,476 mtpé (millones de toneladas de petróleo equivalente) (BP, 2013), de los cuales, más del 90% se deriva de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), a una tasa de crecimiento promedio del 2% anual (The World Bank, 2014). Estos niveles de consumo exorbitantes se deben a factores como el acelerado crecimiento poblacional, la urbanización intensiva y a las elevadas demandas de los diversos procesos de industrialización a nivel mundial. En consecuencia, el enorme consumo energético provoca la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), principalmente de dióxido de carbono (CO₂) y un severo y acelerado deterioro del medio ambiente.” (García Chávez, 2014).

Por lo anterior, la mayoría de los países del mundo han venido legislando en búsqueda de reglamentar el uso y el consumo de energía y agua, con el fin de frenar un tanto la aceleración del impacto ambiental que se produce al generar energía y la contaminación y reducción de los recursos hídricos.

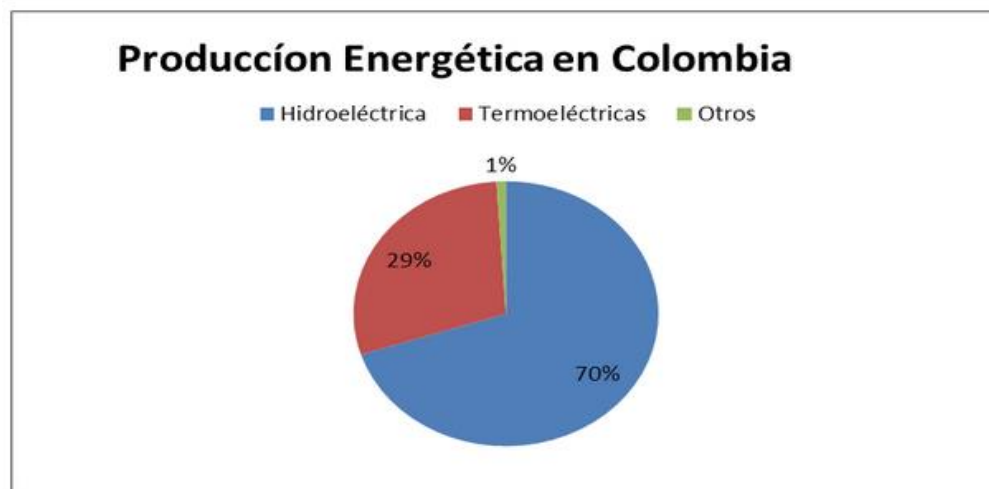
Algunas de las principales acciones que se están implementando a nivel mundial para reducir el impacto ambiental causado por la producción de energía son las siguientes:

- Reducción de la relación CO₂/kW al utilizar recursos fósiles.
- Diversificación de la matriz energética.

- Ahorro de energía y mejoramiento de la Eficiencia Energética.

Por otra parte, en Colombia, la energía eléctrica generada a partir de combustibles fósiles corresponde al 29%, mientras que las hidroeléctricas producen el 70% del total consumido y solo el 1% se genera a partir de otros métodos como la utilización de energías renovables.

Figura 1: Producción Energética en Colombia



Fuente: <http://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-produccion-energetica-del-pais-su-competitividad/211733-7/302015>.

La gráfica anterior nos indica claramente, que mientras en el mundo se está hablando de la implementación de medidas que mitiguen el impacto ambiental, en Colombia, pese a que existen programas como el Plan Nacional de Uso Racional de Energía (URE) del ministerio de minas y energía, y la Ley 697 de 2001 mediante la cual se fomenta el uso racional y eficiente de la energía, y promueve la utilización de energías alternativas; aún queda mucho camino por recorrer en cuanto a la implementación de estas medidas encaminadas a la optimización del gasto energético. No obstante, la resolución 0549 de 2015 por la cual se reglamenta el

Capítulo 1 del Título 7 de la parte 2, del Libro 2 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los parámetros y lineamientos de construcción sostenible y adopta la Guía para el ahorro de agua y energía en edificaciones, pretende lograr la implementación de medidas de ahorro energético desde las etapas tempranas de la planeación de las nuevas edificaciones.

Sin embargo, pese a que en Colombia cada vez es más común oír hablar de eficiencia energética, algunos empresarios utilizan dicha frase como parte de su publicidad, pero no todos tienen una formación medianamente aceptable sobre el tema y mucho menos es requerida y verificada por los dueños de proyectos.

Durante los últimos años en la Universidad Industrial de Santander se han ejecutado proyectos de inversión relacionados con la construcción y mejoramiento de su infraestructura lo cual, si bien es un factor necesario y benéfico para el crecimiento de su capacidad y su desarrollo investigativo; en su planeación no se ha considerado de manera relevante el análisis del ahorro energético de sus diseños arquitectónicos y del acondicionamiento del aire interior.

Actualmente la Universidad carece de políticas y directrices en cuanto a implementación de tecnologías de ahorro y gestión energética en sus instalaciones, por lo cual, de continuar así tendrá un impacto negativo económico y de imagen a mediano plazo.

1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA

La presente investigación tiene como fin principal distinguir los resultados cualitativos y cuantitativos obtenidos al implementar medidas pasivas y activas de ahorro de energía en un diseño convencional ya establecido para una nueva edificación educativa. Esto permitirá establecer un modelo de referencia en futuros

proyectos de inversión en infraestructura de la Universidad Industrial de Santander acorde con los parámetros y lineamientos la Resolución 0549 de 2015.

Como parte de estos resultados se tendrá un análisis financiero que servirá como base para argumentar la viabilidad económica de concebir el tema de ahorro energético en las etapas tempranas de planeación.

No menos importante que lo anterior, el desarrollo de la presente monografía le permite a la Universidad contar con estudios a nivel de posgrado que le ayudarán en la disminución del impacto ambiental y sobrecalentamiento global y así mismo, convertirse en una de las primeras instituciones educativas a nivel nacional en incluir en sus diseños arquitectónicos el concepto de edificios energéticamente eficientes.

1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO

1.3.1 Objetivo general. Formular una propuesta de ahorro energético mediante una combinación de medidas pasivas y activas para el nuevo edificio de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos.

- ✓ Revisar el estado del arte y seleccionar las medidas aplicables.
- ✓ Analizar la propuesta convencional en términos de consumo energético e identificar posibles aspectos críticos susceptible de mejora.
- ✓ Proponer sustituciones o variaciones a la propuesta convencional implementando medidas pasivas y activas de ahorro energético.
- ✓ Determinar los ahorros obtenidos mediante la aplicación de las medidas.
- ✓ Realizar un análisis financiero de las propuestas.

2 ESTADO DEL ARTE

De acuerdo con la línea base determinada en el Anexo 1 de la resolución 0549/15; para el área de Bucaramanga, el consumo promedio de energía en edificios educativos es de 72 kWh/m²-año; mientras que el consumo promedio de agua es de 50 lt/día.

Vale la pena aclarar que existe una diferencia entre el consumo promedio de energía de las edificaciones con respecto a todos los sectores incluyendo el industrial, y el porcentaje de consumo de energía de los equipos HVAC⁷ requeridos para proporcionar las condiciones de confort térmico promedio de cada edificio.

Hay poca duda de que, para reducir las emisiones de carbono, es crucial ocuparse de la sostenibilidad ambiental de la industria de la construcción a largo plazo y de la subsecuente ocupación de las edificaciones.

En la mayoría de la literatura escrita hasta el momento sobre el contexto de la construcción sostenible, se hace referencia al alto porcentaje de consumo de energía de las edificaciones respecto al consumo promedio mundial el cual se taza entre el 60 y 70%.

¿Qué significa construcción sostenible?

Como lo describe el Ministerio de Vivienda de Colombia en su página web⁸; una construcción sostenible es aquella que está en concordancia con el sitio, hace uso de energía, agua y materiales de un modo eficiente y provee confort y salud a sus

⁷ HVAC: Heating, Ventilation and Air Conditioning

⁸ <http://www.minvivienda.gov.co/cambio-climatico/mitigacion/construccion-sostenible>

usuarios. Todo esto es alcanzado gracias a un proceso de diseño, consciente del clima y la ecología del entorno donde se construye la edificación.

La definición de edificaciones sostenibles es amplia y cubre un amplio rango de aspectos. Los aspectos típicos que caben dentro del espectro de edificaciones sostenibles incluyen:

- ✓ Eficiencia energética
- ✓ Eficiencia en agua
- ✓ Materiales de construcción de baja energía embebida
- ✓ Calidad del ambiente interior
- ✓ Sostenibilidad del emplazamiento
- ✓ Edificaciones y entorno exterior
- ✓ Sostenibilidad urbana

¿Qué es Confort térmico?

El confort térmico es la “condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”⁹, (ANSI/ASHRAE , 2004). Las condiciones de confort dependen de la actividad física desarrollada y del tipo de vestimenta de los ocupantes del edificio. Sin embargo, como norma general, el confort térmico se obtiene a una temperatura entre 21°C y 25°C, con una humedad relativa entre el 20% y el 75%.

El confort térmico no sólo depende de la temperatura y la humedad relativa. Factores como las características del vestido, características del tipo de trabajo y otros factores del ambiente como la presión de vapor en el aire y la velocidad del aire, determinan si una persona se encuentra en condiciones de confort. Existen

⁹ ANSI/ASHRAE Standard 55 (ASHRAE, 1992)

diferentes métodos para determinar si existen o no, las condiciones de confort; entre ellos se encuentran el modelo de Fanger¹⁰, (Fanger, 1972); entre otros.

¿Qué son sistemas activos y pasivos?

Las investigaciones y desarrollos tecnológicos que se han generado en torno a la concepción de edificios cada vez más sostenibles energéticamente han logrado una sinergia entre las diferentes disciplinas que conforman la industria de la construcción, apuntándole a un equilibrio entre sistemas pasivos y activos.

Partiendo del concepto de los parámetros de diseño, que tienen una gran influencia en el aspecto térmico de los edificios, obtener una respuesta de ahorro sin la necesidad de sacrificar la comodidad de los usuarios, es posible, al encontrarse la correcta combinación y aplicación de sistemas pasivos y activos, lo cual trae como resultado la obtención de una edificación sostenible.

Para conocer más acerca de ello, se hará una revisión de los avances tecnológicos actuales junto con sus beneficios en ahorro, eficiencia energética y sostenibilidad a aquellos proyectos en los que se han aplicado.

En la crisis energética de los 70, una parte importante del mundo de la arquitectura descubrió que las energías “convencionales” que soportaban a la sociedad no eran un bien ilimitado y que podía explotarse sin ninguna prevención, lo cual era capaz de provocar problemas de magnitudes incontrolables. En aquel momento, algunos arquitectos replantearon consecuentemente el concepto de edificio moderno, tanto en su concepción funcional como en su concepción estética.

Sistemas pasivos

¹⁰ FANGER, P. O. Thermal confort. Nueva York: Mc Graw. (1972).

Los sistemas pasivos se consideran un método de diseño implementado, principalmente, en la arquitectura sostenible, cuya finalidad es lograr el acondicionamiento de un edificio utilizando a su favor los recursos y variables del diseño arquitectónico, como son: orientación del edificio, envolvente, materiales de construcción, el sol, viento, entre otras. Su objetivo es minimizar el uso de los principales sistemas consumidores de energía (aire acondicionado e iluminación, por ejemplo)¹¹.

Generalmente, involucran el aprovechamiento de la energía solar a través de la orientación de muros y ventanas; en climas fríos, para reducir la demanda de calefacción, y en climas extremos, para el almacenamiento de energía en la masa térmica de los materiales de construcción, lo que a su vez representa ahorros considerables en la capacidad y el consumo de aire acondicionado.

Debido a que gran parte del calor o del frío se transfiere a través del techo, los muros y las fachadas, una de las principales estrategias consideradas en la implementación de sistemas pasivos es la utilización de aislante térmico, con baja conductividad térmica para que sea efectivo.

El uso adecuado de la vegetación es otro elemento para regular la relación con el medio. Los llamados techos o muros verdes consisten en soportes para vegetación en forma de jardineras o mallas especiales para su instalación, actuando como aislantes térmicos, filtros solares y humidificadores del aire, brindando sombra y enfriamiento por evaporación, además de que agregan un valor estético al edificio. Actualmente, existen sistemas de envolventes que buscan la eficiencia energética y reducir las ganancias de calor con la implementación de aleros móviles, lo que permite la captación directa del sol y su regulación conforme varía la luz solar. Es

¹¹ Tomado de la revista mundohvacr.com: <https://www.mundohvacr.com.mx/2015/11/sistemas-activos-y-pasivos-la-combinacion-mas-eficiente-en-la-proyeccion-de-espacios/>

por medio de dichos elementos móviles que se han logrado la automatización y el control de asoleamiento a lo largo del año, incluso, de un día, con un consumo de energía despreciable.

La evolución tecnológica dicta una tendencia en la que los muros son sistemas complejos, compuestos por materiales combinables, con la capacidad de diferenciar las orientaciones y la envolvente del edificio para generar las condiciones de luz, sombra, aislamiento y ventilación deseadas.

Una vez conocida todas las opciones de sistemas pasivos disponibles en el mercado, es de gran importancia llevar a cabo los estudios necesarios del proyecto y su ubicación, para saber cuáles son las estrategias más convenientes por elegir.

No hay un sistema mejor que otro: todos funcionarán de manera óptima siempre y cuando se apliquen tomando en cuenta el contexto de cada obra en particular y se tenga una combinación correcta de ellos, respecto del resto de la construcción.

Ahora bien, el enfriamiento se produce por la transmisión de calor entre dos sistemas y/o superficies (aire-agua, aire-aire, aire-suelo, etc.) que intercambian energía mediante diferentes mecanismos: evaporación, conducción, convección o radiación. Las posibilidades de enfriamiento pasivo son limitadas, pero aplicadas junto con las técnicas de ventilación pasiva pueden dar óptimos resultados.

Para el diseño de sistemas de enfriamiento pasivo se consideran varios factores de calor naturales:

- ✓ La absorción de calor asociada al proceso de evaporación: Enfriamiento evaporativo. La absorción de calor por el agua permite generar una disminución de las temperaturas y una mayor sensación de confort por incremento de la humedad relativa.

- ✓ La bóveda celeste, de carácter frío, especialmente en noches claras: enfriamiento radiante.
- ✓ Las temperaturas frías del terreno: enfriamiento conductivo. El mecanismo de transferencia térmica entre el terreno y la edificación es la conducción (intercambio energético sólido).
- ✓ El aire frío de la noche: enfriamiento convectivo. La convección del aire frío nocturno a través de la edificación o de los componentes del edificio refrigerará la masa térmica en climas con grandes variaciones de temperatura entre el día y la noche.

El Anexo No 1 de la resolución 0549 de 2015, define que las Medidas de Eficiencia Energética Pasivas¹² tienen que ver con los aspectos civiles-arquitectónicos del diseño de edificaciones. Estas características determinan la manera, forma y detalles del cerramiento del edificio que tienen relación directa con su eficiencia energética.

Relación Ventana / Pared: Esta es la relación del área de ventanas u otras áreas de vidrios con el área bruta de pared exterior llamada Relación Ventana/Pared (RVP). Las ventanas generalmente transmiten calor hacia dentro del edificio a una tasa mayor que las paredes. Por tanto, un edificio con RVP mayor ganará más calor que un edificio con un RVP menor.

Sombra - Horizontal: En los climas tropicales donde la ganancia de calor en el edificio se vuelve una desventaja, las ventanas con sombra ayudan a reducir la ganancia de calor hacia el edificio. Los dispositivos de sombra horizontal (llamados aleros en algunos países), son usados arriba de los vanos de las ventanas

¹² Tomado del Anexo No 1: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones:
<http://www.minvivienda.gov.co/Documents/ViceministerioVivienda/ANEXO%201%200549%20-%202015.pdf>

protegiendo así a las ventanas de la radiación solar directa. Estos son usados en superficies de paredes donde la radiación solar incidente viene en un ángulo alto.

Sombra - Vertical: Los dispositivos de sombra vertical son usados a los lados de los vanos de las ventanas protegiendo así a las ventanas de la radiación solar directa. Estos son usados en superficies de paredes donde la radiación solar incidente viene en un ángulo bajo.

Sombra - Combinada: Una combinación de dispositivos de sombra horizontales y verticales se usan en las fachadas que experimentan ángulos altos y bajos del sol durante distintas épocas del año. Esto también se llama sombra de canasta de huevo o retícula.

Coeficiente de transferencia de calor U del Vidrio: El Valor de U es la cantidad de calor en unidad de tiempo a través de una unidad de área de un material o superficie, inducido por la diferencia de temperatura unitaria entre los ambientes de cada lado. Las unidades del coeficiente U son $W/m^2/K^{13}$. La tasa de pérdida de calor de una ventana se indica en términos de su valor U. Entre más bajo sea el Valor U, mayor es la resistencia de una ventana al flujo de calor y mejores sus propiedades aislantes.

Coeficiente de ganancia de calor del Vidrio: SHGC es la relación de la ganancia de calor solar que ingresa al recinto a través del área de la ventana. La ganancia de calor solar incluye el calor solar transmitido en forma directa y la radiación solar absorbida, que luego es irradiada, conducida o enviada al recinto por convección. Más específicamente, la relación SHGC es la cantidad de calor admitido a través del vidrio versus el calor total incidentes sobre el vidrio en virtud de la radiación solar directa, y se refleja como un sencillo porcentaje o fracción.

¹³ Derivado de ASHRAE 90.1-2004

Valores del conjunto de acristalamiento: Se requiere una combinación de U y SHGC para seleccionar el tipo correcto de vidrio.

Coeficiente de transferencia de calor U del muro: La tasa de transferencia de calor de una pared se indica en términos de su valor U. Entre más bajo el valor de U, mayor es la resistencia de una pared al flujo de calor y mejores sus propiedades aislantes. El aislamiento ayuda a reducir el valor U de la Pared.

Coeficiente de transferencia de calor U de la cubierta: La tasa de transferencia de calor de un techo se indica en términos de su valor U. Entre más bajo el Valor U, mayor es la resistencia de un techo al flujo de calor y mejores sus propiedades aislantes. El aislamiento ayuda a reducir el Valor U del techo.

Reflectividad Pared: La Reflectancia de la Pared cuantifica la reflectividad de la radiación solar incidente de la pared. Específicamente, es la relación de la radiación solar reflejada del material de la superficie relativa a la radiación solar incidente sobre esta. Tratándose de una fracción sin dimensión, también se puede expresar como porcentaje, y se mide en una escala de cero para la potencia de reflejo nula de una superficie perfectamente negra, hasta 1 para el reflejo de una superficie perfectamente blanca.

Reflectividad techo: La Reflectancia de la cubierta cuantifica la reflectividad de la radiación solar incidente del techo.

Estanqueidad: Esta es la medida de la resistencia del edificio a las fugas de aire entrantes o salientes. La fuga de aire excesiva dentro o fuera del edificio resulta en aumentos de consumo de energía debido a que los equipos de climatización tienen que trabajar más duro para mantener las temperaturas internas a los niveles deseados.

Ventilación Natural: El proceso de suministrar y remover aire a través de un recinto interno sin usar sistemas mecánicos.

Iluminación natural: Hay momentos en los que los usuarios de un edificio encienden las luces pese a tener luz día adecuada. Esto resulta en desperdicio de energía. Los controladores fotoeléctricos sienten la disponibilidad de luz día dentro de las edificaciones y apagan o encienden las luces según haga falta. Por ende, esto aumenta la eficiencia energética de las edificaciones.

Sistemas activos

Las medidas activas de ahorro energético están relacionadas con sistemas que requieren energía para su funcionamiento, pero que a su vez incorporan un desarrollo tecnológico que permite que el consumo energético se ajuste a las necesidades del edificio, convirtiendo de esta manera a los sistemas que lo contienen en elementos altamente eficientes.

A continuación, se enuncian algunos tipos de tecnologías activas que promueven el ahorro de energía en edificios, según los define el *Anexo No 1: Guía de construcción sostenible para el ahorro de agua y energía en edificaciones*:

Densidad de potencia de luz [LPD - W/m²]: La densidad de la potencia de luz es la potencia eléctrica total usada por las luces instaladas en el edificio, dividido por el área total del edificio. Para un nivel de iluminación dado, entre más bajo sea el LPD, más eficiente será el edificio. Depende directamente del uso de lámparas eficientes en energía.

Controles [sensores de ocupantes, Zonificación]: Los controles de iluminación que perciben la ocupación de un área y en consecuencia encienden/apagan las luces son útiles en las oficinas y otros tipos de edificaciones.

Controles iluminación exterior: Los controles basados en temporizadores o de nivel de luz exterior son útiles para reducir el consumo energético de las edificaciones.

Economizadores de aire (W/m^2): Son equipos que se instalan en los sistemas de aire acondicionado que admiten aire fresco cuando la temperatura ambiente exterior se equiparan con los niveles de temperatura interior deseadas. Este equipo también detiene la operación del chiller ahorrando así energía.

Coeficiente de desempeño (COP) - del aire acondicionado; se define como la relación entre la tasa de remoción de calor a la tasa de entrada de energía, en unidades consistentes, para un sistema AC completo o alguna porción específica de dicho sistema bajo condiciones operativas designadas. Esto mide la eficiencia del sistema de aire acondicionado. Entre más alto el COP, mejor la eficiencia. El COP de los chillers varía con base en el tipo de sistema AC y van de 3 a 6.

Variadores de frecuencia (VSD) para torres de Enfriamiento: Variadores de frecuencia (VSD) son usados para controlar la velocidad de la maquinaria. Cuando las condiciones del proceso demandan ajuste del flujo de una bomba o ventilador, variando la velocidad del transmisor puede ahorrar energía comparado con otras técnicas para control de flujo.

Sensores de Monóxido de Carbono (CO) para ventilación de estacionamiento vehicular: El Monóxido de Carbono es un gas inodoro e incoloro que se encuentra presente en los humos de exhosto de los vehículos a motor. Si se encuentra presente en concentraciones altas, puede ser fatal. Por tanto, es un ítem de seguridad importante a ser considerado para la ventilación de parqueaderos vehiculares.

Sensores de dióxido de carbono (CO_2) para suministro de aire fresco. Esto es usado como instrumento para la medición del gas dióxido de carbono. Los principios más

comunes para sensores CO₂ son sensores de gas infrarrojos (NDIR) y sensores químicos de gas. La medición del dióxido de carbono es importante en el monitoreo de la calidad interior del aire.

Variadores de frecuencia (VSD) para Bombas: Son usados para controlar la velocidad de la maquinaria. Cuando las condiciones del proceso demandan ajuste del flujo de una bomba o ventilador, variando la velocidad del transmisor puede ahorrar energía comparado con otras técnicas para control de flujo.

Recuperación de calor de aire de retorno: Estas unidades utilizan un intercambiador de calor de contraflujo para extraer el calor del aire de extracción y reutilizar el mismo para el enfriamiento del aire fresco. Esto ayuda a aumentar la eficiencia energética del sistema de aire acondicionado.

Ventilador VFD-UMA: Tener variadores de frecuencia al motor ventilador UMA reduce mucho consumo energía en el edificio.

Enfriamiento evaporativo.

Cosiste en hacer circular una corriente de aire en contacto con una masa de agua, de modo que la evaporación del agua produce una disminución de las temperaturas de ambos. El aire enfriado contribuye a refrescar el edificio. La efectividad del enfriamiento evaporativo es muy alta, pero tiene grandes limitaciones: es necesario un ambiente suficientemente seco y exponer el agua a una corriente de aire. La temperatura menor que puede alcanzarse por este procedimiento es igual a la temperatura del bulbo húmedo del aire, que varía en función de la humedad relativa del aire: cuanto menor sea ésta, menor será la primera. Dicha técnica puede materializarse de diversas formas: estanques y fuentes interiores o en patios, cubiertas inundadas, aspersion de agua en las cubiertas, etcétera.

El uso del agua en estrategias de refrigeración evaporativa puede considerarse como un sistema de tratamiento del aire previo a su introducción en la edificación:

3 INFORMACIÓN DEL EDIFICIO

El nuevo edificio de laboratorios de la escuela de ingeniería mecánica se encuentra ubicado en el campus principal de la universidad construido recientemente con área total de 7.185, m² con un total de 4 pisos y un sótano. Su orientación se alinea con los antiguos edificios, es decir, su fachada principal se encuentra orientada hacia el norte geográfico cubierto por árboles y se ubica en la parte posterior del edificio de aulas de clase de la EIM (Escuela de Ingeniería Mecánica).

Su diseño arquitectónico conserva la línea de los demás edificios de la universidad, utilizando planchas en concreto alrededor de las ventanas que son utilizadas para reducir la radiación solar sobre las mismas.

El edificio está destinado en su mayoría a albergar los diferentes laboratorios del programa de IM y en el piso 4 se encuentran ubicadas las oficinas del cuerpo de profesores de la escuela, así como la dirección de escuela y la dirección de posgrados.

En la Tabla 1, se describe el tamaño de las áreas a construir en cada nivel discriminando por espacios cubiertos y no cubiertos.

Tabla 1: Áreas por piso del Nuevo Edificio de Laboratorios.

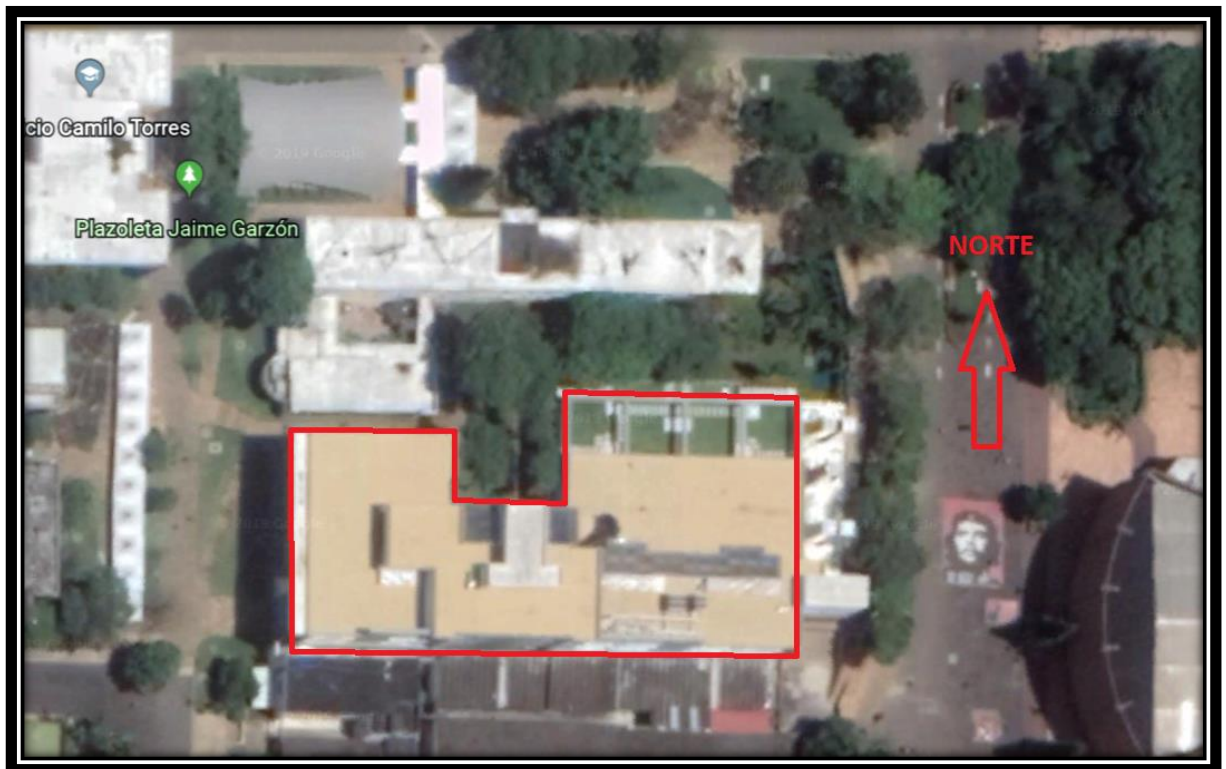
DESCRIPCIÓN	ÁREA CUBIERTA (M2)	ÁREA NO CUBIERTA (M2)
Sótano (Nivel -3,675 m)	2.093,35	-----
Primer piso (Nivel ±0,000 m)	1.135,50	-----
Segundo piso (Nivel +3,675 m)	1.946,75	Espejo de agua: 184,61
Tercer piso (Nivel +7,350 m)	1.641,44	Terraza verde: 297,94
Cuarto piso (Nivel +11,025 m)	297,65	Terraza cafetería: 481,26 Terraza técnica: 739,51
Cuarto de máquinas y tanque de agua (Nivel +15,525 m)	71,23	-----

Total	7.185,92	1.703,32
--------------	----------	----------

Al momento de iniciar esta investigación, el edificio se encontraba en etapa de construcción, por lo que se realizó el modelamiento basado en los planos arquitectónicos existentes en ese momento, por tanto, es posible encontrar algunas diferencias en su distribución interior con el edificio finalmente construido.

En la Figura 2, se observa la orientación geográfica del edificio cuya entrada principal coincide con la fachada norte.

Figura 2: Ubicación satelital del edificio de lab de IM



Fuente: Google earth

4 ELECCIÓN DE SOFTWARE

Para realizar el cálculo de cargas térmicas se hace necesario el uso de software especializado debido a la gran cantidad de variables que se deben calcular.

Existe una gran variedad de programas para realizar un estudio de cargas como CYPECAD MEP, DESIGN BUILDER, E-QUEST y OPENSTUDIO; estos dos últimos son libres de uso gratuito. Finalmente, se ha tomado la decisión de trabajar con DESIGN BUILDER, por su facilidad de aprendizaje y su capacidad de mostrar los resultados de forma clara y detallada, además del propósito de ganar experiencia en el uso de esta herramienta profesional muy reconocida a nivel mundial.

DESIGN BUILDER es una herramienta de simulación energética muy completa y potente. Su motor de cálculo es el programa ENERGYPLUS, reconocido en el mundo como la mejor herramienta de cálculo de consumo energético de edificios, pero con una gran complejidad en su interfaz de usuario.

ENERGYPLUS es un software de uso libre y por este motivo no se ha desarrollado su interfaz para que sea fácil su comprensión por parte de los usuarios. Para solucionar esto, varias instituciones han desarrollado plataformas que hacen más intuitivo el modelamiento y la introducción de la información del edificio, entre ellas se encuentra DESIGN BUILDER.

DESIGN BUILDER es un software desarrollado en el reino unido, y su principal característica comparado con los demás softwares de su tipo, es su facilidad para modelar el edificio de una manera rápida muy útil cuando no se cuenta previamente con un modelado 3D.

5 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN Y DESARROLLO DEL MODELADO

5.1 ESTRUCTURA Y DIMENSIONES DEL EDIFICIO

Una vez obtenida la información del edificio y habiendo realizado la selección del software, se procede a caracterizar las especificaciones de cada una de las zonas, como los materiales, tipo de iluminación, perfiles de uso y ocupación, etc.

El concepto central de modelado con DESIGN BUILDER es la creación de bloques. Se trata de formas geométricas básicas que se pueden ensamblar, mover y transformar fácilmente. Los bloques se generan dibujando perímetros en dos dimensiones sobre planos horizontales, verticales o inclinados, los cuales luego se extruyen para generar formas tridimensionales.

5.2 ESTRUCTURA DEL EDIFICIO DE LABORATORIOS DE IM

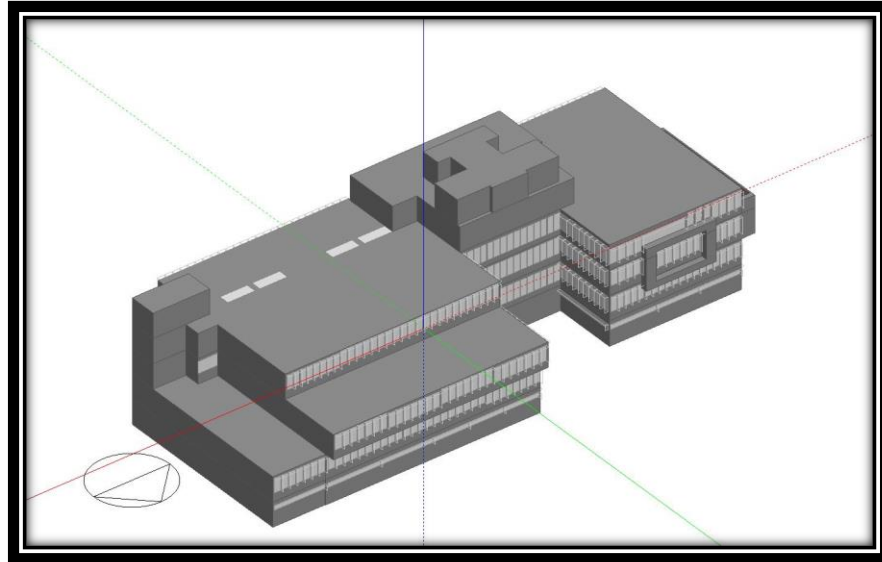
El edificio cuenta con un sótano cuyas paredes al norte y al occidente sobresalen en promedio 1 metro del suelo, por lo que esta parte tiene ventanas que ayudan con la iluminación natural.

La infraestructura del edificio consiste en una envolvente construida con muros de mampostería constituido por ladrillos de arcilla de perforación horizontal H-15 y un mortero de acabado liso (friso, pañete) tanto en su cara externa como interna.

Las placas de entrepiso están construidas en concreto de 3000 psi, con espesor de 10 centímetros, fundidas sobre una subrasante, y su superficie de acabado consta de un mortero de nivelación sobre el cual se instala baldosas de granito No 5 brillado y pulido de alto tráfico.

En las figuras 3 y 4 se muestra la configuración arquitectónica externa del edificio.

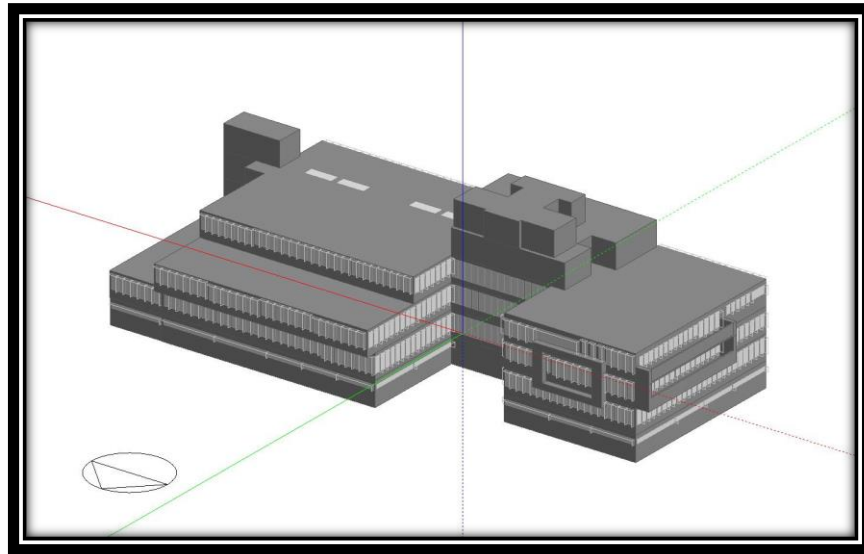
Figura 3: Vista 3D del edificio costado No-Oriental



Fuente: Elaboración propia

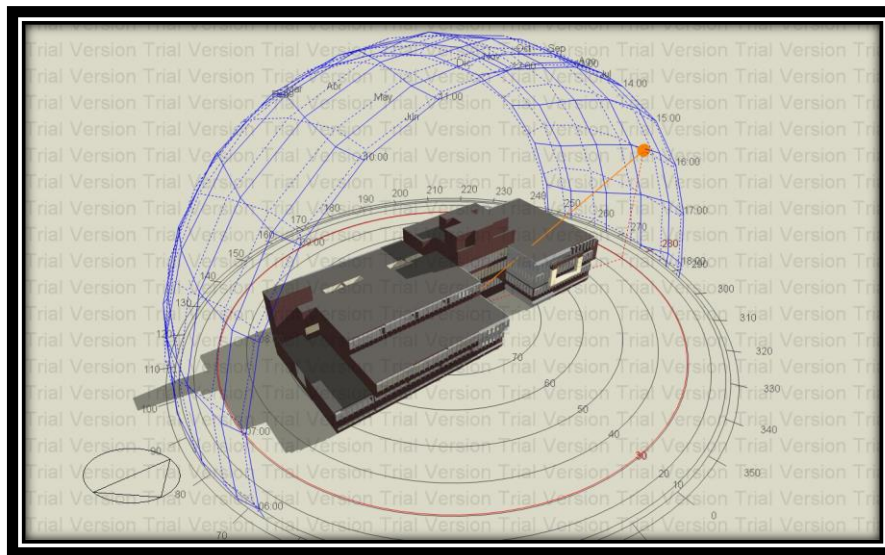
El modelado en DESIGN BUILDER permite ver la proyección de la incidencia del sol sobre sus superficies en cualquier día y hora del año, un ejemplo lo podemos encontrar en la Figura 5 para el día 22 de febrero a las 4:00 pm.

Figura 4: Vista ortogonal modelado 3D del Edif de IM



Fuente: Elaboración propia

Figura 5: Vista simulación sombras del Edif IM el día 22 de febrero a las 16:00 horas.



Fuente: Elaboración propia

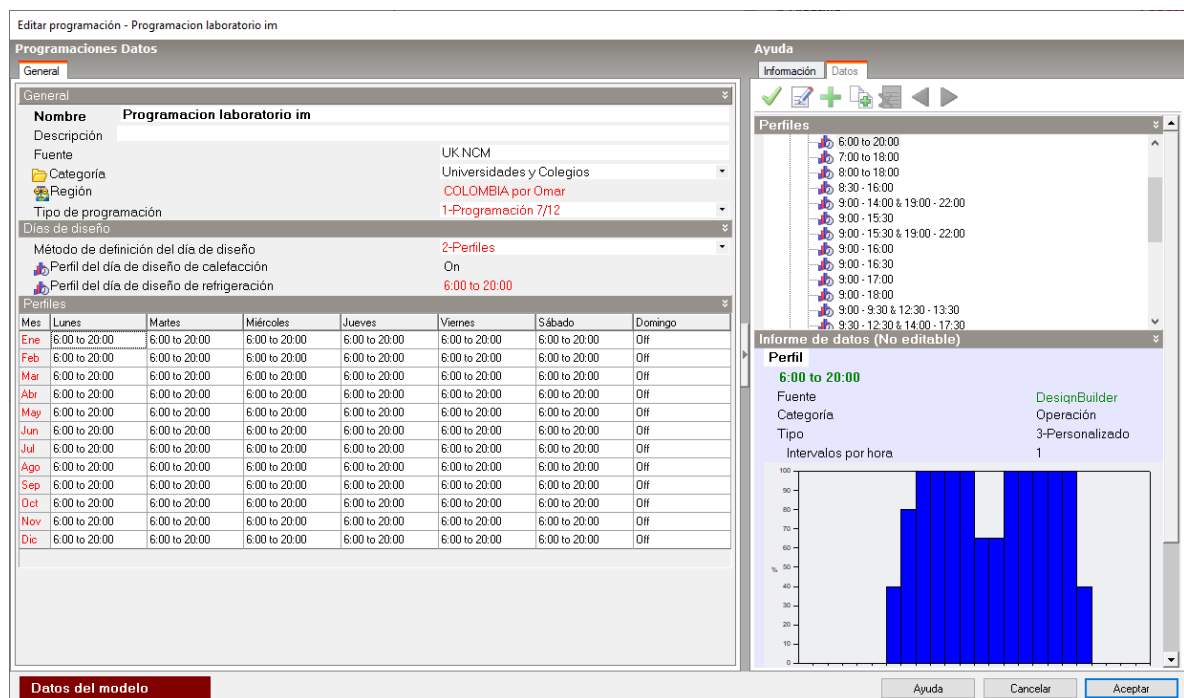
5.3 OCUPACIÓN, ILUMINACIÓN Y EQUIPOS

Para determinar el perfil de ocupación de las áreas de uso del edificio, se calculó el promedio de estudiantes por aula y se dividió en el promedio de metros cuadrados de dichas áreas obteniendo el siguiente resultado:

- ✓ 0.66 personas por m² para aulas.
- ✓ 0.2 personas por m² para laboratorios.

En la siguiente imagen se puede observar los perfiles de uso y ocupación del edificio definidos en Designa Builder, los cuales son comunes para todos los escenarios de análisis realizados en este proyecto.

Figura 6: Perfiles de uso y ocupación.



Fuente: Elaboración propia

EQUIPOS HVAC:

La propuesta de diseño original está basada en el tipo de construcción tradicional sin sistemas de eficiencia energética más allá de las sombras generadas por las aletas de concreto que contiene el edificio en su diseño arquitectónico.

Se trata de un sistema de agua helada, con dos chillers en paralelo sumando la capacidad completa del sistema, y un par de bombas centrífugas encargadas de transportar el agua a lo largo de la instalación hidráulica de PVC y Polipropileno preaislada con chaqueta, el sistema contará con una válvula para bypass, a fin de garantizar el suministro mínimo de agua al serpentín del evaporador del enfriador.

Las unidades terminales ubicadas en cada zona acondicionada son de tipo Fancoil desnudo de 3 velocidades y una unidad manejadora de aire atendiendo la zona administrativa y de Profesores. Todas las unidades hidráulicas tendrán una válvula de presión independiente para ahorro de energía. La Tabla 2 contiene el listado de equipos HVAC principales junto con sus capacidades y consumos eléctricos.

La capacidad de los equipos HVAC del diseño original fue calculada con el software Chvac de Elite, con el cual se calculó la carga térmica del edificio en sus condiciones iniciales.

En cuanto al aire acondicionado, éste está conformado por un sistema de agua fría con la lista de equipos a continuación:

Tabla 2: Listado de equipos principales seleccionados en el diseño inicial.

EQUIPO	TAG	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CAPACIDAD	ALIMENTACION ELECTRICA	CONSUMO ELECTRICO [KW]
ENFRIADOR	ENF01	Unidad Enfriadora de Agua	1	443578 Btu/h	220V/3PH/60Hz	43,3

EQUIPO	TAG	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	CAPACIDAD	ALIMENTACION ELECTRICA	CONSUMO ELECTRICO [KW]
ENFRIADOR	ENF02	Unidad Enfriadora de Agua	1	665397 Btu/h	220V/3PH/60Hz	65
UNIDAD MANEJADORA	UMA	Unidad hidráulica terminal de 12,5 TR	1	150000 Btu/h	220V/3PH/60Hz	3,5
FANCOIL HIDRONICO	FCN	Unidad hidráulica terminal de 1 TR de alta estática	4	12000 Btu/h	220V/3PH/60Hz	0,08
FANCOIL HIDRONICO	FCN	Unidad hidráulica terminal de 2 TR de alta estática	3	24000 Btu/h	220V/3PH/60Hz	0,11
FANCOIL HIDRONICO	FCN	Unidad hidráulica terminal de 3 TR de alta estática	8	36000 Btu/h	220V/3PH/60Hz	0,6
FANCOIL HIDRONICO	FCN	Unidad hidráulica terminal de 4TR de alta estática	8	48000 Btu/h	220V/3PH/60Hz	0,6
FANCOIL HIDRONICO	FCN	Unidad hidráulica terminal de 5 TR de alta estática	6	60000 Btu/h	220V/3PH/60Hz	0,9
VENTILADOR	VENT	Ventilador extractor de muro	9	900 CFM	110V/1PH/60Hz	0,5
VENTILADOR	VENT	Ventilador extractor de muro	2	900 CFM	110V/1PH/60Hz	1,5

6 SIMULACIÓN DE LA DEMANDA ENERGÉTICA MÁXIMA DEL EDIFICIO

Una vez se han incorporado los datos al programa de cálculo (en este caso DESIGN BUILDER) y realizados los ajustes necesarios, se realiza una primera simulación de refrigeración con el diseño inicial para obtener las cargas máximas de las ganancias de calor y la selección automática de las capacidades de los equipos HVAC.

Al terminar con el cálculo de refrigeración, se procede a realizar la simulación para el cálculo de consumo de energía del edificio. Estos resultados se tomarán como base para proponer medidas de mejora y verificar su efectividad.

Para el cálculo de la demanda energética se ha tomado la temperatura del aire en el recinto como tipo de control del confort en el interior del edificio.

6.1 CÁLCULO DE REFRIGERACIÓN

La carga máxima de refrigeración (aire acondicionado), ha sido calculada con una ocupación del 95% de la capacidad máxima del edificio en los meses en época de verano.

Una vez conocidos los horarios de máxima ocupación, se requiere identificar el día de mayor ganancia solar. Para ello, una solución posible, en caso de no conocer los históricos de temperaturas de la zona, es asumir un día de febrero, (época más calorosa del año) y realizar la simulación. Con ayuda del archivo EPW¹⁴ correspondiente a la zona donde se encuentre el edificio, se determina el día con mayor temperatura exterior y posteriormente se ajusta la fecha en el módulo de refrigeración.

Al realizar un análisis comparativo entre las cargas térmicas calculadas durante el proceso de diseño inicial¹⁵ y las cargas térmicas obtenidas en la primera simulación realizada en DB¹⁶ (realizado en este proyecto), véase la tabla 4; se observa una diferencia significativa en los resultados obtenidos para el cuarto técnico del sótano, considerando el valor de relación de 39 m² por tonelada (0,09 kW/m²), lo que supone una carga térmica interna muy pequeña comparada con el resto de áreas, por otra parte, según el cálculo hecho en DB, se tiene una relación de 1,09 m² por tonelada (0,915 kW/m²); esto ocurre por tratarse de un cuarto técnico en donde se encuentran ubicados tableros eléctricos, transformadores y dispositivos de alta disipación

¹⁴ EPW es un tipo de archivos que contienen información meteorológica utilizada en la simulación energética de edificios.

¹⁵ Cálculo térmico realizado por el diseñador del sistema HVAC del edificio.

¹⁶ Design Builder.

térmica, lo cual genera una mayor densidad de calor emitido por unidad de superficie.

Según la simulación, los valores más representativos son los siguientes:

Tabla 3: Resultado estudio de cargas térmicas Edif IM mediante Design Builder

Zona	Capacidad de Diseño (kW)	Caudal de Diseño (m³/s)	Carga Total de Refrigeración (kW)	Carga Sensible (kW)	Carga Latente (kW)	Temper del aire (°C)	Hum (%)	Superficie de Suelo (m²)	kw/m2	Outside Dry-Bulb Temperature at Time of Peak Cooling Load(°C)
Bloque1: Rack	2,86	0,1584	2,49	2,45	0,04	23	50,3	24,8	0,115	30,5
Bloque1: AUTOMATIZACION	4,05	0,1851	3,52	1,56	1,97	23	57,3	29,1	0,139	32,1
Bloque1: CuartoTecnico	37,81	1,9839	32,87	31,68	1,19	24	47,2	41,3	0,915	32,1
Bloque1: SistFelxManufactura	21,09	1,0749	18,34	10,97	7,37	23	53,1	103,7	0,203	32,1
Bloque2: AulaTeorica1	18,61	0,8822	16,19	9,19	7	23	55,9	88,3	0,211	32,1
Bloque2: AulaTeorica2	11,76	0,5627	10,23	5,89	4,33	23	55,5	55	0,214	32,1
Bloque2: AulaTeorica3	13,89	0,6786	12,08	7,55	4,53	23	54,7	55,2	0,252	32,1
Bloque2: MezTransFluidos	12,08	0,5804	10,5	6,01	4,5	23	55,3	58,2	0,208	32,1
Bloque2: MezPotenciaFluida	12,06	0,58	10,49	6	4,49	23	55,3	58,1	0,208	32,1
Bloque2: MezMotores	11,95	0,5738	10,39	5,92	4,47	23	55,4	57,9	0,206	32,1
Bloque2: MezSisTermicos	12,45	0,5774	10,82	6,01	4,81	23	56,7	59,2	0,210	32,1
Bloque3: Aula5	12,58	0,5974	10,94	6,42	4,52	23	55,8	54,7	0,230	32,1
Bloque3: Aula4	11,63	0,5476	10,12	5,72	4,4	23	56,1	54,7	0,213	32,1
Bloque3: CADPractica3	8,84	0,4363	7,69	4,85	2,85	23	54,3	35,1	0,252	32,1
Bloque3: CADTeorica	9,32	0,4393	8,1	4,65	3,45	23	56,1	42,4	0,220	32,1
Bloque3: LbCntrlYSsDnmcs	29,57	1,5117	25,71	16,33	9,39	23	53	129	0,229	31,8
Bloque3: LabAutomatizacion	20,63	1,0602	17,94	11,23	6,7	23	52,9	98,2	0,210	31
Bloque3: Impresora3D	22,83	1,1168	19,85	13,13	6,72	23	54,7	78	0,293	31
Bloque3: CADPractica1	24,71	1,2279	21,49	13,87	7,62	23	54,1	98,6	0,251	31
Bloque3: LabSisMecatronicos	21,3	1,0779	18,52	11,12	7,4	23	53,4	102,2	0,208	32,1
Bloque8: SalaReunion	8,95	0,4379	7,78	6,29	1,49	24	49,6	35,6	0,251	32,1
Bloque8:	3,79	0,1888	3,29	2,69	0,61	24	48,9	17,4	0,218	31,4

Zona	Capacidad de Diseño (kW)	Caudal de Diseño (m³/s)	Carga Total de Refrigeración (kW)	Carga Sensible (kW)	Carga Latente (kW)	Temper del aire (°C)	Hum (%)	Superficie de Suelo (m²)	kw/m2	Outside Dry-Bulb Temperature at Time of Peak Cooling Load(°C)
DirectorMaestria										
Bloque8: DireccionEscuela	4,54	0,2273	3,94	3,25	0,7	24	48,7	20,6	0,220	31,4
Bloque8: ProfesoresAuxiliares	11,48	0,5571	9,98	6,94	3,04	24	49,9	99,9	0,115	32,1
Bloque8: ProfesoresPlanta	23,81	1,1127	20,7	13,79	6,92	24	51,2	208,2	0,114	32,1
Bloque8: Aula6	17,21	0,8647	14,97	10,2	4,77	23	53,7	55,8	0,308	32,1
Bloque8: Aula8	27,53	1,3692	23,94	16,13	7,81	23	54	89	0,309	32,1
Bloque8: Aula7	18,59	0,9283	16,16	11,14	5,02	23	53,9	55,7	0,334	32,1
Totales	435,91	21,5383	379,05	250,97	128,08	N/A	N/A	6620,8	0,066	N/A

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Comparación cargas térmicas inicial vs calculada por DB.

Zona	Resultados obtenidos del diseño inicial del edificio, realizado por el diseñador. En el software Chvac		Resultados obtenidos en el desarrollo de esta monografía en el software Design Builder	
	Área m²	kW/m²	Área m²	kW/m²
Rack sótano	21,9	0,142	24,8	0,115
Automatización sótano	27,82	0,199	29,1	0,139
Cuarto técnico sótano	43,56	0,09	41,3	0,915
Sistemas flexibles de manufactura	109,63	0,144	103,7	0,203
Aula teórica 1	53,83	0,243	55,2	0,251
Aula teórica 2	53,83	0,242	55	0,213
Aula teórica 3	82,8	0,201	88,3	0,21
Mezanine trans fluidos	53,36	0,296	58,2	0,207
Mezanine potencia fluida	53,36	0,296	58,1	0,207
Mezanine motores	53,36	0,296	57,9	0,206
Mezanine sistemas térmicos	53,36	0,296	59,2	0,21
Aula 4	53,83	0,254	54,7	0,212
Aula 5	53,83	0,242	54,7	0,223
Sala Cad practica 1	92,05	0,174	98,6	0,25
Sala Cad teórica	44,27	0,258	42,4	0,219

Sala Cad practica 3	36,21	0,223	35,1	0,252
Laboratorio control y sis dinámicos	141,58	0,151	129	0,229
Laboratorio de automatización	98,98	0,156	98,2	0,21
Impresora 3D	78,11	0,139	78	0,292
Laboratorio sist mecatrónicos	104,58	0,096	102,2	0,208
Aula 6	53,83	0,242	55,8	0,308
Aula 7	53,83	0,242	55,7	0,333
Aula 8	82,8	0,201	89	0,309
oficinas profesores	432	0,094	381,7	0,138
Total, áreas analizadas	80,53	0,205	79,41	0,252

Fuente: Elaboración propia

6.2 SIMULACIÓN DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Para llevar a cabo la simulación del consumo energético, se realiza una primera simulación a partir de las condiciones originales del diseño inicial, con el fin de determinar el valor del consumo de energía, con el cual, se harán las respectivas comparaciones para establecer los porcentajes de ahorro de cada tecnología implementada, para evaluar si el beneficio de ahorro energético de cada tecnología es significativo o si, por el contrario, la inversión inicial nunca será recuperada con el ahorro obtenido.

Posteriormente se introducen individualmente los cambios relacionados con las medidas pasivas y activas sin modificar las demás condiciones, esto con el fin poder estudiar el impacto de cada uno de los cambios y compararlos con el diseño original.

Los sistemas elegidos para este proyecto son inicialmente la utilización de ventanas ahorradoras de energía, es decir, ventanas que utilizan vidrios con coeficientes de

transferencia U y SHGC, tales que disminuyan las ganancias internas de calor producidas por la radiación solar y que deberán ser asumidas por el sistema HVAC.

En este trabajo se cambiaron todos los vidrios a la misma especificación, por lo que no es posible diferenciar las ventanas con más alto potencial de ahorro. Sin embargo, el DESIGN BUILDER permite agrupar elementos (en este caso ventanas) para realizar este tipo de diferenciación en caso de ser requerido.

Dada la trascendencia que ha tenido la utilización de aletas que dan sombra a las ventanas en la arquitectura de la UIS, se decide realizar un estudio del impacto de la incorporación de dichas sombras.

Una simulación combinando los dos sistemas anteriores es realizada para conocer su desempeño, sin embargo, aunque el diseño básico del edificio incluye estos elementos de sombra en las ventanas, no contempla la utilización de vidrios que disminuyan la radiación solar hacia el interior.

Otro tipo de medidas pasivas tienen que ver con la modificación del coeficiente de transferencia de calor a través de la envolvente del edificio, sin embargo, no se tuvo en cuenta en este trabajo dado que estos materiales aun no son comunes en Colombia.

Por último, se recurre a la utilización de sistemas HVAC más eficientes, como por ejemplo sistemas VRF combinados con ductos de ventilación para renovación de aire que incluyen recuperadores de energía, ver Figura 6; y la utilización de un complejo sistema de agua helada con economizadores y recuperadores de energía, ver Figura 7. Estos son comparados con un sistema HVAC convencional contemplado en el diseño original, ver Figura 8.

- El consumo eléctrico anual del edificio en condiciones iniciales sin medidas de ahorro energético 372,97 MWh

Tabla 5: Consumo anual de energía en condiciones iniciales.

Combustible Total - monografía 2, Laboratorios IM		
EnergyPlus	1 Ene - 28 Dic (Las condiciones de la zona solo se reportan para los periodos ocupados), Anual	Evaluación
	Año	
Electricidad (MWh)	372,97	

Fuente: Elaboración propia

- El consumo total de energía eléctrica incorporando ventanas ahorradoras de energía es de 324.47 MWh.

Tabla 6: Consumo anual de energía con vidrios de alta eficiencia.

Combustible Total - monografía 2, Laboratorios IM		
EnergyPlus	1 Ene - 28 Dic (Las condiciones de la zona solo se reportan para los periodos ocupados), Anual	Evaluación
	Año	
Electricidad (MWh)	324,47	
Gas (MWh)	0,00	

Fuente: Elaboración propia

- El consumo total de energía eléctrica incorporando aletas como sombra para las ventanas es de 343.63 MWh.

Tabla 7: Consumo anual de energía con aletas en las ventanas.

Combustible Total - monografía 2, Laboratorios IM		
EnergyPlus	1 Ene - 28 Dic (Las condiciones de la zona solo se reportan para los periodos ocupados), Anual	Evaluación
	Año	
Electricidad (MWh)	343,63	

Fuente: Elaboración propia

- El consumo total de energía eléctrica incorporando aletas y vidrios de alta eficiencia energética es de 311.78 MWh.

Tabla 8: Consumo anual de energía con aletas y vidrios de alta eficiencia.

Combustible Total - monografía 2, Laboratorios IM		
EnergyPlus	1 Ene - 28 Dic (Las condiciones de la zona solo se reportan para los periodos ocupados), Anual	Evaluación
	Año	
Electricidad (MWh)	311,78	

Fuente: Elaboración propia

- Utilizando sistema de refrigerante variable y recuperador de energía para el aire de renovación. Consumo: 282.37 MWh.

Tabla 9: Consumo anual de energía con sistema VRF y Recuperador.

Combustible Total - monografía 2, Laboratorios IM		
EnergyPlus	1 Ene - 28 Dic (Las condiciones de la zona solo se reportan para los periodos ocupados), Anual	Evaluación
	Año	
Electricidad (MWh)	282,37	

Fuente: Elaboración propia

- Utilizando Chiller de agua helada con economizador. Consumo: 296.78 MWh.

Tabla 10: Consumo anual de energía con chiller y economizador.

EnergyPlus		Combustible Total - monografía 2, Laboratorios IM	Evaluación
		1 Ene - 28 Dic (Las condiciones de la zona solo se reportan para los periodos ocupados), Anual	
		Año	
Electricidad (MWh)	296,78		

Fuente: Elaboración propia

El consolidado de los resultados del consumo de energía por cada sistema analizado se encuentran en la Tabla 11.

6.3 ANÁLISIS FINANCIERO

En la Tabla 11, se muestra el resumen de la cantidad de energía que se deja de consumir implementando cada una de las medidas seleccionadas para esta investigación, adicionalmente, se puede encontrar el ahorro en dinero por año y a los 5 años de funcionamiento.

Para el cálculo se tuvo en cuenta un costo promedio de energía = 517.66 \$/kW-h pesos. Se estima que el tiempo de 5 años es suficiente para conocer si la inversión realizada en la tecnología de ahorro energético se recupera en este lapso, ya que después de 5 años, la inversión en mantenimiento se hace más notorio lo cual no sería favorable considerarlo en el análisis financiero de la tasa de retorno.

El valor encontrado en la casilla Cantidad ahorrada en pesos durante 5 años, considera un incremento anual del 3% del costo de la energía.

El valor presente fue calculado trayendo al presente el valor ahorrado durante los 5 primeros años, con una tasa de descuento del 8% anual.

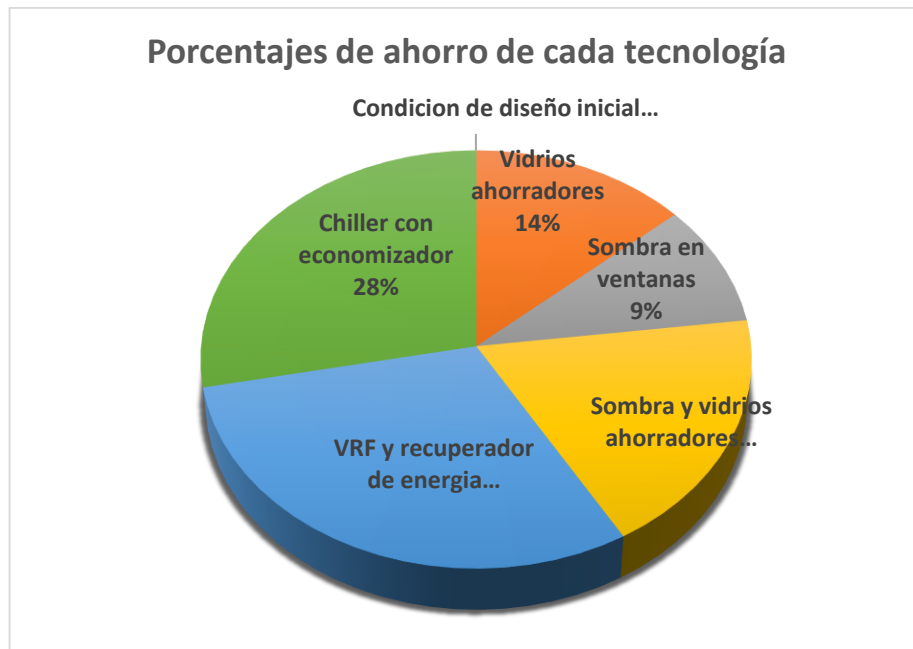
Tabla 11: Ahorro obtenido por cada medida implementada.

Opciones de ahorro	Consumo eléctrico MWh	Cantidad ahorrada MWh	Cantidad ahorrada en pesos en el primer año	Cantidad ahorrada en pesos durante 5 años	Valor presente
Condiciones iniciales de diseño original	372,97				
Con vidrios de alta eficiencia	324,47	48,5	\$ 25.106.510	\$ 133.293,87	\$ 90.717,57
Con aletas de sombra en ventanas	343,63	29,34	\$ 15.188.144,40	\$ 80.635,92	\$ 54.879,45
Combinación vidrios alta eficiencia y aletas	311,78	61,19	\$ 31.675.615,40	\$ 168.170,14	\$114.453,77
Sistema VRF + Recuperador de energía	282,37	90,6	\$ 46.899.996,00	\$ 248.998,45	\$169.464,16
Chiller con economizador	296,78	76,19	\$ 39.440.515,40	\$ 209.395,05	\$142.510,75

Fuente: Elaboración propia

En la figura 7, se observan los porcentajes de ahorro de cada tecnología utilizada en el análisis de este documento, con respecto al diseño original planteado por el contratista diseñador. En ella es posible dar cuenta que decisiones como la implementación de vidrios ahorradores de energía representan alrededor de un 14% de ahorro. Claramente, también es posible evidenciar que la mayor eficiencia energética se encuentra en la selección de sistemas activos que se ajusten a la variación de la carga térmica de las instalaciones que en nuestro caso corresponde a un sistema de agua helada (chiller) con economizador (28%) y un sistema de refrigerante variable (VRF) con recuperador de energía (30%).

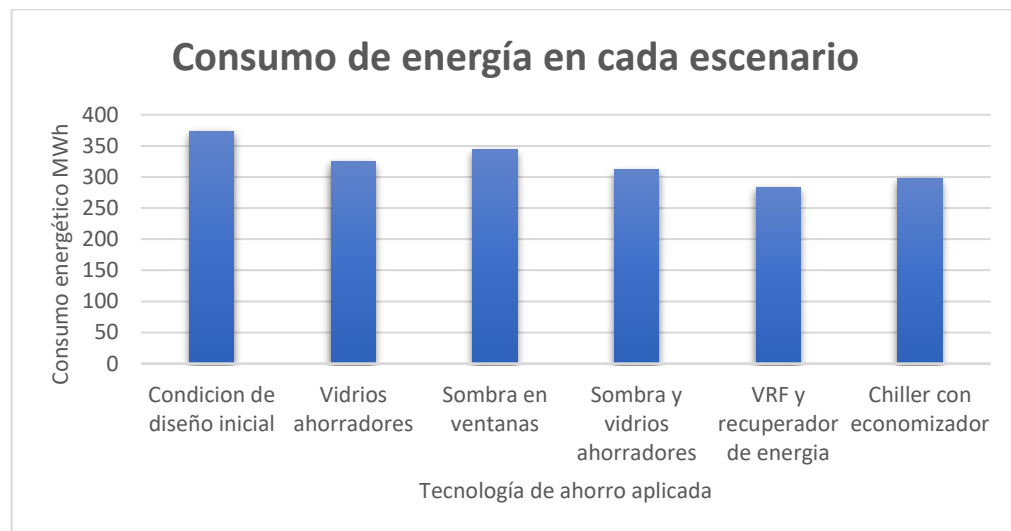
Figura 7: Porcentajes de ahorro de cada tecnología



Fuente: Elaboración propia

En la figura 8, se muestra gráficamente los diferentes consumos por cada tipo y combinación de tecnologías de ahorro energético.

Figura 8: Consumo de energía en cada escenario



Fuente: Elaboración propia

7 CONCLUSIONES

Uno de los inconvenientes encontrados durante la realización de este proyecto fue la falta de experiencia en el manejo del software de simulación, si bien, en países desarrollados es común el uso de este tipo de software, en Colombia apenas se está llevando una etapa de aprendizaje, puesto que no es usual encontrar profesionales con destreza en el manejo de este tipo de herramientas. Sin embargo, y como se mencionó anteriormente, Design Builder está pensado para ser uno de los más sencillos de manejar. Una forma fácil de aprender el manejo de este tipo de software es iniciando con edificios que tengan áreas relativamente pequeñas, de tal forma que sea más rápido llegar a los módulos de simulación y así mismo identificar más rápido los parámetros que deben ser modificados o corregidos para evitar reportes erróneos.

En cuanto a los resultados del análisis realizado al nuevo edificio de laboratorios de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la UIS, podremos encontrar en la tabla 11, que la implementación de cualquier medida de ahorro energético en edificios ya sea activa o pasiva, arrojará resultados favorables, no obstante, es necesario realizar un análisis costo-beneficio, teniendo en cuenta la amortización de la inversión en el tiempo, el cual debe ser equivalente al valor ahorrado.

De las cuatro alternativas de ahorro energético seleccionadas, la opción que tuvo mejor resultado en cuanto a su aporte a la disminución de ahorro energético es la selección de un sistema de refrigerante variable combinado con un recuperador de energía para el sistema de ventilación encaminada a dar cumplimiento al estándar 62.1 de ASHRAE. Este tipo de tecnología en equipos HVAC, pueden ahorrar para este caso en particular, hasta un 24.3%, lo que lo convierte en una opción muy interesante a la hora de la toma de decisiones.

Uno de los defectos del sistema VRF, es que sus equipos interiores se encuentran instalados dentro de cada local y por sí solos no pueden garantizar el cumplimiento de los parámetros de calidad de aire interior, por tanto, es necesario la instalación de un sistema de ventilación al cual se introduce el recuperador de energía para transferir calor desde el caudal de aire exterior que ingresa al sistema para renovar el ambiente interior y el aire frío que es extraído del interior del edificio y expulsado a la atmósfera.

BIBLIOGRAFÍA

ANSI/ASHRAE (American National Standards Institute – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). (2004). Standard 55, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

ANSI/ASHRAE/IES. (American National Standards Institute – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers- Illuminating Engineering Society). (2016). Standard 90.1; Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). 2012. HANDBOOK - HVAC SYSTEMS AND EQUIPMENT.

ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers). 2017. HANDBOOK – FUNDAMENTALS.

FANGER, P O. THERMAL CONFORT. Nueva York: Mc Graw, 1972.

FUENTES FREIXANET Victor Armando. Metodología de diseño bioclimático . México DF : Trillas, 2002.

GARCÍA CHÁVEZ, José Riberto. Consumo energético y su relación con el impacto ambiental. ILUMINET.COM. [En línea]. [26 de Agosto de 2014]. Disponible en: <https://www.iluminet.com/patrones-consumo-energetico/>.

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN DE CASTILLA Y LEÓN. Informe simulación energética edificio lanzadera universitaria de centro de investigacion aplicada. Lucia: 2015.

JIMENEZ, Javier Mauricio and RODRIGUEZ, Carlos Fernando. Evaluacion de la plataforma Energy-Plus como herramienta para el análisis energético en un entorno tropical: Caso Bucaramanga. Bucaramanga : s.n., 2013.

MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO DE COLOMBIA. Construcción Sostenible. [En línea]. 2019. Disponible en: <http://www.minvivienda.gov.co/cambio-climatico/mitigacion/construccion-sostenible>.

MUMOVIC, Dejan. A Handbook of Sustainable Building Design & Engineering. s.l. : Earthscan, 2009.

NATIONAL ACADEMY PRESS. Laboratory design, construction, and renovation. Washington DC : s.n., 2000.

WEC, (World Energy Council). The sustainable supply & use of energy for the greatest benefit of all people. [En línea], disponible en: <https://www.worldenergy.org/experiences-events/world-energy-congress>.