



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**MODELO BIM 6D PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO
ENERGÉTICO DE UN LOCAL DE 800 M2
DE LA CAJA MUNICIPAL DE ICA**

**PRESENTADA POR
ENZO KEVIN ESPINOZA CERVANTES**

**ASESORES
ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO
JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA**

**TESIS
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

**LIMA – PERÚ
2023**



CC BY-NC-ND

Reconocimiento – No comercial – Sin obra derivada

El autor sólo permite que se pueda descargar esta obra y compartirla con otras personas, siempre que se reconozca su autoría, pero no se puede cambiar de ninguna manera ni se puede utilizar comercialmente.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>



FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**MODELO BIM 6D PARA OPTIMIZAR EL CONSUMO ENERGÉTICO
DE UN LOCAL DE 800 M2
DE LA CAJA MUNICIPAL DE ICA**

**TESIS PARA OPTAR
EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:
ENZO KEVIN ESPINOZA CERVANTES

ASESORES:
Mg. Ing. ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO
Mg. Ing. JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA

LIMA, PERÚ

2023

DEDICATORIA

A Dios, a mi familia, a mi enamorada y a mis amigos, ya que son la base de lo que soy ahora y por ser esa luz que guio mi camino para poder culminar esta investigación de manera satisfactoria.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresarles mi mayor agradecimiento a mi familia y enamorada por su apoyo incondicional y sus muestras de cariño a lo largo de este arduo proceso. Este logro también es de ustedes. Totalmente agradecido.

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO	
1.1. Antecedentes de la investigación.....	1
1.1.1. Antecedentes internacionales	1
1.1.2. Antecedentes nacionales	3
1.2. Fundamentación del problema.....	6
1.3. Planteamiento del problema	9
1.4. Bases teóricas	10
1.4.1. BIM (Building Information Modeling)	10
1.4.2. Gemelo Digital (Digital Twin)	12
1.4.3. Implementación BIM.....	13
1.4.4. Softwares Autodesk.....	17
1.4.5. Nivel de desarrollo - LoD (Level of development).....	18
1.4.6. Ahorro energético	19
1.4.7. Normatividad de instalaciones eléctricas.....	20
1.4.8. Luminarias LED	21
1.4.9. Gestión de la energía	23
1.4.10. Aire acondicionado.....	24

	Pág.
1.4.11. Tipos de equipo de Aire acondicionado	39
1.5. Definición de términos básicos	42
 CAPÍTULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES	
2.1. Hipótesis	44
2.1.1. Hipótesis general.....	44
2.1.2. Hipótesis específicas.....	44
2.2. Variables y definición operacional.....	44
 CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1. Diseño metodológico	45
3.1.1. Tipo de diseño.....	45
3.1.2. Procedimiento para obtención de información y proceso	45
3.2. Diseño muestral	46
3.2.1. Población del estudio	46
3.2.2. Procedimiento para el cálculo del tamaño y selección de muestra	46
3.2.3. Criterios de inclusión y exclusión	46
3.3. Técnicas de recolección de datos.....	46
3.3.1. Instrumentos.....	46
3.4. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información	47
 CAPÍTULO IV. RESULTADOS	
4.1. Local Castrovirreyna	49
4.1.1. Ubicación.....	49

	Pág.
4.2. Desarrollo del modelo BIM.....	49
4.2.1. Características de los elementos	51
4.2.2. Delimitación de los espacios	54
4.3. Modelo energético	57
4.3.1. Características del modelo	57
4.3.2. Simulación.....	60
4.3.3. Autodesk Insight.....	61
4.3.4. Green Building Studio.....	66
4.4. Consumo energético en las instalaciones eléctricas.....	69
4.4.1. Introducción.....	69
4.4.2. Aplicación del software Dialux.....	69
4.4.3. Modelado de los artefactos de alumbrado.....	73
4.4.4. Simulación inicial.....	74
4.4.5. Propuesta de mejora	78
4.4.6. Resultados	80
4.5. Consumo energético en las instalaciones mecánicas.....	83
4.5.1. Introducción.....	83
4.5.2. Cargas térmicas	84
4.5.3. Cálculo de cargas.....	85
4.5.4. Propuesta de mejora	90
4.5.5. Resultados	94

	Pág.
4.6. Consumo energético con mejoras en la infraestructura	96
4.6.1. Propuestas de Green Building Studio.....	97
4.6.2. Cálculos.....	101
4.6.3. Resultados	102
4.7. Recopilación de resultados generales	102
 CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	
5.1. Contrastación de resultados	104
5.1.1. Contrastación de Hipótesis.....	104
5.1.2. Discusión de antecedentes	105
 CONCLUSIONES	
 RECOMENDACIONES	
 FUENTES DE INFORMACIÓN	

ÍNDICE DE TABLAS

	pág.
Tabla 1: Tabla de consumo eléctrico 2022.....	7
Tabla 2: Tabla de consumo eléctrico 2023 (estimado).....	7
Tabla 3: Cuadro de espacios del modelo	56
Tabla 4: Resultados Insight.....	63
Tabla 5: Tabla de cantidad de lux por ambiente.....	70
Tabla 6: Mediciones de lux por ambiente	77
Tabla 7: Cuadro comparativo de resultados.....	81
Tabla 8: Características del proyecto - Cargas Térmicas.....	85
Tabla 9: Cálculo general del edificio - Cargas Térmicas	86
Tabla 10: Consumo energético de los elementos - Cargas Térmicas.....	87
Tabla 11: Resumen de ambientes - Cargas Térmicas	88
Tabla 12: Cálculo de BTU/HR para diseño	90
Tabla 13: Tabla de elementos sistema UC - 02	95
Tabla 14: Tabla de consumo energético de nueva propuesta.....	96
Tabla 15: Propuesta 1° de mejora de techo	98
Tabla 16: Propuesta 2° de mejora de techo	99
Tabla 17: Propuesta de mejora de muros exteriores.....	100
Tabla 18: Tabla comparativa entre consumo actual y propuestas	101

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
Figura 1: Fachada de local Castrovirreyña.....	6
Figura 2: Techo aligerado del local	7
Figura 3: Cuarto de tableros antiguos y nuevos	8
Figura 4: Building Information Modeling (BIM)	12
Figura 5: Equipo BIM.....	17
Figura 6: Partes del led	21
Figura 7: Esquema de acondicionamiento de un ambiente.....	27
Figura 8: Evaporador de expansión directa.....	31
Figura 9: Unidad de Fan Coil.....	37
Figura 10: Equipos rooftop	39
Figura 11: Equipo Split Ducto.....	40
Figura 12: Equipo Chiller Aire / Agua	41
Figura 13: Plano de ubicación	49
Figura 14: Ejemplo de plano actual	50
Figura 15: Ejemplo modelado planta en Revit.....	50
Figura 16: Selección y propiedades de muro exterior del modelo en Revit.....	52
Figura 17: Configuración "Edit Type" en Revit	52
Figura 18: Configuración de la estructura del muro.....	53
Figura 19: Selección de piso del modelo.....	53
Figura 20: Configuración de la estructura del piso	54
Figura 21: Propiedades analíticas de los elementos	54
Figura 22: Debilitación de espacios 1er nivel	55
Figura 23: Debilitación de espacios 2do nivel	55

	pág.
Figura 24: Delimitación de espacios 3er nivel	56
Figura 25: Localización del proyecto	58
Figura 26: Mediciones de temperatura propio del software.....	58
Figura 27: Parámetros energéticos	59
Figura 28: Parámetros avanzados de energía	60
Figura 29: Definición de tipo de elementos para propiedades térmicas	60
Figura 30: Modelo analítico	61
Figura 31: Modelo analítico	62
Figura 32: Interfaz del modelo cargado al Green Building Studio	67
Figura 33: Características del local - Green Building Studio	67
Figura 34: Características del modelo - Green Building Studio.....	68
Figura 35: Propuestas de mejora - Green Building Studio	68
Figura 36: Modelado 3D en Dialux.....	70
Figura 37: Corte de modelo en Dialux.....	71
Figura 38: Modelamiento estructural del local en Dialux	71
Figura 39: Modelamiento lumínico en Dialux.....	72
Figura 40: Imagen 3D del modelado en Dialux	73
Figura 41: Menú de ingreso e información de artefactos	73
Figura 42: Artefacto de 60x60cm	74
Figura 43: Artefacto tipo Downlight	74
Figura 44: Resumen de artefactos de la simulación inicial.....	75
Figura 45: Índice de informe por ambiente	76
Figura 46: Ejemplo análisis de informe Dialux por zona.....	76
Figura 47: Configuración modelo	78

	pág.
Figura 48: Propuesta luminaria Downlight.....	79
Figura 49: Propuesta luminaria cuadrada	80
Figura 50: Resumen general propuesta de mejora	80
Figura 51: Parámetros de cargas térmicas	84
Figura 52: Modelo de superficies analíticas	85
Figura 53: Lista de unidades condensadoras para diseño	92
Figura 54: Selección de equipos	92
Figura 55: Modificación de propiedades de la tubería	93
Figura 56: Sistema de creado - Software de selección de equipo.....	93
Figura 57: Ejemplo de distribución UC-02.....	94
Figura 58: Ejemplo gráfico de equipos UC-02.....	95
Figura 59: Comparativa propuesta 1 - Green Building Studio	97
Figura 60: Propuesta de techo	98
Figura 61: Propuesta muros exteriores	99
Figura 62: Propuesta ventanas	101

RESUMEN

La presente investigación muestra una breve aplicación de la metodología BIM (Building Information Modeling) para proyectos tipo oficinas que se encuentran en funcionamiento. Su enfoque se centra en el análisis energético para optimizar el consumo de un edificio mediante la aplicación del modelo BIM y así poder realizar diferentes simulaciones y análisis para obtener datos y propuestas de mejora tanto en la infraestructura como en las instalaciones del edificio.

Esta investigación tiene como finalidad aplicar el modelo BIM 6D para optimizar el consumo energético de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Esta investigación es de tipo cuantitativo, con un nivel aplicativo y un diseño no experimental. La muestra es el local de la Caja Municipal de Ica. Los instrumentos son los softwares digitales que se utilizarán, así como los planos del proyecto.

Para lograr los resultados propuestos en la investigación se trabajó con el modelo BIM de la muestra, y la aplicación de diferentes softwares para analizar el modelo energético, obtener propuestas de mejora y encontrar una respuesta para cada especialidad.

Como resultado se obtuvo el ahorro energético de un 45%. Siendo el ahorro en las instalaciones eléctricas de 22%, en las instalaciones mecánicas de 31.4% y mediante modificaciones físicas en la infraestructura de 18.14%.

Concluyendo que, al aplicar un BIM en el diseño de las especialidades mejora la estructura física de la envolvente. Se identificó que los equipos de mayor consumo energético son las luminarias y el sistema de aire acondicionado.

Palabras clave: BIM, consumo energético, instalaciones eléctricas, instalaciones mecánicas, estructura física, modelo 3D

ABSTRACT

This research shows a brief application of the BIM (Building Information Modeling) methodology for office-type projects that are in operation. Its approach focuses on energy analysis to optimize the consumption of a building through the application of the BIM model and thus be able to carry out different simulations and analyzes to obtain data and proposals for improvement in both the infrastructure and the building facilities.

The purpose of this research is to apply the 6D BIM model to optimize the energy consumption of an 800m² premises of the Caja Municipal Ica.

This research is quantitative, with an application level and a non-experimental design. The sample is the premises of the Municipal Fund of Ica. The instruments are the digital software that will be used, as well as the project plans.

To achieve the results proposed in the research, we worked with the BIM model of the sample, and the application of different software to analyze the energy model, obtain improvement proposals and find an answer for each specialty.

As a result, energy savings of 45% were obtained. The savings in electrical installations being 22%, in mechanical installations 31.4% and through physical modifications in the infrastructure 18.14%.

Concluding that, by applying a BIM in the design of the specialties, the physical structure of the envelope improves. It was identified that the equipment with the highest energy consumption are the lighting and the air conditioning system. At the end of the thesis, one can conclude the importance of having a good design of the specialties since the physical structure of the envelope can be improved, but the equipment that consumes the most are the lighting and the air conditioning system.

Keywords: BIM, energy consumption, electrical installations, mechanical installations, physical structure, 3D model

NOMBRE DEL TRABAJO

TESIS - ENZO ESPINOZA.docx

AUTOR

ENZO KEVIN ESPINOZA CERVANTES

RECUENTO DE PALABRAS

21975 Words

RECUENTO DE CARACTERES

116587 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

133 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

7.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jan 23, 2024 12:18 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jan 23, 2024 12:20 PM GMT-5

● 19% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 18% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 9% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)
- Material citado



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

Facultad de
Ingeniería y
Arquitectura

Biblioteca FIA

Juana Chunga Rodríguez
Bibliotecóloga

INTRODUCCIÓN

Desde los inicios de la ingeniería, el ámbito de la construcción ha ido evolucionando conforme pasan los años, mejorando considerablemente sus aplicaciones y resultados. Cada avance tecnológico, nos ayuda a mejorar los procesos en la construcción. Hemos pasado de dibujar planos a mano a dibujar de forma digital en computadoras, de igual forma, el intercambio de información también ha mejorado, de pasar hojas de papel a pasar archivos pesados por correo o memorias externas e incluso por la nube. Uno de estos cambios innovadores que han puesto de cabeza al sector construcción es la aplicación de la metodología BIM. Esta mejora tecnológica que ya viene siendo utilizado en varios países con éxito, incluyendo al Perú, busca realizar un trabajo colaborativo entre todos los involucrados optimizando los procesos y resultados en todas las etapas proyecto.

La principal problemática para la elaboración de esta investigación es alto costo de la energía eléctrica del local. Para poder analizar esta problemática debemos ahondar en lo que ocasiona que consuma mayor energía eléctrica y encontrar formas de mejora. Usualmente durante el día, cada persona utiliza diferentes equipos que consumen energía eléctrica, siendo uno de estos los aires acondicionados. Es lo que lleva a la investigación a optimizar el consumo energético del local, energía eléctrica, calor y enfriamiento, mediante las modificaciones en la materialidad de los ambientes siempre teniendo en cuenta el confort del usuario que viene a ser un indicador importante para la toma de decisiones.

Para esta investigación, se utilizó como muestra el local de Castrovirreyña de la Caja Municipal de Ahorro y Crédito de Ica. Este local con características coloniales, fue parte de la zona céntrica de la ciudad desde hace ya varias décadas.

El local que actualmente ya es propiedad de la Caja Municipal de Ica, antiguamente pertenecía a la Caja Luren que fue de las primeras micro financieras en la región de Ica, antes que se cree la Caja Municipal de Ica en 1989. Este local funciona como agencia financiera donde la entidad cuenta con su área de atención al público para procesos de operaciones y créditos. Por otro lado, todo el resto de la edificación funciona como oficinas administrativas donde los colaboradores de la entidad realizan sus funciones. Cuenta con un área de terreno de 838.77m² y área construida de 1823.27m² distribuidos en 03 niveles y una azotea.

El objetivo principal de la investigación es utilizar una de las aplicaciones del BIM 6D para el análisis energético de un local tipo oficina de 800m² de la Caja Municipal de Ica y poder buscar opciones de optimizar su consumo. Esto debido a la problemática principal de la investigación por el alto consumo energético que tiene el local.

El primer objetivo específico sobre el consumo energético de las instalaciones eléctricas, se van a optimizar los consumos en los artefactos lumínicos, donde se va a analizar una propuesta de cambio de equipos

El segundo objetivo específico sobre el consumo energético en las instalaciones mecánicas, se refieren a el sistema de aire acondicionado que también abarca como el 60% del consumo energético de un local y se presentó una propuesta de mejora para optimizar el consumo.

El tercer objetivo específico sobre la modificación física en la infraestructura se analizarán propuestas de mejora para los techos o losas, muros e incluso ventanas del local para la reducción del consumo.

La importancia de esta investigación es aplicar el modelo BIM para optimizar el consumo energético de un local específico de una entidad financiera, esto con el fin de optimizar los costos y encontrar oportunidades de mejora para el local.

Para poder lograr los resultados se van a iniciar el proceso con la recopilación de la información del local, ya que como es un local antiguo en funcionamiento se va a analizar todas sus características e incluso el expediente técnico del acondicionamiento; luego, se va a continuar con el modelado 3D en el software Revit, este modelado tiene las características de los elementos influyentes en los consumos como los muros, piso, techo, cielo raso, entre otros elementos arquitectónicos y se encuentra en un nivel del detalle (LoD) 200. Luego en el modelo que agregaran las características generales del local como ubicación, tiempo operación, sistema de ventilación, entre otros para que el software pueda hacer la simulación más precisa. A continuación, se corre el modelo analítico de energía y se analizan los resultados de acuerdo a dos softwares de Autodesk como lo son Insight y Green Building Studio. En el Green Building Studio se revisarán las propuestas de mejora como lo son principalmente las instalaciones eléctricas (alumbrado) y mecánicas (aire acondicionado). Para poder realizar las mejoras en el sistema de alumbrado se utilizará el software Dialux y ahí se modelará el sistema y se le asignaran diferentes tipos de artefactos y analizaremos los cálculos obtenidos y buscaremos propuestas de mejora de artefactos. Para el sistema mecánico, el Revit te bota un análisis de cargas térmicas y con estos datos se procederá a utilizar un software de la marca Trane para la selección de equipos de acuerdo al nuevo diseño y analizar las cargas eléctricas de los equipos. De igual forma, mediante el software Green Building Studio se puede obtener propuestas de mejora en la infraestructura física de las cuales se analizarán los datos obtenidos.

Por último, se hará un cálculo general para saber en cuanto reduce el consumo del local de manera mensual o anual, en términos de kilowatts por hora⁹ y soles.

La presente investigación está estructurada de la siguiente manera:

- En el capítulo I, se podrá observar el marco teórico de la investigación donde se encuentran los antecedentes, la fundamentación y planteamiento del problema, las bases teóricas y la definición de términos básicos
- En el capítulo II, se mostrará la hipótesis general, las hipótesis específicas y sus variables operacionales.
- En el capítulo III, se indicará la metodología de la investigación donde se explicará el diseño metodológico, el diseño muestral, las técnicas de recolección de datos y las técnicas estadísticas para el procesamiento de los datos.
- En el capítulo IV, se mostrarán los resultados de acuerdo a los objetivos planteados en las diferentes especialidades y se explicaran los pasos que se han seguido para obtenerlos.
- En el capítulo V, se presentarán la discusión de los resultados en comparación a las hipótesis de la investigación y a los antecedentes que tengan que ver con el tema.
- Finalmente están las conclusiones, recomendaciones, referencias bibliográficas y anexos.

CAPÍTULO I. MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes de la investigación

1.1.1. Antecedentes internacionales

Carrasco, Lombillo, Balbas, Aranda y Villalta (2023), mencionan en su artículo de investigación sobre “Building Information Modeling (BIM 6D) y su aplicación al cálculo de cargas térmicas en modernización” para la Universidad de Cantabria en España, de proponer acciones óptimas para mejorar la eficiencia energética de una edificación amplia para oficinas en regiones tropicales con sistemas de enfriamiento asegurando el confort del usuario a buen costo.

Para este estudio toman de ejemplo una edificación de Costa Rica y usan el Revit como herramienta para el modelado, dentro del Revit se ingresa las características de la edificación, como la ubicación, temporada, detalles de la estructura y de las instalaciones. Con el modelado se realizan los análisis de cargas térmicas de las zonas internas de la edificación y con los resultados se realizan diferentes propuestas para optimizar la carga con la modificación de diferentes elementos de la edificación.

Los autores concluyen que existe una ventaja en los resultados obtenidos a través del Revit y resultados obtenidos por otros medios. A través del software se pueden adoptar soluciones y modificaciones con el fin de evaluar las mejores opciones y su eficacia. Finalmente indican que el modelo BIM no siempre está disponible por lo que no sería posible aplicar la metodología BIM.

Purohit (2019), menciona en su trabajo de investigación, “Aplicación del BIM 6D en el diseño eficiente de una edificación” para la Pandit Deendayal Petroleum University de India, sobre su objetivo de elegir la mejor orientación del edificio y la selección de los mejores materiales para reducir el consumo energético a través del BIM haciendo más fácil este proceso.

La metodología que utilizo para obtener estos resultados es a partir del modelado de la edificación con Revit, realizar el análisis del caso a través de otros formatos como gbXML (Green Building Studio), obtener opciones en cuanto a la orientación de la edificación, simular las mejores opciones y validar los resultados con la data real.

El autor concluye que el BIM nos da la capacidad de evaluar el consumo energético de acuerdo a los parámetros del edificio y tomar las mejores decisiones para el diseño sin tener que hacer algún trabajo físico.

Soto (2017) presento su investigación “Simulación BIM, mejores prácticas para la eficiencia energética en edificios de viviendas plurifamiliares” para la Universidad Politécnica de Cartagena. El objetivo de su investigación es evaluar el comportamiento energético de distintas viviendas y analizar cómo afecta las características del edificio, los materiales, el control solar y la ventilación para poder conocer las medidas para reducir la demanda energética y disminuir el consumo. Mediante el modelado se analizarán las distintas interacciones con los tipos de vivienda elegidos. Las 03 edificaciones base que se utilizaron son de bloque extento, bloque entre medianeras y adosados. Conocer la climatología del lugar será

de gran importancia, así como realizar análisis energéticos previos de cada local. Se realizaron los análisis mediante el software CYPE CAD. Se concluyó con el primer parámetro de compacidad que la altura entre plantas influye en los cálculos de calor y en la demanda de calefacción. Con el segundo parámetro de materialidad se concluyó la influencia de la envolvente exterior para el consumo energético del local y los análisis de los vidrios templados. En el tercer parámetro se determinó la influencia de la orientación del local primando la orientación sur como la más óptima. Y finalmente el cuarto parámetro de ventilación se analizó la influencia de los sistemas de climatización y renovación de aire para la calefacción y enfriamiento ya que estos disminuyen su demanda a medida que aumenta la ventilación.

1.1.2. Antecedentes nacionales

Polar, Quea y Pacompia (2022), presentaron su investigación sobre el Análisis del comportamiento energético de una vivienda social mediante la integración del BIM, para zonas de friaje sobre los 3800 msnm ubicados en la región de Puno para la Universidad Peruana La Unión. Su procedimiento inicia con la elección del proyecto mediante el cual realizaran la investigación, una vivienda del programa de Techo Propio del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, luego iban a realizar el modelado 3D en base a las propiedades térmicas del RNE EM.110 e iban a realizar las simulaciones mediante el programa de Green Building Studio. A través de estas simulaciones se propusieron 03 escenarios donde indicaban el uso

eléctrico anual, la demanda máxima anual, intensidad del uso de energía y cálculo de refrigeración y calefacción.

Posterior a sus análisis concluyeron que el aplicar doble muro con poliestireno y triple lamina de vidrio para las ventanas con cobertura metálica permite reducir el consumo eléctrico alcanzando un ahorro anual de 37.5%. Finalmente definieron que mejorando la envolvente con materiales de transmisión térmica y con aislante térmico se logra optimizar las demandas de calefacción y refrigeración.

Poves (2022) menciona en su investigación sobre “Eficiencia energética del sistema eléctrico de iluminación y su influencia en el análisis de costos de energía de la Municipalidad Distrital de Orcotuna – Concepción” para la Universidad Continental de Huancayo, sobre el análisis del sistema de iluminación para reducir el consumo y costo energético del local. Sus objetivos fueron evaluar el impacto y analizar los consumos del sistema de iluminación del local. Además de contrastar los niveles con la norma NTP EM.010 y también determinar la rentabilidad de la investigación propuesta. El diseño de su tesis es cuantitativo de acuerdo a los análisis que se han realizado y los cálculos obtenidos. Se concluyó que existe una influencia significativa de los niveles de potencia con respecto al costo de energía de las lámparas y también se determinó que el proyecto era viable y rentable para la Municipalidad de Orcotuna porque se obtuvo una relación costo – beneficio de 1.33.

Cucho (2018), menciona en su investigación sobre el Análisis Bioclimático de una edificación empleando herramientas y metodología BIM para la Universidad Nacional de Ingeniería, que la mayor parte de la inversión de un proyecto de construcción se encuentra en la etapa de operación y mantenimiento, es por este motivo que tomar las mejores decisiones frente al análisis climático es una forma de mejorar la inversión total. Su análisis la realiza en base al edificio CIIFIC (Centro de información e investigación de la facultad de Ingeniería Civil) de la Universidad Nacional de Ingeniería. Esta edificación se realizó el modelado 3D en todas las especialidades (arquitectura, estructuras y MEP) mediante la herramienta Revit. También realizó el análisis 4D mediante la herramienta Tekla. Dentro de su investigación se realizaron análisis solar, análisis de viento, análisis de la vegetación de la zona, análisis de radiación, análisis de ambiente principal, análisis de iluminación natural, análisis de insolación, análisis térmico y un análisis virtual general.

Finalmente concluye la importancia de aplicar la metodología BIM en el análisis de un proyecto mejora la planificación y ejecución. Así como los beneficios de hacer un análisis bioclimático para la detección de aspectos que usualmente no son previstos en el desarrollo de diseño en edificaciones.

1.2. Fundamentación del problema

En el campo de la construcción existen diferentes tipos de edificaciones que se diferencian de acuerdo a su uso. Cada una de estas tiene diferentes características, así como diferentes especialidades que intervienen y no siempre son las mismas. La muestra de la siguiente investigación es un local tipo oficina que se encuentra en funcionamiento y pertenece a la Caja Municipal de Ica. Esta edificación como toda edificación de oficina cuenta con las especialidades esenciales para su funcionamiento como las estructuras, las instalaciones eléctricas, las instalaciones mecánicas y las instalaciones sanitarias.



Figura 1: Fachada de local Castrovirreyna
Fuente: Elaboración propia

Este tipo de edificaciones tiene un costo elevado de los servicios especialmente el eléctrico por el uso continuo que se le da y la cantidad de personas que alberga en el lugar.

El principal problema de esta edificación es el consumo muy elevado de energía eléctrica lo que hace que el costo sea también elevado y esto obviamente ocasiona un problema para la entidad por el gasto que se hace mensualmente.

Tabla 1: Tabla de consumo eléctrico 2022

		AÑO 2022											
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
CONSUMO (KWh)		9788	9494	12542	8793	6989	5692	5443	5591	5799	5952	6934	10035
COSTO		S/ 8,050.76	S/ 7,808.94	S/ 10,315.96	S/ 7,232.36	S/ 5,748.54	S/ 4,681.75	S/ 4,476.94	S/ 4,598.67	S/ 4,769.75	S/ 4,895.60	S/5,703.31	S/ 8,253.92

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2: Tabla de consumo eléctrico 2023 (estimado)

		AÑO 2023											
		ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
CONSUMO (KWh)		12300	12941	13981	11115	7862	6332	6305	6818	6929	5952	6934	10035
COSTO		S/ 9,196.33	S/ 9,675.59	S/ 10,453.16	S/ 8,310.34	S/ 5,878.18	S/ 4,734.24	S/ 4,714.05	S/ 5,097.61	S/ 5,180.60	S/ 4,895.60	S/5,703.31	S/ 8,253.92

Fuente: Elaboración propia

La raíz del problema radica en el tipo de edificación que es y el tiempo de construcción. Se podría decir que la edificación tiene características coloniales ya que está en una zona cercana al centro de la ciudad por lo que nos puede decir que fue construido hace décadas. La Caja Municipal de Ica se creó en 1989 y años posteriores compraron el local que en su momento le pertenecía a la Caja Luren, entidad pionera en microfinanzas en la zona. Debido al tiempo de la edificación, al alto calor de la ubicación y a la falta de mantenimiento estructural que tiene el local, son parte del problema.



Figura 2: Techo aligerado del local

Fuente: Elaboración propia

Otro problema fue durante el proyecto de la Caja Ica al momento de la compra del local, se tienen registros que la obra fue realizada con los menores gastos posibles, esto nos puede indicar que las instalaciones eléctricas no están bien hechas, la estructura no ha sido la adecuada y las instalaciones mecánicas se han realizado de manera desordenada en diferentes momentos de acuerdo a la necesidad. También se debe agregar que el techo de la azotea se encuentra pandeado por la estructura tan débil que tiene y más adelante puede presentar un problema para el local.



Figura 3: Cuarto de tableros antiguos y nuevos
Fuente: Elaboración propia

Es por este motivo que surgió el interés para realizar la presente investigación mediante la cual se buscará optimizar el consumo del local en las especialidades más influyentes mediante el modelo BIM 6D y softwares de apoyo para esta finalidad.

1.3. Planteamiento del problema

Problema general:

¿Cuál es la influencia del modelo BIM 6D para optimizar el consumo energético de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica?

Problemas específicos:

¿Cómo se optimiza el consumo energético en las instalaciones eléctricas, con la aplicación del modelo BIM 6D, para un local de 800m² de la Caja Municipal Ica?

¿Cómo se optimiza el consumo energético en las instalaciones mecánicas, con la aplicación del modelo BIM 6D, para un local de 800m² de la Caja Municipal Ica?

¿Cuál es la influencia de las características físicas de la infraestructura de la edificación, con la aplicación del modelo BIM 6D, para optimizar el consumo energético de un local de 800 m² de la Caja Municipal Ica?

Objetivo general:

Aplicar el modelo BIM 6D para optimizar el consumo energético de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Objetivos específicos:

Identificar el consumo energético en las instalaciones eléctricas con la aplicación del modelo BIM 6D para un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Identificar el consumo energético en las instalaciones mecánicas con la aplicación del modelo BIM 6D para un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Determinar el impacto de las características físicas de la infraestructura de la edificación en la aplicación del modelo BIM 6D para optimizar el consumo energético de un local de 800 m² de la Caja Municipal de Ica.

1.4. Bases teóricas

1.4.1. BIM (Building Information Modeling)

Desde los primeros avances tecnológicos en computación, varios profesionales del ámbito de la construcción alrededor del mundo, comenzaron a darse cuenta el camino que iba a seguir esta actividad y en los años 70 surgió un nombre para comenzar este camino que relacionaba el humano con la computadora para la construcción.

En 1974, Charles Eastman redactó un documento llamado “An Outline of the Building Description System” (Un esquema del sistema de descripción de edificaciones), donde explican el concepto del BDS (Building Description System) y lo que se necesita para que un programa se pueda utilizar de forma efectiva para el diseño y construcción de proyectos mediante un sistema computarizado. Ya desde esta época se tenía en consideración un concepto muy importante para la construcción, que era que los dibujos van muy de la mano con los proyectos, tanto así que influyen directamente en el costo del mismo. Por esta razón el BDS se inició con la finalidad de desarrollar una herramienta digital que pudiera replicar con mejorar los dibujos arquitectónicos y eliminar varias debilidades.

En 1986, Robert Aish realizó una conferencia en el “5to Simposio Internacional del Uso de la Computadora para la Construcción” con el nombre de Building Modeling: the Key to integrated Construction CAD (modelar edificaciones: la llave para la construcción integrada a través del CAD). En esta época se utilizaba

también la nomenclatura CAD (dibujo asistido por computadora), donde Robert detalla este concepto, indicando sus usos, limitaciones, requerimientos y procesos. Menciono también que existe una gran dificultad entre las vistas 2D y 3D de los proyectos, ya que ambas van de la mano, pero se dibujan por separado y por este motivo recomendó un enfoque nuevo para que dificultades como esta desaparezcan.

BIM (Building Information Modeling) Modelado de la información para la construcción, es una metodología de trabajo colaborativo de un proyecto, así como el proceso de creación y administración de la información de un proyecto. Este concepto surgió como parte de la nueva metodología que se está aplicando en el mundo. El BIM no es solamente un software o solamente un concepto escrito, son ambas cosas que van de la mano para mejorar los proyectos.

Año tras año, la era digitalización crece más lo que hace necesario el crecimiento de la metodología BIM. Es conocido el termino 3D, tres dimensiones, ya que es un término que se utiliza ya hace buen tiempo en varios campos, pero el crecimiento de BIM va más allá de las 3D aplicando nuevos valores que trabaja en conjunto con esta nueva metodología y los beneficios que se quieren obtener con el BIM. Entre las dimensiones estándar del BIM tenemos:

- 1D Concepto
- 2D Sectorización (dibujo)
- 3D Modelado
- 4D Planificación
- 5D Costos
- 6D Sostenibilidad Energética
- 7D Seguimiento/Mantenimiento

Incluso existen otras dimensiones en bibliografías:

8D Seguridad

9D Lean Construction

10D Automatización



Figura 4: Building Information Modeling (BIM)

Fuente: <https://tutorialrevitybim.es/principios-de-la-metodologia-bim/>

1.4.2. Gemelo Digital (Digital Twin)

Desde la creación de los softwares de dibujo digital, se ha buscado poder recrear un proyecto con la mayor similitud al que se quiere construir. Con el avance de la tecnología y la aplicación de los softwares BIM, el modelado 3D llega a tener la posibilidad de tener las características similares a un proyecto en físico, siendo este un proyecto en la etapa de planificación o un proyecto ya construido y en funcionamiento. De acuerdo al portal IBM en español, el gemelo digital es una representación virtual de un objeto o sistema que contiene los datos en tiempo real y utiliza simulaciones, machine learning y razonamiento para la toma de decisiones. La aplicación del gemelo digital va más allá del modelado 3D ya que también cuenta con un tipo de automatización con información en sentido bidireccional, es decir

que la información siempre se encuentra en constante actualización lo que lo hace un modelo completo de estudio. Su beneficio radica en la cantidad de información que se guarda en el modelo, lo que muestra una mayor eficiencia durante la ejecución y monitoreo del proyecto. En futuro del gemelo digital es amplio ya que con los avances tecnológicos se puede aplicar en diversos ámbitos de proyectos e industrias, lo que deja claro el título de la investigación de Aashish Mehra donde indica un crecimiento en la industria del gemelo digital de más de 110 billones de dólares para el 2028.

1.4.3. Implementación BIM

La implementación BIM, corresponde a la integración de la metodología BIM en los procesos de un proyecto. Para comenzar a entender la metodología BIM, se realizaron en los puntos anteriores unos conceptos previos sobre el BIM y los procesos.

Según Barco (2018), “una parte fundamental de la implementación BIM es el correcto diseño de los procesos y el control de los mismos. Es importante disponer de un equipo de calidad para la implementación” (p. 16)

Para realizar una implementación BIM se requiere los siguientes equipos:

Procesos: implementar procesos, actividades y procedimientos de proyectos BIM

Recursos: definir las designaciones del personal y la logística necesaria

Estructura Organizacional: definir una estructura de trabajo para la implementación

Documentos: establecer los procedimientos, documentos, plantillas, registros y cualquier otro documento para un proceso rápido y eficaz.

Para poder realizar con éxito una metodología BIM, cada empresa debe disponer de un equipo BIM, este equipo tiene dos grandes ramas que van de la mano en cualquier empresa. Los recursos técnicos y los recursos humanos.

Los recursos técnicos son los encargados de abarcar el área digital del equipo BIM, en esta podemos encontrar los hardware, software, servidores, entorno de datos y logística.

Hardware: abarca las características del sistema que se va a utilizar para la implementación. Comprende las características de la computadora necesaria de acuerdo al tipo de proyecto, se detallan los componentes del CPU y del monitor.

Software: abarca los programas a utilizarse para el trabajo. Programas que ayudan en el dibujo, diseño, presentación y comunicación. En el dibujo, diseño y presentación se utilizan programas como Autodesk (Revit, Navisworks, 3D Studio, Civil 3D, Infracore, etc.), AllPlan, ArchiCAD, entre otros mencionados anteriormente. En la comunicación se utiliza programas en línea para poder reunirse otros profesionales como Meet, Skype, Zoom, etc.

Servidores: este punto abarca el tema de máquinas principales que se utilizaran como base del proyecto, brindar seguridad, gestión de datos y sistemas estables. Existen los servidores físicos que funciona como un hardware principal del cual se conectara para que el proyecto pueda ser trabajado, parte de estos servidores físicos también son los servidores LAN o internet. Están también los servidores dedicados que son servidores comprados o alquilados para un servicio, son servidores que causa un costo de mantenimiento, pero son situacionales. Por último, está el servidor privado virtual (VPS), este abarca la nube o red por el cual el proyecto puede ramificarse en varios proyectos para que se avance de forma simultánea por varios profesionales.

Entorno de Datos: esto abarca el intercambio de los datos de forma digital, existen los simples como enviarlos por correo o por la nube y el intercambio de datos avanzados que incluyen el intercambio de datos a través de programas específicos con las ventajas que estos pueden ser revisados, visores 3D, gestión documental, creación de procesos, etc.

Logística: este punto abarca los bienes que se tienen y se deben tener para poder realizar la implementación BIM, se detallan características para el trabajo en oficina y de forma digital, como cableado o velocidad de internet y accesos como LAN (internet local) o VPN (internet de servidor específico).

Los recursos humanos son los valores físicos que integran el equipo BIM y tienen diferentes oficios. Entre ellos se encuentran:

Modelador: es el encargado del dibujo, a través de los programas BIM mencionados anteriormente, de la disciplina correspondiente como arquitectura, estructuras, instalaciones (MEP) y urbanismo. Debe ser un profesional que conozca los proyectos a nivel general, manejo de softwares BIM y que trabaje bajo dirección de los proyectistas.

Gestor de contenidos: es el encargado de gestionar los objetos BIM dentro del software, así como las plantillas de proyecto que se utilizarán, es necesario que el profesional tenga un nivel muy avanzado en el manejo de softwares BIM. Trabaja de la mano con modeladores y operadores.

Operador: es el encargado de generar las vistas del proyecto necesarias para su proceso, ordena las especificaciones técnicas. También se encarga de crear los objetos BIM como plantillas y estructuras.

Ingeniero de Mediciones Virtuales (monitoring): es el encargado del levantamiento de estado actual de la obra, modelar proyectos creados por terceros

y control del modelo en obra. Se encarga de importar modelos en CAD y dibujo de los mismos en los programas BIM. Debe tener conocimientos básicos de dibujo arquitectónico y procesos constructivos.

Proyectista: es el encargado de desarrollar el modelo del proyecto. Debe tener conocimiento suficiente de diseño en el software BIM y de estrategias de modelado. Coordina con el BIM manager.

Calculista: es el encargado de realizar los cálculos correspondientes del proyecto. Se dividen en cálculos estructurales y en cálculos de instalaciones (MEP). Debe conocer la interoperabilidad entre los distintos programas de cálculo y los softwares BIM. Programas como Revit Structure o Revit MEP incluyen como parte del software unas funciones para realizar cálculos del proyecto.

Manager BIM: es el encargado del equipo BIM de la empresa. Asume todas las responsabilidades de los demás miembros. Dependiendo del proyecto pueden haber más de un BIM manager. Este debe manejarse en áreas técnicas, áreas tecnológicas, áreas logísticas, análisis de impacto económico y conocer los procesos del proyecto.

Coordinador BIM: se encarga de realizar las coordinaciones del equipo BIM.

Coach BIM: es el encargado de formar a cualquier miembro del equipo, por este motivo debe tener conocimiento en cualquier área.

Controlador BIM: es el encargado del equipo BIM de parte de la empresa, como el nexo entre ellos. Se recomienda que sea un gerente de la empresa.

Manager de Información: es el encargado de manejar toda la información dentro del equipo BIM, y la información que se maneje del proyecto y de la empresa.

A partir de los roles podemos realizar los organigramas del proyecto BIM. En estos documentos se dividirán las responsabilidades de los involucrados, organizaron del proyecto y orden de trabajo del equipo BIM.



Figura 5: Equipo BIM

Fuente: <https://thefactoryschool.com/blog/que-es-un-bim-manager-2/>

1.4.4. Softwares Autodesk

Los softwares de Autodesk son los más populares en el campo de la construcción para el uso de la metodología BIM. Autodesk trabajaba hasta este entonces con AutoCAD, que es un programa de dibujo.

Revit Technologies Inc. Lanzo en el año 2000 su propio programa que permitía el diseñar y planificar los proyectos. Este programa ingreso al ámbito BIM ya que permitía la creación 2D y 3D de forma simultánea y se podía ingresar la información de los elementos. Este programa no paso por alto a la gran empresa de Autodesk que en el año 2002 compraron este programa y así ingresar al ámbito BIM.

A partir de ahí Autodesk comenzó su ampliación en la metodología BIM adquiriendo varios programas y mejorando los que tiene. Adquirió Navisworks en

el 2007 entre otros programas. Los softwares principales de Autodesk en el campo de la construcción son:

AutoCAD

Revit Architecture

Revit MEP

Navisworks

3D Studio

Civil 3D

Inventor

1.4.5. Nivel de desarrollo - LoD (Level of development)

A través del LOD se va a saber los detalles de los modelos BIM, es decir el nivel de desarrollo del modelo. Según Morea y Zaragoza (2015), este concepto tiene varios niveles que mientras más alto más detallado puede ser el modelo BIM. Los niveles son los siguientes:

- LoD 100: Nivel básico de detalle. Se muestra de manera genérica el elemento dentro del modelo BIM.
- LoD 200: Nivel en el que se define características gráficas del elemento. Se mencionan las cantidades, tamaño, forma y ubicación del elemento.
- LoD 300: Nivel de detalle intermedio. Se mencionan precisamente las cantidades, tamaño, forma y ubicación del elemento.
- LoD 400: Nivel de detalle geométrico de un elemento, posición, pertenencia, uso y montaje. Se agrega la información de la fabricación. Se reconocen las interferencias del proyecto.

- LoD 500: Nivel de detalle “as built”. Cada elemento está definido geoméricamente en el modelo. Se indica su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación.

1.4.6. Ahorro energético

Como punto de partida se puede mencionar que la mayoría de actividades que realizamos en nuestro día a día utilizan energía eléctrica. La energía eléctrica es una fuente de energía no renovable, es decir que se puede gastar por tal motivo es parte importante el ahorro del mismo. Además, el modo de transportar, extraer y consumir esta energía tiene impacto en el medio ambiente.

En el hogar, los electrodomésticos componen más de la mitad del gasto energético mensual ya que los utilizamos de manera continua. Equipos como horno microondas, lavadora, refrigeradora, equipos pequeños, etc. son de las principales fuentes de consumo energético. Para buscar un ahorro energético en el hogar es necesario leer los consumos de los equipos que vamos a comprar y optimizar su uso para evitar gastos innecesarios.

Los equipos de climatización, también componen otro gran grupo de elementos que consumen mucha energía eléctrica, equipos como el aire acondicionado cuenta con un gran consumo eléctrico. Para buscar un ahorro energético se deben utilizar técnicas como la ventilación natural, orientación del edificio, aislamiento térmico en el hogar.

En el tema de iluminación, los equipos led también consumen mucha energía, por lo que es recomendable el uso de la luz natural, uso de lámparas de bajo consumo y mejorar la distribución de los equipos de alumbrado en los ambientes.

1.4.7. Normatividad de instalaciones eléctricas

Norma Técnica EM.010 Instalaciones eléctricas de interiores del RNE

La norma técnica EM.010 establece los requisitos mínimos que deben cumplir todos los proyectos de instalaciones eléctricas para interiores. Su objetivo es garantizar la seguridad de las personas y asegurar un suministro eléctrico ininterrumpido. Esta norma se aplica a cualquier edificación que requiera una instalación eléctrica segura, sin importar su antigüedad. Se sugiere seguir un orden específico de estándares al diseñar cualquier instalación eléctrica en el país, priorizando las normas técnicas y reglamentos nacionales, y en caso de su ausencia, las normas IEC o ISO.

Código nacional de electricidad

El Código Nacional de Electricidad es la principal normativa en materia de seguridad eléctrica. Su propósito fundamental es establecer reglas preventivas destinadas a proteger la seguridad de las personas, la vida animal, la vida vegetal y la propiedad contra los riesgos asociados al uso de la electricidad. Además, busca preservar el medio ambiente y proteger el patrimonio cultural de la nación.

Este código aborda medidas preventivas contra descargas eléctricas e incendios. También establece requisitos para la instalación, operación y mantenimiento de sistemas eléctricos. Exige que los proyectos de sistemas eléctricos consideren los aspectos de la norma técnica de calidad de los servicios eléctricos, asegurando que su operación y mantenimiento no afecten negativamente la calidad del servicio de suministro eléctrico. Este documento fue redactado por el Ministerio de Energía y Minas.

1.4.8. Luminarias LED

Fraile V., J. y Gago C, A. (2012) mencionan en su investigación sobre Iluminación con Tecnología LED. Un LED es un tipo de lámpara de estado sólido que usa leds (diodos emisores de luz) como fuente lumínica. Debido a que la luz que presenta un led no es intensa, las lámparas led están compuestas por grupos de focos leds, de numero variable, de acuerdo con la intensidad luminosa ansiada.

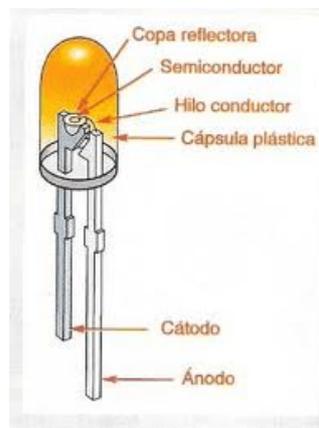


Figura 6: Partes del led

Fuente: <https://www.areatecnologia.com/electronica/como-es-un-led.html>

La tecnología a base de LED trabaja con menos energía en comparación a otras lámparas para entregar el similar flujo luminoso. Anteriormente, los watts daban una idea de cuánto era la luz que podía emitir una lámpara, más bien en caso de los leds la cantidad de watts no muestra la cantidad de luz. Al preferir lámparas de tecnología LED lo mejor sería reconocer el flujo luminoso en vez de la potencia.

En la actualidad las lámparas led se usan para cualquier aplicación, mostrando algunas ventajas, como su enorme ahorro de energía eléctrica, encendido instantáneo, soporte a los apagados y encendidos continuos y su elevada vida útil, como también poseen inconvenientes como por ejemplo su elevado costo.

Las lámparas LED son más duraderas, por lo que representan un ahorro a largo plazo en recambio de equipos debido que éstas duran 10 veces más que las halógenas. (p. 19)

1.4.8.1. Principio de funcionamiento de las lámparas LED

Una lámpara LED está formada por LEDs, que son diodos que emiten luz. Estos diodos, al pasar la electricidad a través de ellos, emiten una luz tenue. Lo que hace la tecnología LED es agrupar diferentes diodos en una misma placa para que, de esta manera, con la suma de todas esas iluminaciones tenues, formar un LED. De esta forma, es posible graduar la intensidad y constancia de la luz. La principal característica que tienen los diodos es que, al ser muchos “micropuntos generadores de luz”, puede fallar uno, pero nunca van a fallar todos. Por eso su luz es más constante y su rendimiento más fiable. Además, se da la particularidad de que estos diodos son tremendamente eficientes al aprovechar la energía y transformarla en luz. De ahí que, con menos energía, seamos capaces de generar más luz que con la tecnología convencional. (p. 20)

1.4.8.2. Composición de un LED

En las lámparas LED los diodos están constituidos por un material emisor semiconductor que está montado sobre un chip-reflector. Además, tenemos dos polos conductores (negativo o cátodo y positivo o ánodo). También tenemos un cable conductor a través del cual se juntan los dos polos. Finalmente, la lente o cápsula que protege el semiconductor del LED. (p. 21)

1.4.8.3. Funcionamiento del LED

El funcionamiento de las lámparas LED se rigen bajo el Principio Fotoeléctrico expuesto por Albert Einstein. Según este principio, algunos materiales al ser sometidos al paso de la corriente eléctrica generan luz. Los electrones al pasar por

los diodos y se convierten en luz. Este proceso se llama electroluminiscencia y no depende de la generación de calor como la “incandescencia” para emitir luz, por este motivo la eficiencia del LED es muy superior, ya que consigna la energía directamente a generar luz. Para ello un LED debe ser polarizado de manera directa. Es decir, se le debe hacer circular una corriente de “ánodo” (terminal positivo) a “cátodo” (terminal negativo). Cuando esto sucede el LED reacciona produciendo un “fotón”. El fotón se origina al desprenderse los electrones de las capas de conducción a las capas de valencia. (p.22)

1.4.9. Gestión de la energía

La Gestión de la Energía implica optimizar el uso de la energía considerando diversos criterios, como la ocupación del edificio, la tarifa eléctrica y el número de personas presentes. En este proceso, se tienen en cuenta varios factores, entre ellos:

Racionalización de Cargas Eléctricas:

- Consiste en desconectar cargas eléctricas cuando la demanda de energía supera la potencia contratada.
- El sistema domótico conecta o desconecta líneas o circuitos eléctricos para evitar interrupciones en el suministro.

Automatización de Luminarias:

- Permite programar el encendido y apagado de luces de acuerdo con diversas necesidades de control.
- Se puede regular la intensidad lumínica, encender o apagar un número específico de luces, etc.

Control de Iluminación basado en el Ambiente y la Presencia:

- Ajusta la luminosidad del área según el nivel de iluminación ambiental y la presencia de personas.
- La iluminación se activa cuando el nivel de luz supera el ajuste del usuario y siempre en presencia de personas, mejorando el confort visual y ahorrando energía en caso de olvido de apagar las luces.

Control Temporizado de Luminarias:

- Permite sincronizar el encendido o apagado de las luces en un área según los requisitos del usuario.
- Por ejemplo, apagar las luces en baños, oficinas o aulas después de un tiempo preestablecido sin detectar presencia.

En resumen, la gestión de la energía busca optimizar el consumo eléctrico mediante la aplicación de medidas como la desconexión de cargas, la automatización y control de luminarias, y la sincronización temporal de su funcionamiento, contribuyendo así al ahorro energético y a la mejora del confort para los usuarios.

1.4.10. Aire acondicionado

De acuerdo a Dorregaray, G. (2008), en su investigación menciona que un sistema de aire acondicionado es un todo que agrupa a su vez diferentes subsistemas, que hacen que este sistema mayor cumpla con las expectativas trazadas al inicio del proyecto. Se debe controlar simultáneamente la temperatura, humedad, limpieza y distribución del aire. Con el aire acondicionado las personas viven más confortables y muchos procesos industriales se realizan de una manera más eficiente. Antes de ingresar en la descripción del proyecto, se considera necesario definir dos

conceptos importantes del diseño para así poder citarlos en el transcurso del mismo. La carga térmica y la ganancia de calor en un edificio. (pág. 04)

Carga Térmica

Es un término fundamental en todo diseño de aire acondicionado, este concepto debe ser interpretado adecuadamente con el fin de seleccionar la mejor alternativa para un sistema de aire acondicionado. Para poder calcular la carga térmica se deben tener en cuenta los siguientes factores:

- Histórico de temperaturas
- Temperatura de diseño
- Dato de humedad del lugar
- Orientación de la edificación
- Detalle de equipos y ambientes en la edificación
- Carga de iluminación
- Cantidad y flujo de personas
- Detalles de los elementos del local construcción (Paredes, Techo, Piso, Ventanas y Puertas)
- Datos de ganancia de calor de diferentes materiales

La carga térmica está formada a su vez de dos componentes, el calor sensible y el calor latente. El calor sensible es el que adquiere o cede un ambiente y puede ser medido por termómetro de bulbo seco, de acuerdo a lo mencionado en el siguiente extracto: “Si el proceso de añadir o quitar calor a una sustancia puede ser medida con un termómetro de bulbo seco, este calor se denomina calor sensible (Air Conditioning and Refrigeration Institute, 1987, tomo 3)”.

Por otro lado, el calor latente, es un factor de carga que se adiciona para considerar la humedad presente en el ambiente. Este concepto modifica la humedad del ambiente, como el cambio de estado de líquido a vapor, pero no modifica la temperatura.

Ganancia de calor en una estructura

En una edificación, existen elementos que generan calor al pasar una energía a través de ellos. Es de esta manera que una edificación a raíz del sol ya puede generar un calor en el interior que demandaría la instalación de equipos de ventilación mecánica. La ganancia de calor para el diseño de un sistema de aire acondicionado se calcula para todos los ambientes que van a tener este tipo de ventilación. La radiación solar se da a través de la envolvente exterior del local ya que, a través de las ventanas, muros, techos, puertas y otros elementos genera una ganancia de calor de una edificación. La energía solar transmitida y absorbida dependerá del tipo de vidrio y además del grosor de las paredes. La ganancia de calor total en un ambiente no es más que la suma de la ganancia total de calor sensible y calor latente.

Equipo de Aire Acondicionado

Un equipo de aire acondicionado es el encargado de extraer calor y humedad del espacio a acondicionarse, este equipo puede ser independiente o parte de un sistema de ventilación mecánica el cual debe ser capaz, de modificar el aire con ciertas características deseadas y planteadas al iniciarse cada proyecto. En la figura se puede apreciar un ciclo típico de acondicionamiento de un ambiente.

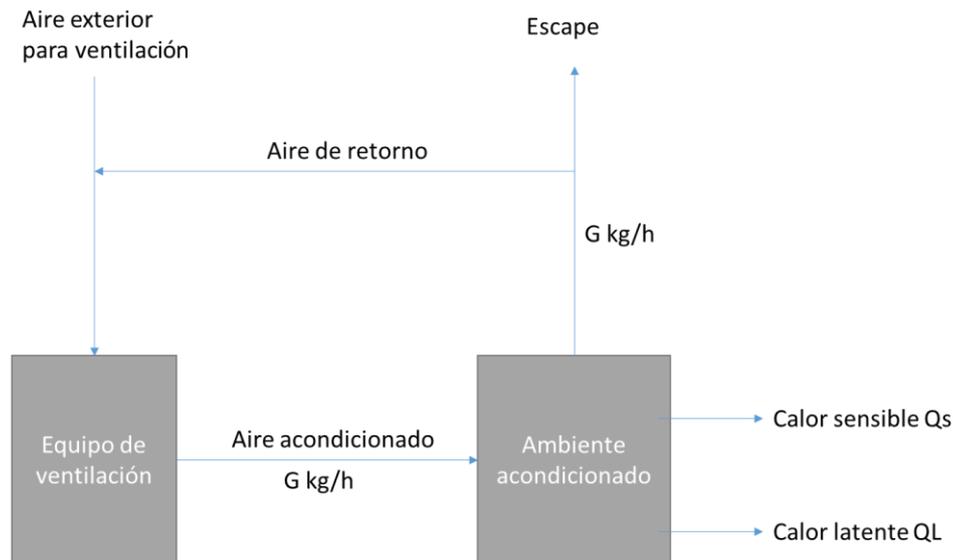


Figura 7: Esquema de acondicionamiento de un ambiente
Fuente: Diseño del sistema de aire acondicionado de una oficina zonal pública en Pucallpa por Dorregaray, G. 2008 pág. 04

1.4.10.1. Partes de un sistema de aire acondicionado

Compresor

Es el accesorio principal del sistema de compresión de vapor y por ende el primer componente que se analiza en un mantenimiento. Existen dos tipos de compresores más comunes: Alternativo y Rotativo o de Tornillo, los cuales se menciona a continuación.

- El compresor alternativo es un tipo de compresor de desplazamiento positivo y pueden ser fabricado en diferentes tamaños y de acuerdo al equipo. Los compresores modernos son de simple uso y pueden presentar configuraciones de uno solo o múltiples cilindros dispuestos en forma de V, W, radial o en línea. Durante la fase de admisión, el gas refrigerante de baja presión es succionado a través de la válvula de admisión, que puede ubicarse en el pistón o en la culata. Durante la fase de escape, el pistón comprime el refrigerante y lo expulsa a través de la válvula de escape. La

velocidad de operación de estos equipos ha experimentado un aumento gradual en los últimos años, llegando a velocidades actuales de 3600 RPM.

- El compresor rotativo o de tornillo es comúnmente empleado en situaciones de carga completa, lo que significa que es eficaz para operar cerca de su capacidad de diseño, especialmente en aplicaciones que involucran grandes volúmenes. Estos equipos son conocidos por su bajo mantenimiento y niveles reducidos de ruido durante su funcionamiento, lo que contribuye a que tengan un costo más elevado. Las características distintivas del compresor de tornillo lo hacen idóneo para su implementación en la industria, especialmente en aplicaciones a gran escala, gracias a su durabilidad, eficiencia energética destacada, y su capacidad para refrigerar volúmenes considerablemente grandes (a partir de 400 m³/h). Este tipo de compresor es predominantemente utilizado en sistemas de chillers.

Condensadores

Son los equipos que reciben el vapor refrigerante que proviene del compresor con el fin de eliminar el recalentamiento del vapor ya que lo condensan, disminuyendo así el valor de entalpía; es decir los cambios de energía térmica. A continuación, se mencionan tres tipos de condensadores, el primero de ellos es el condensador refrigerado por agua, condensador refrigerado por aire y del tipo evaporativo.

Condensador Refrigerado por Agua

En este sistema, el refrigerante caliente proveniente del compresor experimenta un proceso de enfriamiento mediante el uso de agua. Esta agua, a su vez, se enfría en una torre de enfriamiento.

Condensador Refrigerado por Aire

En este tipo de equipo, se transfiere calor a través de un flujo de aire. Grandes ventiladores proporcionan este flujo de aire, que atraviesa los tubos y aletas del condensador. Dentro de los tubos, el vapor del refrigerante libera calor, experimentando un cambio de fase hacia el estado líquido.

Condensador Evaporativo

Este condensador se destaca por su eficiencia y confiabilidad superiores. La refrigeración del aire se logra mediante la evaporación del agua en un flujo de aire a contracorriente, reduciendo la temperatura de bulbo seco. La evaporación del agua extrae calor del refrigerante, que circula a través de tubos dentro de la carcasa.

Dispositivos de expansión

Después de pasar por el compresor y el condensador, el siguiente componente crucial en el sistema de compresión de vapor es el dispositivo de expansión. Este dispositivo tiene una doble función, ya que debe reducir la presión del refrigerante líquido y al mismo tiempo regular el flujo del refrigerante hacia el evaporador, actuando esencialmente como una válvula de control de flujo. Entre los dispositivos de expansión más comunes se encuentran los tubos capilares, ampliamente utilizados en dispositivos de refrigeración con potencias menores a 3.7 kW. No obstante, también se están implementando en algunos sistemas de mayor potencia. Estos tubos capilares tienen longitudes que van desde 0.5 hasta 5 metros y diámetros internos que oscilan entre 0.6 y 2.3 mm. La fricción generada dentro de estos tubos capilares provoca una caída de presión, logrando así el efecto deseado en el sistema.

Evaporadores

Un evaporador de un sistema de refrigeración es un elemento que intercambia el calor en el que pasa desde la sustancia que se va a enfriar hasta el refrigerante en ebullición. La finalidad de un sistema de refrigeración de un sistema de aire acondicionado, es el de absorber calor del aire y esta se lleva a cabo en el evaporador. A continuación, se mencionan 4 tipos de evaporadores.

Evaporador de Circulación Natural:

Este tipo de evaporador, comúnmente empleado en cámaras de almacenamiento en frío, aprovecha las fuerzas gravitacionales para su funcionamiento, permitiendo la circulación natural del refrigerante.

Evaporador Inundado

Se trata de un dispositivo en el cual un flotador actúa sobre una válvula de expansión, facilitando que el refrigerante fluya a través de todo el serpentín y absorba calor de las paredes. Este sistema se utiliza para un mejor control de la expansión del refrigerante.

Enfriador de Líquido

Similar al evaporador inundado, este sistema también emplea una válvula de expansión controlada por un flotador de nivel. Sin embargo, a diferencia del evaporador inundado, el refrigerante se acumula no en tubos, sino en la carcasa, siendo atravesado por tubos que transportan el líquido a enfriar.

Evaporador de Expansión Directa

Este evaporador, que puede tener circulación natural o forzada, es un diseño seco que prescinde de fluidos portadores intermedios, como el agua. Aquí, el refrigerante

enfria directamente el aire sin la necesidad de intermediarios, lo que puede resultar en un enfriamiento más eficiente y directo. Principalmente para equipos de aire acondicionado se utilizan los evaporadores de enfriador de líquido y de expansión directa.

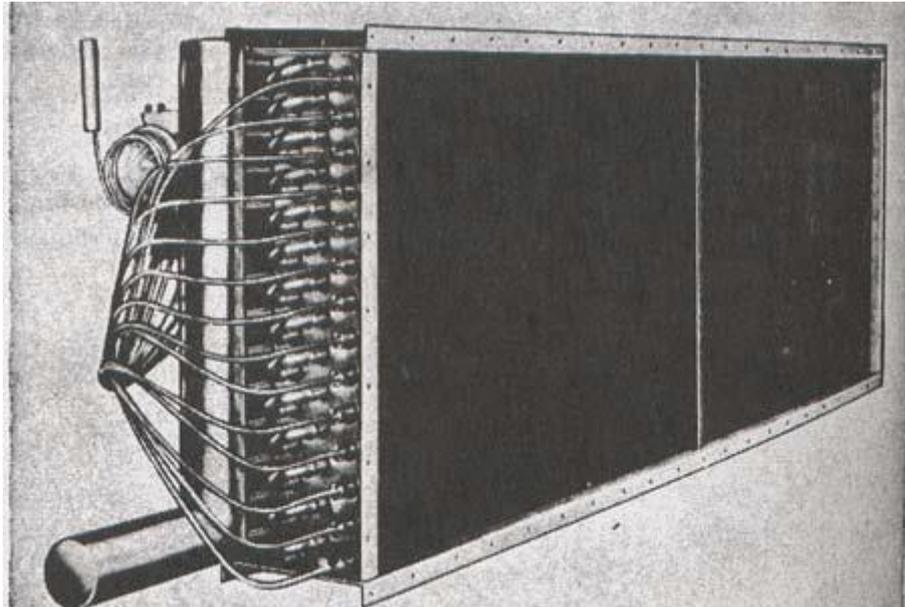


Figura 8: Evaporador de expansión directa

Fuente: Diseño del sistema de aire acondicionado de una oficina zonal publica en Pucallpa por Dorregaray, G. 2008

Los refrigerantes

Es un fluido que absorbe calor al evaporarse a baja presión y lo cede al condensarse a alta temperatura y presión. Se han utilizado varios refrigerantes a lo largo de la historia, habiendo demostrado que algunos son mejores que otros en ciertos aspectos. Se podría afirmar que cada uno tiene sus factores a favor y en contra. En estos tiempos, se introduce un criterio importantísimo que quizás no se manejaba antes con tanto esmero y es el cuidado del medio ambiente, ante esto han aparecido nuevos refrigerantes denominados ecológicos como es el caso del R-134^a, R-410^a y el R-140^a o PURON®. (Dorregaray, G. 2008)

Ductos metálicos

Los conductos de aire acondicionado son los canales a través de los cuales se transporta el aire desde uno o más equipos de aire acondicionado hacia los espacios que se desean acondicionar. Estos conductos se construyen utilizando láminas galvanizadas de alta calidad, como el tipo ZINC-Grip o un material similar, y cuentan con un revestimiento aislante en su parte externa para limitar la transferencia de calor. En su fabricación, se siguen las recomendaciones de SMACNA de 1985 y, para la instalación de los conductos metálicos, se sigue el estándar ASHRAE/NFPA 90.

- Para la construcción de los conductos, se adoptan las siguientes directrices de SMACNA de 1985, según se mencionó anteriormente:
- Para conductos con un lado de hasta 304.8 mm (12"), se utiliza una lámina de 0.47 mm (1/54") de espesor, unida mediante correderas de 25.4 mm (1") a una distancia máxima de 2.40 m entre ellas.
- Para conductos con un lado de 330.2 mm (13") hasta 762 mm (30"), se utiliza una lámina de 0.64 mm (1/40") de espesor, también unida por correderas de 25.4 mm (1") a una distancia máxima de 2.40 m entre ellas.
- Para conductos con un lado de 787.4 mm (31") hasta 1143 mm (45"), se utiliza una lámina de 0.94 mm (1/27") de espesor, unida mediante correderas de 25.4 mm (1") a una distancia máxima de 2.40 m entre ellas.

La conexión entre el conducto y el equipo se realiza mediante juntas flexibles de lona del tipo 8 onzas, con al menos 15 cm de longitud, aseguradas con abrazaderas. Se determina el área necesaria para lograr una velocidad aceptable

dentro de los conductos, manteniendo los niveles de ruido y vibración dentro de los rangos aceptables para entornos de oficina. Es importante destacar que el aislamiento térmico de los conductos también incluye una capa diseñada para el aislamiento acústico

1.4.10.2. Aislamientos

Los aislamientos son características de los elementos que ya que restringen la transferencia de calor. En los sistemas de aire acondicionado es de gran importancia, debido a que ayudan a tener al aire y al agua con temperaturas algo parecidas a las que se tienen a la salida de los equipos de acondicionamiento. Estos aislamientos deben contar con las siguientes propiedades:

Conductividad térmica

La habilidad de un material para retardar el flujo de calor, está dado por su conductividad térmica. Un material con una baja conductividad térmica es un material aislante y su eficiencia se mide en base a este valor. Por lo tanto, el diseñador debe contar con este dato que proporcionan los fabricantes de los elementos para considerar las características para tomarlo en cuenta en sus cálculos.

Resistencia a diferentes cargas

Algunos aislamientos no tienen suficiente resistencia a cargas concentradas, cargas de compresión, al corte a la tensión o a la intemperie, por lo que se debe especificar el acabado de los mismos de acuerdo a su ubicación y a los elementos a que estén expuestos.

Resistencia a la intemperie y medio ambiente

Los materiales de aislamiento térmico deben poseer características que los hagan resistir la descomposición causada por la formación de bacterias y hongos, evitando la generación de enfermedades, como ocurre en el caso del asbesto. También deben tener propiedades para prevenir o retardar la propagación del fuego, resistir la erosión para evitar irritación en la piel causada por partículas en suspensión, ser inodoros y no retener ni absorber olores. Además, es crucial que sean dimensionalmente estables, resistentes a la acción de productos químicos, posean buena resistividad eléctrica, tengan capacidad para atenuar ruidos y absorber vibraciones, y, por último, no emitan humos tóxicos.

Aislamiento para ductos de aire acondicionado

Para el aislamiento interior de los conductos, se emplean paneles fabricados con fibras de vidrio de alta densidad, comprimidas con una resina termo endurecida y con un acabado resistente a la erosión y al fuego. Esto proporciona un aislamiento térmico y acústico efectivo que previene la propagación del ruido generado por los equipos y el flujo de aire. Este tipo de aislamiento es especialmente adecuado para ductos que conectan equipos y sistemas de alta velocidad. Al utilizar este aislamiento, es crucial tener en cuenta que las dimensiones del conducto deben ser internas, considerando el espesor del aislamiento.

En cuanto al aislamiento exterior de los conductos de aire acondicionado, se utilizan colchonetas de fibra de vidrio con una densidad de 16 kg/m^3 (1 lb/pie^3). Si la dimensión del lado más largo del conducto supera los 100 cm, se deben emplear accesorios de fijación (clips) o placas con una densidad de 24 kg/m^3 (1.5 lb/pie^3) para evitar la deformación del aislamiento.

Para los conductos que transportan aire frío, además de las colchonetas de fibra de vidrio, se recomienda un recubrimiento con una barrera de papel kraft y aluminio de 0.025 mm (0.001") de espesor, con un traslape de 50 mm sellado en sus juntas. Se sugiere el uso de colchonetas de fibra de vidrio integradas con papel kraft y papel aluminio reforzado, unidas con cinta en sus uniones, ya que son más económicas, resistentes, fáciles de aplicar y tienen una apariencia más uniforme.

En instalaciones internas de edificios, el aislamiento para conductos debe tener un espesor de 25.4 mm (1") y una densidad de 24 kg/m³ (1.5 lb/pie³), con un recubrimiento de neopreno para prevenir la erosión.

Aislamiento para tuberías de agua helada

Para aislar las tuberías de agua fría, es común emplear espumas cerradas de alta densidad, así como espuma de poliuretano y fibra de vidrio. Este material no solo debe resistir la condensación en las tuberías, sino también prevenir la entrada de humedad atmosférica. La humedad puede representar un problema significativo, ya que puede causar fallas en el sistema, necesidad de reparaciones, pérdida de energía, desarrollo de moho e, incluso, el cierre de las instalaciones.

La intrusión de humedad en un sistema de agua fría puede ocurrir por diversas razones, como la falta de un espesor adecuado de aislamiento, lo que genera condensación. También puede deberse a espacios no aislados o daños en el elastómero que permiten la entrada de humedad.

Los espesores de aislamiento varían en función de varios factores, tales como la temperatura ambiente, la humedad relativa (HR), la temperatura de instalación, el coeficiente de conductividad térmica (λ) y el coeficiente superficial de transmisión de calor (h). Estos elementos deben considerarse cuidadosamente para garantizar

un rendimiento efectivo del aislamiento y prevenir problemas asociados con la humedad.

1.4.10.3. Termostato Ambiental

Es un instrumento que regula la temperatura ambiental de acuerdo a los datos y configuraciones. Funciona mediante componentes electrónicos, para las modalidades frío/calor y controla el funcionamiento del compresor. El rango aproximado será de 10 °C (50 °F) a 32 °C (90 °F).

En el equipo se mostrará una pantalla indicadora de la temperatura de sala, con control del ventilador (ON-OFF-AUTOMATICO) y control de la modalidad frío/calor (HEATOFF-COOL) mediante un programador. Este equipo trabaja con 24 V y se le protege con un gabinete especial de plástico.

1.4.10.4. Difusores y rejillas para descarga y retorno

Difusores

Son los elementos del equipo de aire acondicionado que direcciona la salida del aire. Son aletas direccionales (doble deflexión), regulables, fabricadas de plancha de acero galvanizado con uniones de plancha por soldadura de punto.

Los difusores son pintados con dos manos de pintura base zincromato y dos manos de pintura de acabado.

Rejillas para extracción o retorno de aire

Son elementos del equipo de aire acondicionado que se colocan en cielo raso de manera fija para la salida del aire. Son de aletas inclinadas fijas, fabricadas de plancha de fierro galvanizado con uniones de plancha por soldadura de punto.

1.4.10.5. Ventiladores

Los ventiladores son unidades mecánicas propulsora de aire. En el campo del aire acondicionado, un ventilador es la herramienta para la circulación y cambio de aire de los equipos especialmente que se encuentran en la intemperie. Existen también extractores que cuentan con ventiladores para el flujo de aire. A continuación, se indican los ventiladores en las instalaciones mecánicas.

Unidades Fan Coil

Un Fan Coil es un ventilador con un serpentín por el que circula el fluido que absorberá o que cederá calor. Estas unidades manejan caudales menores o iguales a 81 m³ /min (3000 CFM), para caudales de aire mayores se suele utilizar unidades manejadoras de aire.

Estas unidades cuentan con un ventilador centrífugo el cual tiene el motor externo a la unidad o dentro de la unidad, pero con un aislamiento que proteja la calidad del aire.



Figura 9: Unidad de Fan Coil
Fuente: Catálogo Midea

Ventiladores centrífugos en línea

Es un extractor e inyector centrífugo silencioso de simple entrada en los que el aire son impulsados por una turbina o rodete, con alabes inclinadas hacia adelante balanceado estáticamente y dinámicamente como un solo conjunto con su eje para expulsar el aire. El eje de acero está apoyado en rodamientos montados rígidamente a la estructura metálica. El rodete y envolvente están contruidos de plancha de acero galvanizado. Poseen un motor eléctrico de una velocidad que acciona los ventiladores.

1.4.10.6. Colgadores y soportes

Para las instalaciones mecánicas, los soportes están fabricados a partir de perfiles de Acero "L" 1.1/4" x 3/16" con tirantes al techo de varillas de 3/8", según SMACNA (Sheet Metal and Air Conditioning Contractors National Association).

Los soportes van fijados a las paredes y/o techos por medio de pernos de anclaje con rosca instalados con disparo o de anclaje tipo HILTI®. Todos los soportes se pintarán con dos manos de pintura anticorrosiva color negro. La distancia entre soportes no será mayor de 1.50 m.

1.4.10.7. Bombas de recirculación de agua helada

Se requiere la utilización de bombas centrífugas de doble succión con carcasas bipartidas, ofreciendo opciones de succión lateral o instalación en línea según lo especificado. Estas bombas deben ser de una sola etapa y contar con sello mecánico, acople flexible y accesorios de bronce. El contratista deberá proporcionar curvas certificadas de rendimiento para las bombas, que incluyan información sobre capacidad, carga, potencia y eficiencia en un rango de flujos

desde cero hasta el 125% del diseño. Tanto la bomba como el motor deben montarse sobre una base de acero estructural compartida. Se sugiere la instalación de dos bombas en paralelo como medida de redundancia en caso de que la bomba principal falle.

1.4.11. Tipos de equipo de aire acondicionado

Dorregaray, G. (2008), menciona en su investigación que luego de haber listado todos los componentes presentes en un sistema de refrigeración se procederá a mencionar los paquetes que agrupan a estos elementos. Los equipos que se comercializan actualmente, utilizan el equipamiento mecánico mencionado anteriormente en diversas combinaciones dependiendo del uso al que vayan a ser sometidos.

Equipos tipo Paquete (Roof Top). - Es un equipo de expansión directa donde el refrigerante se evapora en el circuito primario de una batería. Se dice de tipo paquete pues tiene todo el sistema de acondicionamiento de aire en un solo bloque, en el cual se encuentra un soplador de aire y una cámara de mezcla en la cual ingresa también el aire recirculado del ambiente. La unidad condensadora y evaporadora se encuentran incluidas en un solo paquete. Además, posee filtros al ingreso del equipo para asegurar la limpieza del aire.



Figura 10: Equipos rooftop
Fuente: Catálogo Carrier

Equipos Split Ducto. - Es un sistema también de expansión directa en el que se mejoran las condiciones del aire mediante un intercambiador de calor apropiado y luego se distribuyen mediante ductos a los ambientes. La diferencia con una unidad del tipo paquete es que la unidad condensadora o Condensador se encuentra normalmente en una zona externa a la edificación para así estar ventilada, mientras que la unidad evaporadora o evaporador se encuentra ubicada en el falso cielo o piso destinado a cuarto de equipos. (p.15)



Figura 11: Equipo Split Ducto
Fuente: Catalogo York

Equipos Chiller refrigerados por aire. - Es un sistema parecido a un split ducto, pero con gran tamaño y gran peso. Este equipo requiere mucho espacio libre encima del mismo pues posee ventiladores de gran tamaño los cuales son los encargados de condensar el vapor sobrecalentado de gas refrigerante.

Equipos Chiller refrigerados por agua. - Es un sistema similar al anteriormente mencionado de refrigeración por aire, solo que este hace uso de una torre de enfriamiento para enfriar el agua que se utiliza para extraer calor del refrigerante, evitándose así la necesidad de los grandes ventiladores. Esto último disminuye los costos operativos del uso de ventiladores de grandes potencias eléctricas, pero elevando el costo de mantenimiento e instalación. (p.16)



Figura 12: Equipo Chiller Aire / Agua
Fuente: Catalogo Daikin

1.5. Definición de términos básicos

BIM: acrónimo de Building Information Modelling. En español, Modelado de Información para la construcción.

CAD: acrónimo de Computer Asisted Drawing. En español, Dibujo Asistido por Computadora.

BDS: acrónimo de Building Description System. En español, Sistema de Descripción de Edificaciones.

EIR: acrónimo de Employer Information Requirements. En español, Requerimiento de Información del Empleado.

LAN: acrónimo de Local Área Network. En español, Red Local de Internet.

VPN: acrónimo de Virtual Private Network. En español, Red Privada de Internet.

MEP: acrónimo de Mechanical, Electrical and Plumbing. En español, Mecánica, Eléctrico y Sanitaria. Se refiere a las instalaciones BIM. Estas se dividen en Arquitectura, Estructuras e Instalaciones.

Interoperabilidad: es la habilidad de dos o más sistemas o componentes para intercambiar y utilizar información. Esto también se aplica entre los participantes de los proyectos (cliente, proyectista, oficina técnica, supervisión). Es recién que gracias a la metodología BIM se puede realizar este concepto.

LoD: acrónimo de Level of Development (nivel de desarrollo)

GBS: Acrónimo del programa Green Building Studio

BTU: British Thermal Units (unidad de enfriamiento)

°C: Grados Celsius

V: Unidad de medida de voltaje (voltios/watt)

A: Unidad de medida de intensidad (Amperaje)

Lumen (lm): Es la unidad del Sistema Internacional que mide el flujo luminoso. La medida de la potencia luminosa emitida en un ángulo determinado por una fuente, es decir, la unidad que indica la “cantidad” total de luz que percibimos en un ángulo explícito.

Lux (lux): Es la unidad derivada del Sistema Internacional para medir el nivel de iluminación. Es la sensación de luminosidad. Su equivalencia es de 1 lumen/m². Se usa en fotometría como medida, tomando en cuenta las diferentes longitudes de onda según la función de luminosidad, un modelo estándar de la sensibilidad a la luz del ojo humano. Es decir, es la cantidad de luz que tenemos en un metro cuadrado. $lux = lm/m^2$

Eficiencia lumínica: es la relación que indica cada cuanto lumen consume un watt de cada artefacto luminoso, este valor sirve como indicador de la eficiencia del equipo. $Eficiencia\ lumínica = lm/w$

AASHRAE: Siglas del American Society of Heating, refrigeration and Air-conditioning Engineers

HVAC: Siglas de Heating, ventilation and air conditioning

Manto asfáltico: es un material prefabricado e impermeable que consiste en dos capas de asfalto y una capa al interior de fibra de vidrio. Se instala en techos exteriores con el fin de proteger la estructura de filtraciones y humedad.

Building wrap: es una lámina de espuma de polietileno que funciona como aislante térmico de una estructura liviana.

Lana de roca: es un material que se utiliza como aislante térmico en el interior de una estructura liviana, que se forma a través de roca volcánica.

CAPÍTULO II. HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Hipótesis

2.1.1. Hipótesis general

El modelo BIM 6D influye en la optimización del consumo energético de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica

2.1.2. Hipótesis específicas

Los cambios en la materialidad optimizan el consumo energético con la aplicación del modelo BIM 6D para un local de 800m² de la Caja Municipal Ica

La aplicación del modelo BIM 6D reducirá el consumo energético en las instalaciones mecánicas de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica

La aplicación del modelo BIM 6D reducirá el consumo energético en las instalaciones eléctricas de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica

El confort del usuario influye en la elección de los materiales para optimizar el consumo energético de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica

2.2. Variables y definición operacional

- Variable independiente: Modelo BIM 6D
- Variable dependiente: Optimizar el consumo energético

Indicadores:

- Infraestructura física
- Instalaciones eléctricas
- Instalaciones mecánicas

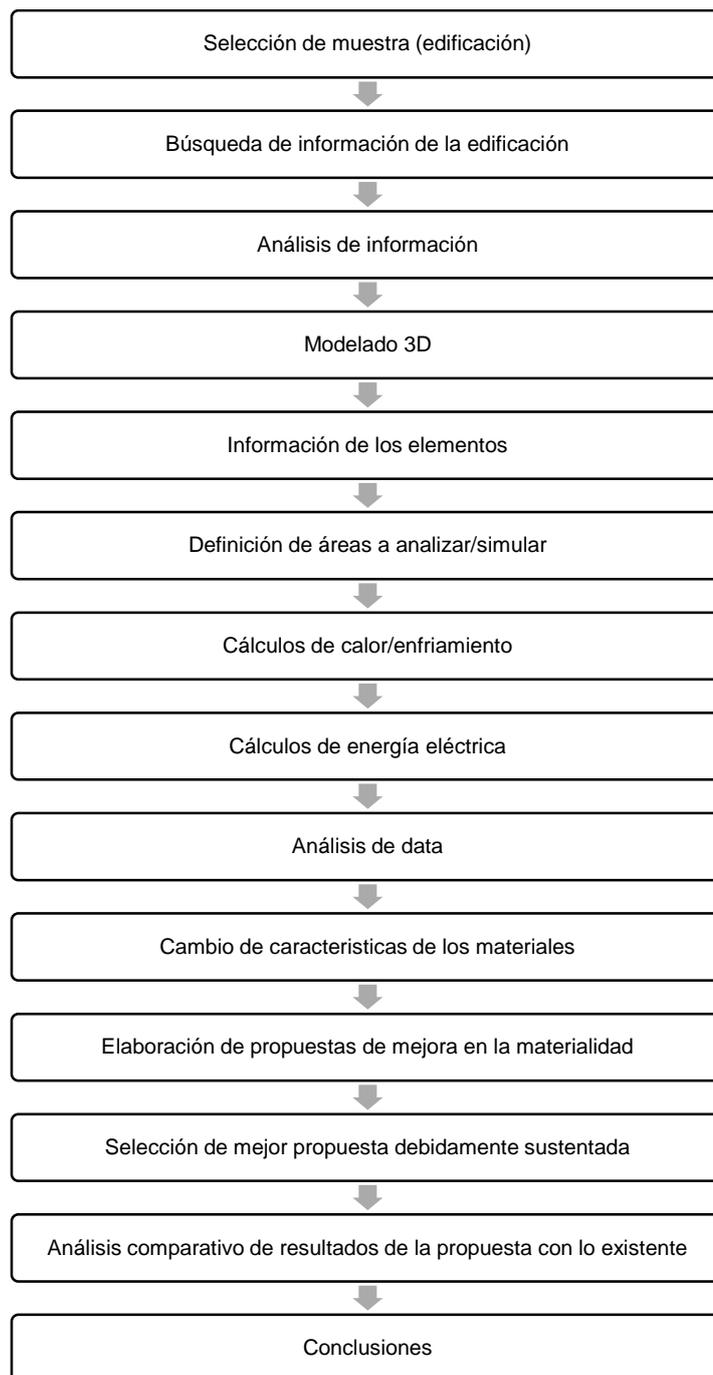
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Diseño metodológico

3.1.1. Tipo de diseño

El diseño de la investigación será de tipo cuantitativo debido al manejo de la información y datos que se obtendrán de los programas.

3.1.2. Procedimiento para obtención de información y proceso

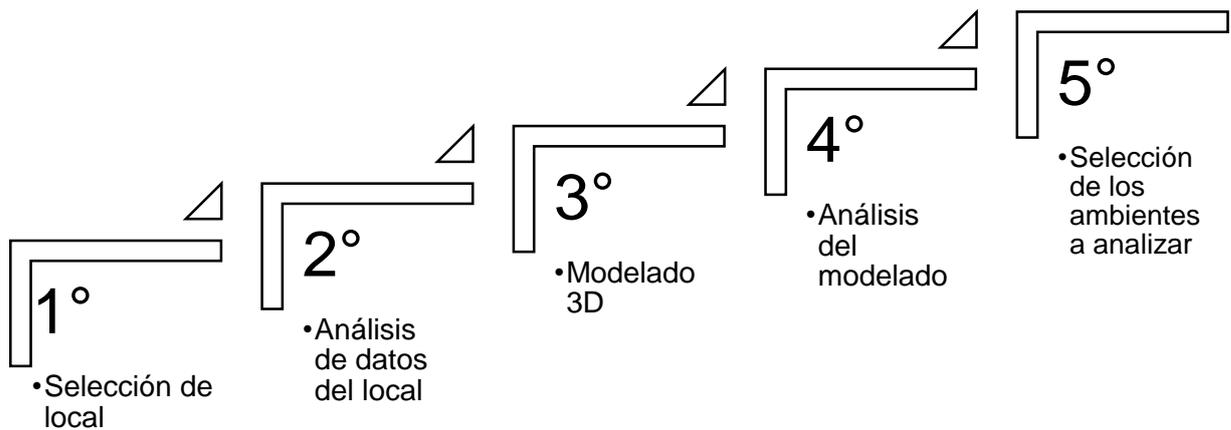


3.2. Diseño muestral

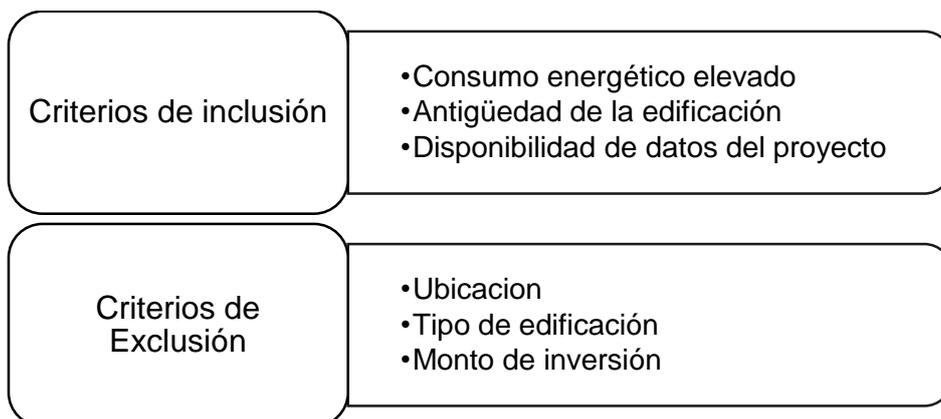
3.2.1. Población del estudio

La población del estudio son las edificaciones que se encuentran en funcionamiento en la ciudad de Ica.

3.2.2. Procedimiento para el cálculo del tamaño y selección de muestra



3.2.3. Criterios de inclusión y exclusión



3.3. Técnicas de recolección de datos

3.3.1. Instrumentos

Para poder realizar la presente investigación es necesario una lista de instrumentos que nos llevaran a obtener la información adecuada de estudio.

Estos instrumentos se dividen en dos grandes grupos cuales son:

- Información del local

Se considera una herramienta general ya que dentro de este título se incluyen diferentes documentos de los cuales se deben utilizar para en análisis de la información.

- Planos del proyecto de la muestra
- Registro de consumo de servicios

- Softwares

En este título se presentan todos los softwares que se utilizaran como herramienta para la investigación.

- Autodesk Revit
- Autodesk Green Building Studio
- Microsoft Excel
- AutoCAD

3.4. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información

Dentro de la investigación hay dos etapas de procesamiento de información, la primera durante el inicio de la investigación y la segunda al final de la investigación con los resultados.

Durante la primera etapa de procesamiento de información es para tomar las decisiones respecto al local que se va a realizar el análisis, se deben revisar la documentación obtenida como planos y recibos de

consumo para saber cuál es el problema de la investigación. Se realizará un análisis cualitativo para obtener dicha problemática.

Durante la segunda etapa, al final de la investigación, se realiza los análisis cuantitativos de los resultados obtenidos mediante las simulaciones del modelado BIM en los diferentes softwares y luego de poder determinar las propuestas de mejora que se podría realizar en la edificación para optimizar el consumo. Luego se realiza el análisis financiero de costo-beneficio de las propuestas para obtener la mejor opción frente a la problemática y, por último, también mediante un análisis de resultados se obtendrá la mejor propuesta debidamente sustentada.

La manera en la que se presentara y organizara la información obtenida es mediante tabulaciones donde se indique el tipo de elemento, su tipo de material, características, cálculo de calor y enfriamiento y cálculo de energía eléctrica.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Local Castrovirreyna

4.1.1. Ubicación

Ubicación: Ica, Ica, Perú

Latitud: 14° 3' 44.458" S

Altitud: 406 msnm

Longitud: 75° 43' 39.767" O

El local de Castrovirreyna se encuentra en la Calle Castrovirreyna N° 156, Ica.

Se encuentra a dos cuadras de la Plaza de Armas de Ica.

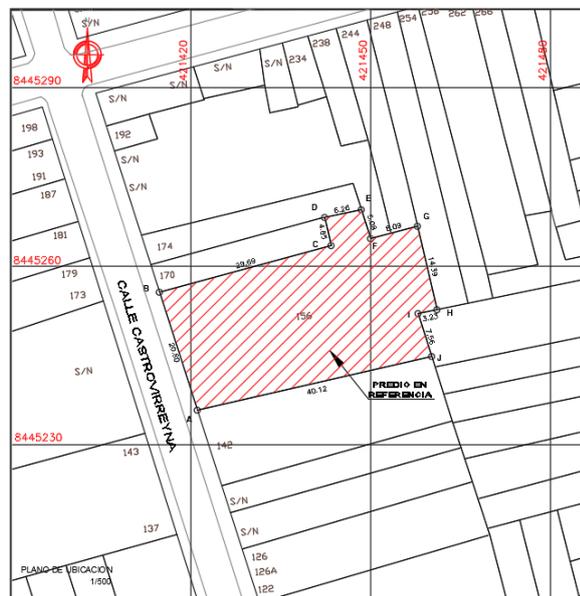


Figura 13: Plano de ubicación
Fuente: Elaboración propia

4.2. Desarrollo del modelo BIM

El primer paso para realizar la investigación es realizar el modelado 3D de la muestra, el local de 800m² de la Caja Municipal de Ica, que vamos a utilizar para los cálculos, simulaciones y resultados. Para poder iniciar el modelado, se debe tener la información del local, principalmente los planos de las diferentes

Como parte del modelado se debe realizar la recopilación de la información de los elementos del local, ya que una de las ventajas de BIM es la gestión de esta información y así poder facilitar los cálculos y los resultados.

El siguiente paso posterior al modelado es el ingreso de la información en sus elementos. Como el modelo tiene la finalidad de hacer un análisis energético del local, el modelado se puede realizar con un nivel de desarrollo LoD 200 y con los elementos necesarios que cuenten con características de transmisión de calor e influyen en las cargas eléctricas del local.

4.2.1. Características de los elementos

Una vez se complete el modelo BIM, se debe ingresar las características de los elementos para que el modelo pueda contener los rasgos de la edificación. Los principales elementos en los que se va a registrar la información para la investigación son los muros o tabiques, pisos, losas, puertas y ventanas. Además, también se debe ingresar la información del local como ubicación, tipo de local, características de construcción, sistema de ventilación, entre otros.

Por ejemplo, en uno de los muros de la fachada llamado “Basic Wall – Generic 500mm”, se ingresa en las propiedades del elemento seleccionándolo y haciendo click en “Edit Type”.

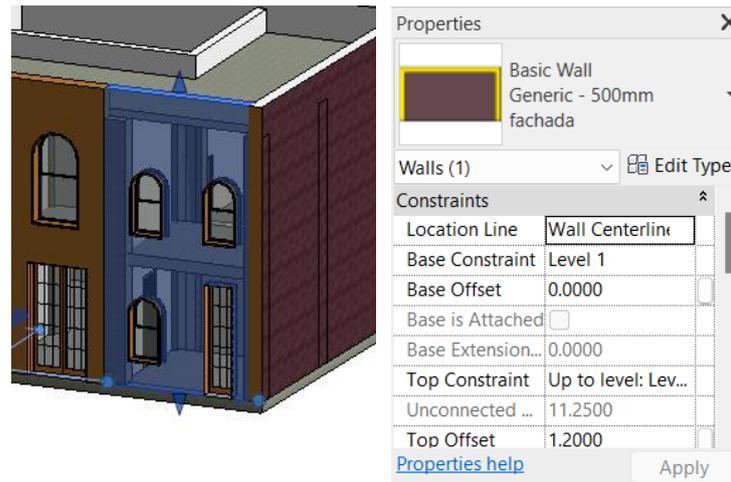


Figura 16: Selección y propiedades de muro exterior del modelo en Revit
Fuente: Elaboración propia

Una vez en las propiedades, se puede configurar el elemento como su estructura, sus funciones y se puede ver las cargas de calor que el mismo software calcula de acuerdo a las características que se le agrega.

Family: System Family: Basic Wall Load...

Type: Generic - 500mm fachada Duplicate... Rename...

Type Parameters

Parameter	Value
Construction	
Structure	Edit...
Wrapping at Inserts	Both
Wrapping at Ends	Exterior
Width	0.5000
Function	Exterior
Graphics	
Coarse Scale Fill Pattern	
Coarse Scale Fill Color	Black
Materials and Finishes	
Structural Material	Brick, Common
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	1.0986 W/(m ² ·K)
Thermal Resistance (R)	0.9103 (m ² ·K)/W
Thermal mass	58.72 kJ/K
Absorptance	0.100000
Roughness	1
Identity Data	

[What do these properties do?](#)

Figura 17: Configuración "Edit Type" en Revit
Fuente: Elaboración propia

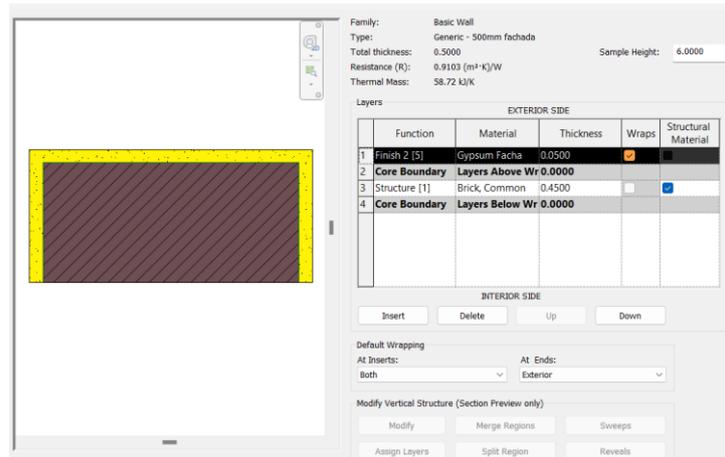


Figura 18: Configuración de la estructura del muro
Fuente: Elaboración propia

De igual forma para las losas o pisos también se le agrega la información de acuerdo a la construcción. Formando así la envolvente básica de un ambiente.

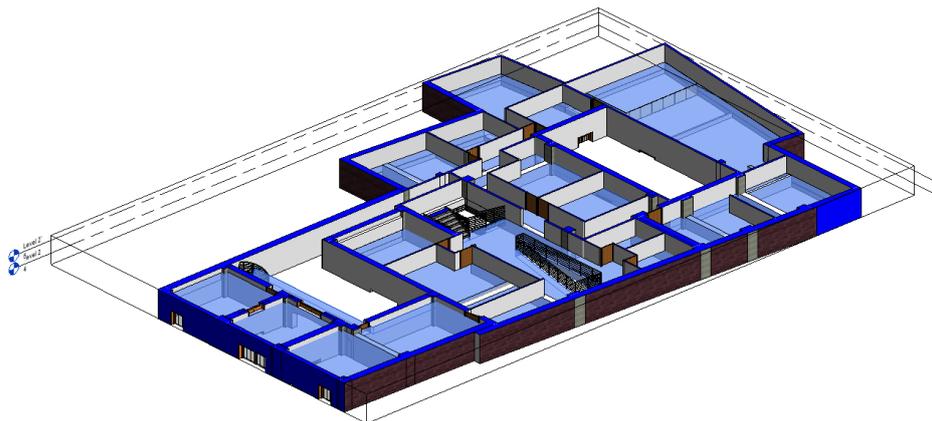


Figura 19: Selección de piso del modelo
Fuente: Elaboración propia

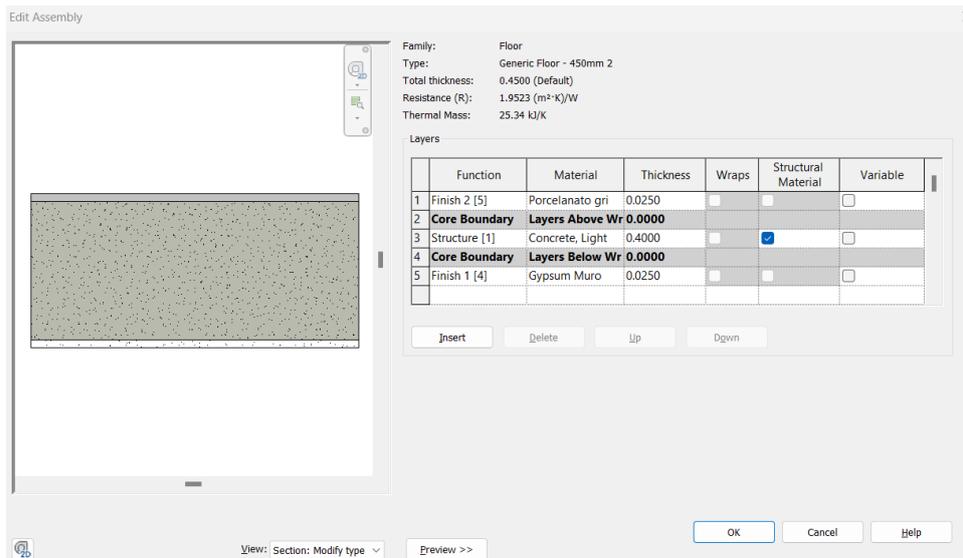


Figura 20: Configuración de la estructura del piso
Fuente: Elaboración propia

Es importante el ingreso de la información de los elementos del modelo que afectan consumo energético para poder obtener volumen de cada ambiente y el software nos indique sus propiedades analíticas de transferencia de calor, masa y resistencia; que son esenciales para los cálculos térmicos que haremos posteriormente.

Materials and Finishes	
Structural Material	Concrete, Lightweight
Analytical Properties	
Heat Transfer Coefficient (U)	0.5122 W/(m ² ·K)
Thermal Resistance (R)	1.9523 (m ² ·K)/W
Thermal mass	25.34 kJ/K
Absorptance	0.100000
Roughness	1

Figura 21: Propiedades analíticas de los elementos
Fuente: Elaboración propia

4.2.2. Delimitación de los espacios

Previo a realizar las simulaciones para el modelo energético y posterior al ingreso de la información del local, se deben ubicar los espacios de cada ambiente en el software Revit para que pueda realizar las simulaciones. Mediante la herramienta “SPACE” en el Revit se le indica al software que este va a ser un espacio para los análisis y así el software lo reconozca cuando hagan los cálculos. Previo a ejecutar

cada calculo necesario, el software emite un modelado de los ambientes que se simularán y se emitirán los resultados.

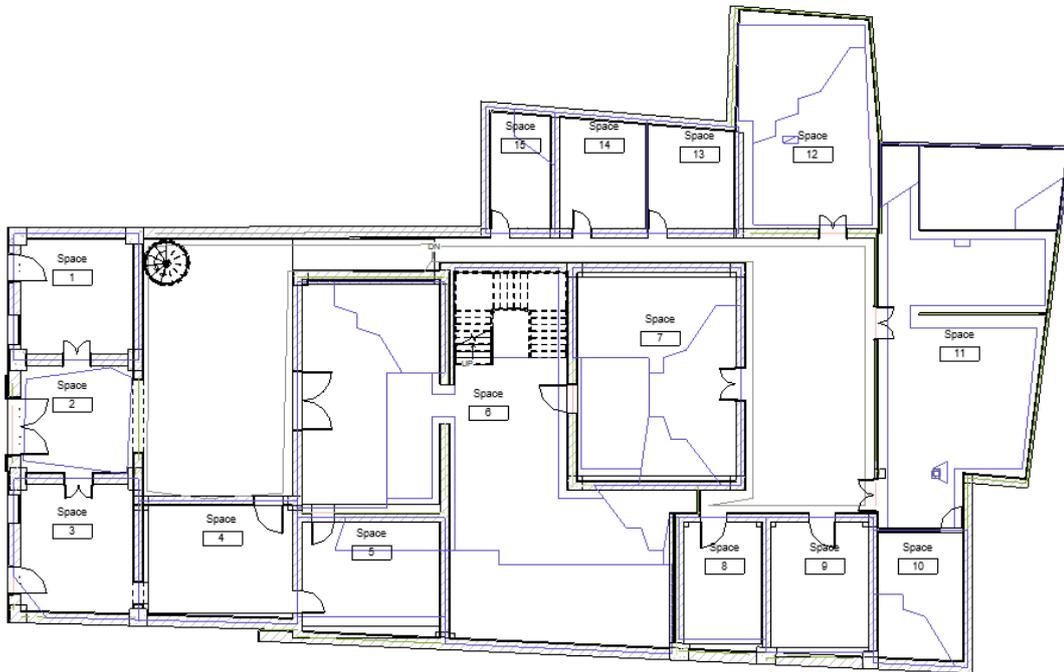


Figura 22: Debilitación de espacios 1er nivel
Fuente: Elaboración propia

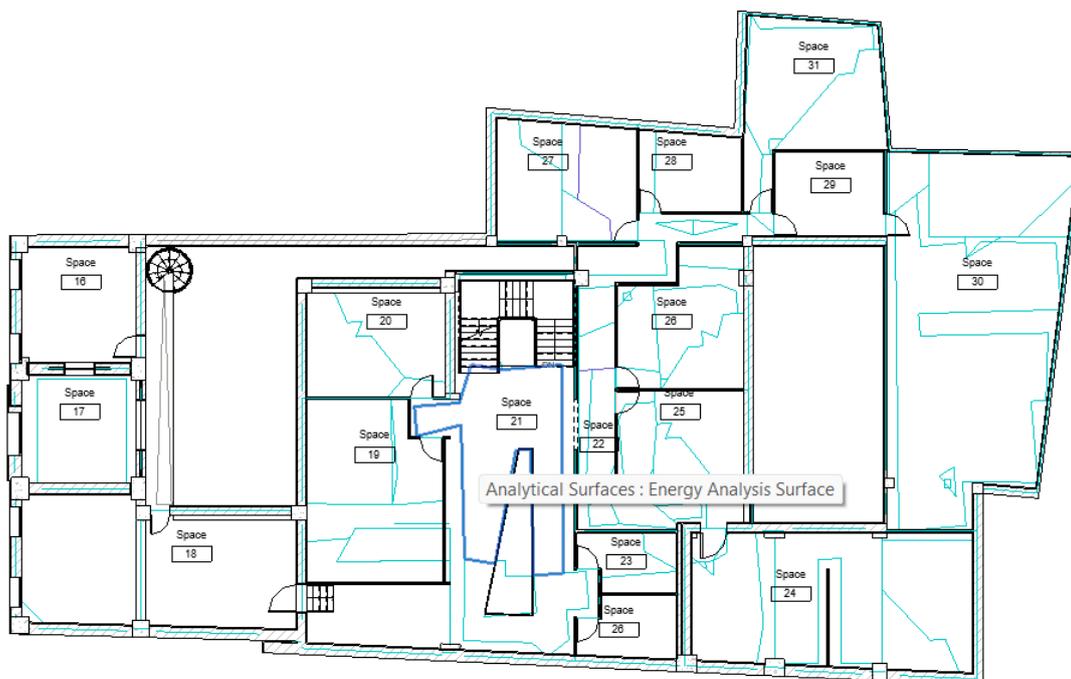


Figura 23: Debilitación de espacios 2do nivel
Fuente: Elaboración propia

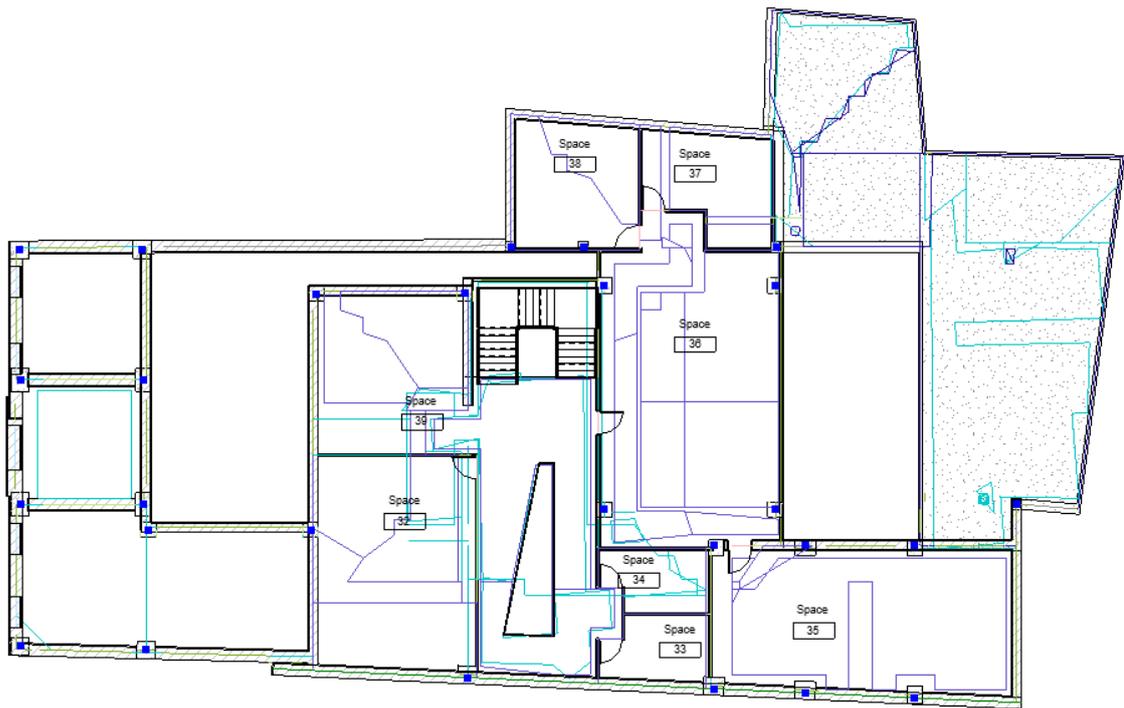


Figura 24: Delimitación de espacios 3er nivel
Fuente: Elaboración propia

Es así como mediante la herramienta “space” se le indica al software los ambientes delimitados para los análisis posteriores y diferentes cálculos requeridos. A continuación, se presenta un resumen de los ambientes delimitados donde se especifica su nivel y área de cada uno.

Tabla 3: Cuadro de espacios del modelo

Cuadro de ambientes			
Nombre	Numero	Nivel	Área
Space	1	Level 1	21 m ²
Space	2	Level 1	20 m ²
Space	3	Level 1	24 m ²
Space	4	Level 1	26 m ²
Space	5	Level 1	24 m ²
Space	6	Level 1	150 m ²
Space	7	Level 1	53 m ²
Space	8	Level 1	16 m ²
Space	9	Level 1	20 m ²
Space	10	Level 1	18 m ²

Space	11	Level 1	99 m ²
Space	12	Level 1	48 m ²
Space	13	Level 1	14 m ²
Space	14	Level 1	15 m ²
Space	15	Level 1	11 m ²
Space	16	Level 3	21 m ²
Space	17	Level 3	20 m ²
Space	18	Level 3	53 m ²
Space	19	Level 2	38 m ²
Space	20	Level 2	24 m ²
Space	21	Level 2	95 m ²
Space	22	Level 2	34 m ²
Space	23	Level 2	9 m ²
Space	24	Level 2	60 m ²
Space	25	Level 2	20 m ²
Space	26	Level 2	9 m ²
Space	26	Level 2	25 m ²
Space	27	Level 2	27 m ²
Space	28	Level 2	13 m ²
Space	29	Level 2	15 m ²
Space	30	Level 2	98 m ²
Space	31	Level 2	32 m ²
Space	32	Level 3	50 m ²
Space	33	Level 3	10 m ²
Space	34	Level 3	9 m ²
Space	35	Level 3	62 m ²
Space	36	Level 3	82 m ²
Space	37	Level 3	18 m ²
Space	38	Level 3	23 m ²
Space	39	Level 3	109 m ²
Space	40	Level 2	9 m ²

Fuente: Elaboración propia

4.3. Modelo energético

4.3.1. Características del modelo

Para poder ejecutar las simulaciones del modelo energético, se deben especificar ciertas características de acuerdo a la edificación. En primer lugar, podemos especificar la ubicación exacta del proyecto mediante el ingreso de las coordenadas para que el software sepa con que datos climáticos y de ubicación se harán las

simulaciones. El mismo software cuenta con estaciones meteorológicas de donde obtendrán la data.

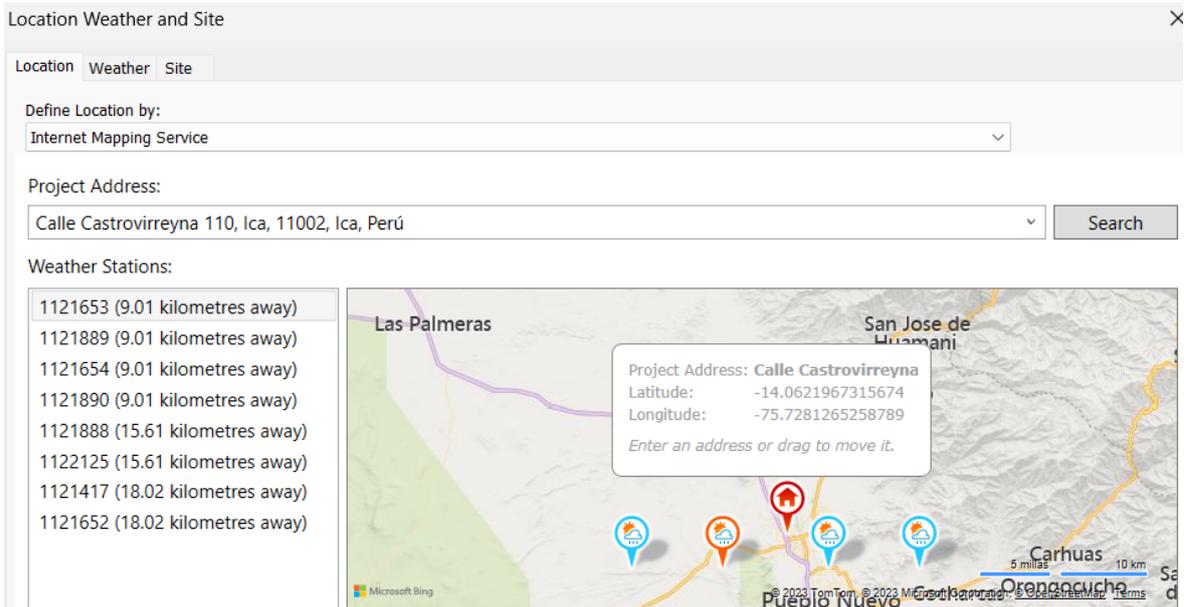


Figura 25: Localización del proyecto
Fuente: Elaboración propia

Location Weather Site

Use HVAC design data from weather station (1121653_2006)

Cooling Design Temperatures

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Dry Bulb	32 °C	33 °C	32 °C	30 °C	29 °C	26 °C	26 °C	27 °C	28 °C	29 °C	30 °C	31 °C
Wet Bulb	19 °C	22 °C	21 °C	21 °C	20 °C	17 °C	17 °C	17 °C	17 °C	18 °C	20 °C	19 °C
Mean Daily Range	13 °C	13 °C	12 °C	13 °C	14 °C	12 °C	13 °C	14 °C	14 °C	14 °C	14 °C	13 °C

Figura 26: Mediciones de temperatura propio del software
Fuente: Elaboración propia

En segundo lugar, se debe ingresar los parámetros energéticos de la edificación mediante el cual el software obtendrá diferentes datos para los cálculos necesarios. Dentro de esta opción se pueden modificar los parámetros de acuerdo a las especificaciones o mantener los datos que el software te propone para los cálculos.

Parameter	Value
Energy Analytical Model	
Mode	Use Conceptual Masses and Buil
Ground Plane	Level 1
Project Phase	New Construction
Analytical Space Resolution	0.4572
Analytical Surface Resolution	0.3048
Perimeter Zone Depth	3.6000
Perimeter Zone Division	<input checked="" type="checkbox"/>
Advanced	
Other Options	Edit...

Figura 27: Parámetros energéticos
Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, se ingresa a la opción de parámetros avanzados donde se puede modificar las especificaciones del proyecto de manera más detallada. Los parámetros importantes a modificar son las características del edificio “Building data” ya que ahí se ingresara el tipo de edificación que en el caso de la presente investigación seria tipo oficina “office”, el tiempo de operación de la edificación que seria 5 días a la semana por 12 horas aproximadamente “12/5 facility”, el sistema HVAC actual que es de Volumen de Aire Variable solo frio “VAV chiller” ya que cuenta solamente con splits decorativos con condensadores independientes y por último es importante el tipo de material para las propiedades térmicas donde se indica que las estructuras principales son de albañilería sin aislamientos térmicos.

Parameter	Value
Detailed Model ^	
Target Percentage Glazing	40%
Target Sill Height	0.7500
Glazing is Shaded	<input type="checkbox"/>
Shade Depth	0.6000
Target Percentage Skylights	0%
Skylight Width & Depth	0.9144
Building Data ^	
Building Type	Office
Building Operating Schedule	12/5 Facility
HVAC System	Central VAV, Electric Resistance Heat, Chiller 5.96 CO
Outdoor Air Information	Edit...
Room/Space Data ^	
Export Category	Spaces
Material Thermal Properties ^	
Conceptual Types	Edit...
Schematic Types	<Building>
Detailed Elements	<input type="checkbox"/>

Figura 28: Parámetros avanzados de energía
Fuente: Elaboración propia

Mass Model	Constructions
Mass Exterior Wall	High Mass Construction – No Insulation
Mass Interior Wall	High Mass Construction – No Insulation
Mass Exterior Wall - Underground	High Mass Construction – No Insulation
Mass Roof	No Insulation - Dark Roof
Mass Floor	Lightweight Construction – No Insulation
Mass Slab	High Mass Construction – No Insulation
Mass Glazing	Double Pane Clear – No Coating
Mass Skylight	Double Pane Clear – No Coating
Mass Shade	Basic Shade
Mass Opening	Air

Figura 29: Definición de tipo de elementos para propiedades térmicas
Fuente: Elaboración propia

4.3.2. Simulación

Luego de haber realizado todos los ajustes en las propiedades del modelo, se procede a generar el modelo energético y a correr las simulaciones. Estos resultados se suben a la nube del usuario y es de esta forma que mediante la herramienta Autodesk Insight y a través de Green Building Studio podemos analizar

el modelo. A continuación se muestra el modelo que genera el Revit con las zonas a analizar.

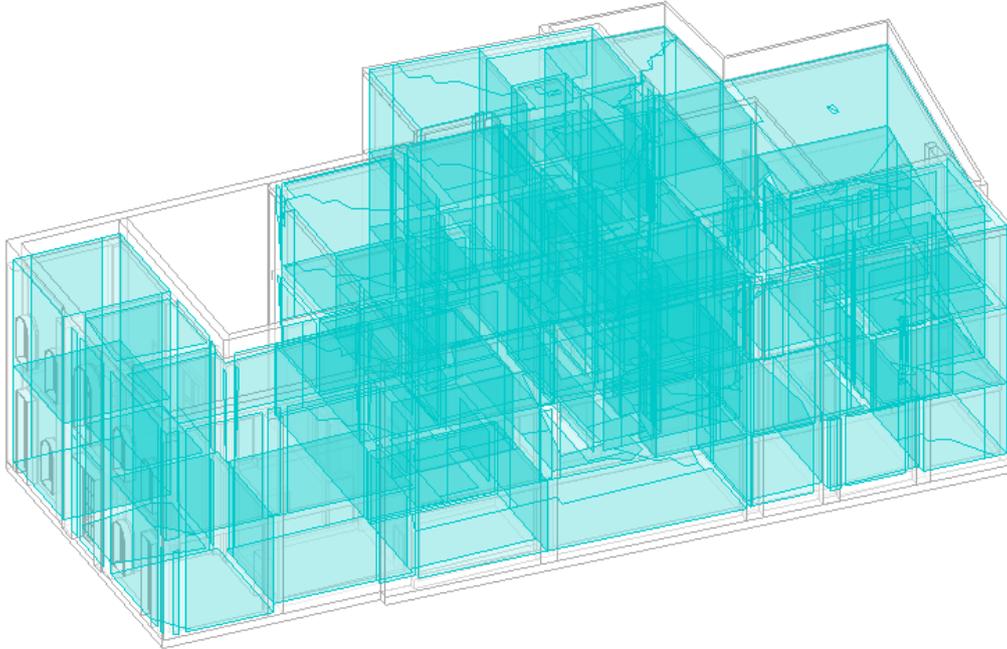


Figura 30: Modelo analítico
Fuente: Elaboración propia

4.3.3. Autodesk Insight

Posterior de que el resultado analítico se cargue en la nube, podemos observar los resultados a partir del Insight. Este software te crea tu propio modelo analítico y hace sus propias simulaciones y comparativas del consumo de la edificación.

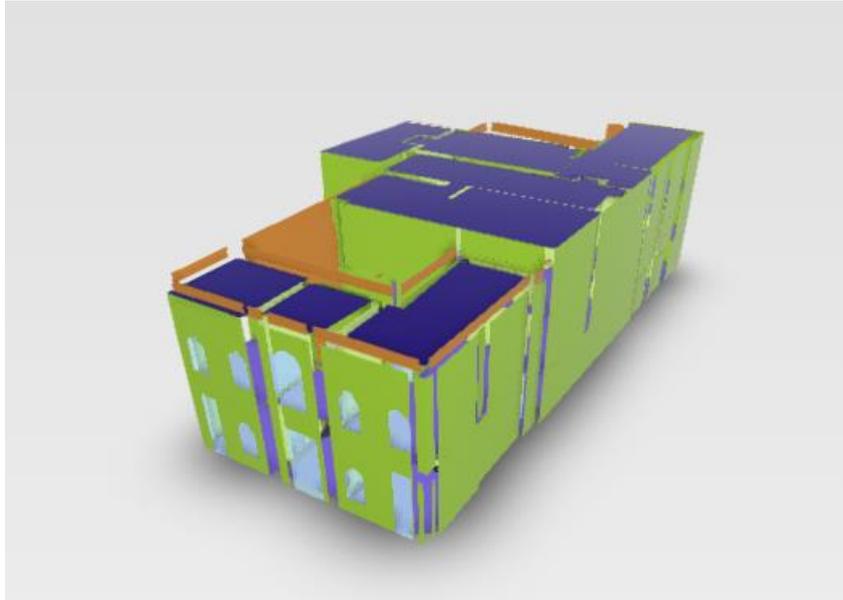
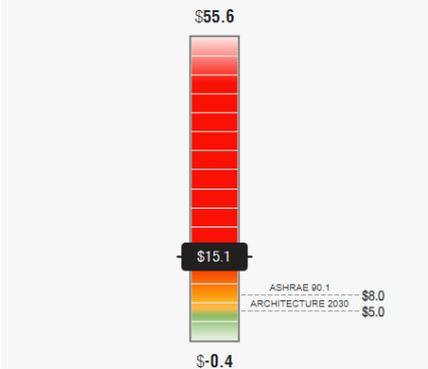
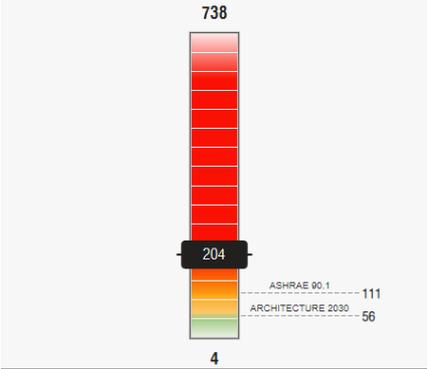
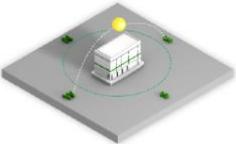
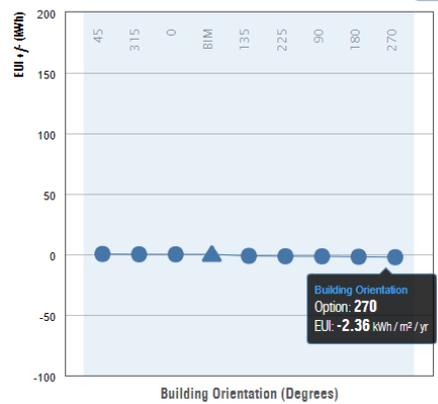
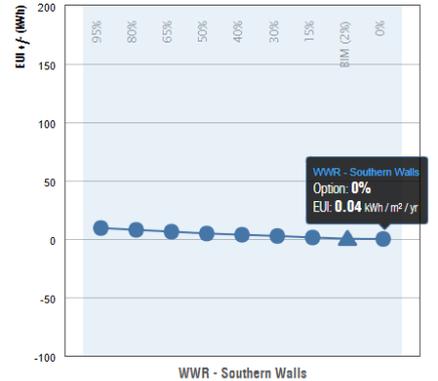


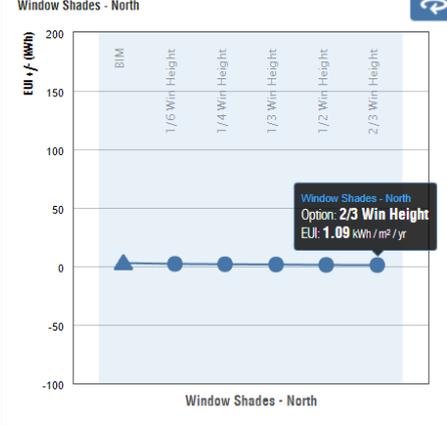
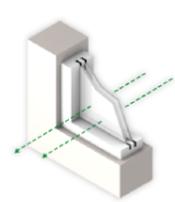
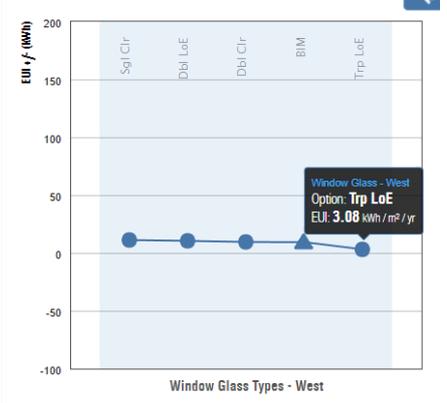
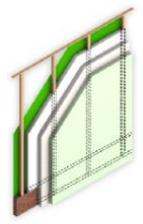
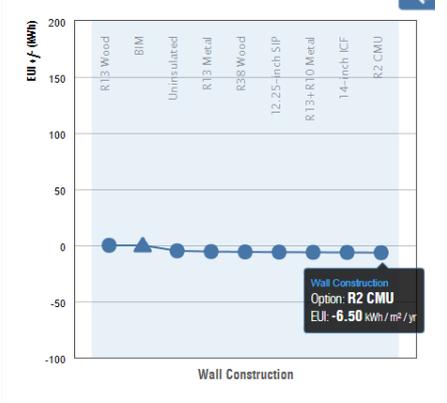
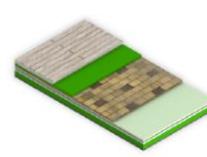
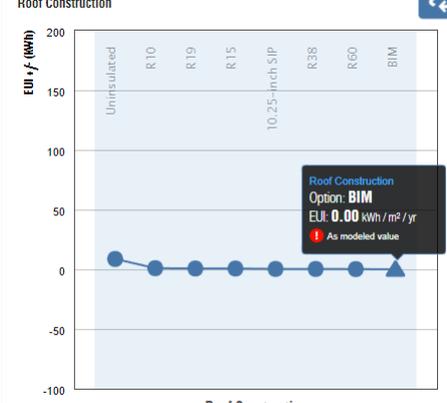
Figura 31: Modelo analítico
Fuente: Autodesk Insight

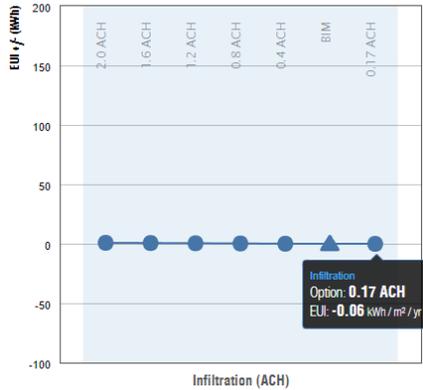
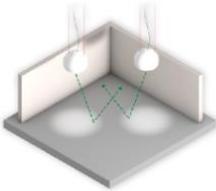
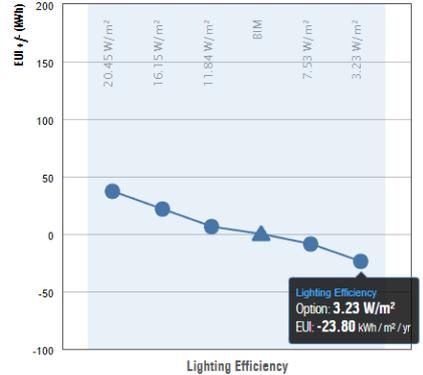
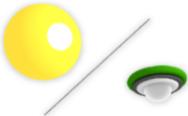
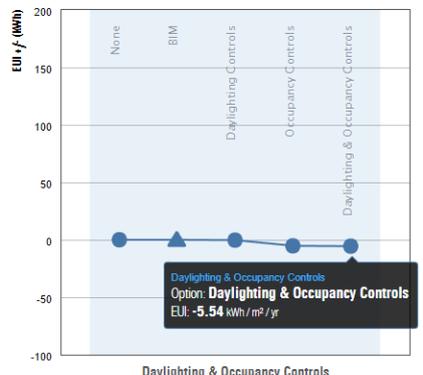
Autodesk Insight es una herramienta gráfica para obtener los resultados de la simulación energética y realizar comparaciones de costo. Nos emite un resumen de los resultados del modelo energético y comparativo de costos y mejoras de manera gráfica.

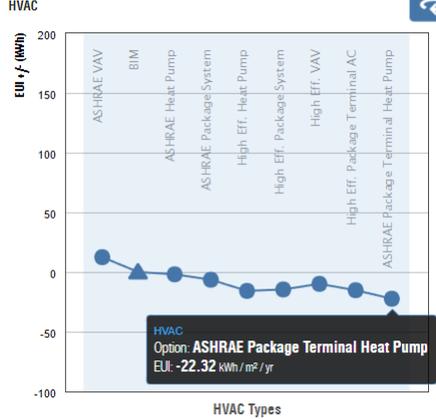
A continuación, se presenta la siguiente tabla con los resultados que el Insight muestra destacando una referencia a los costos de otros proyectos similares que de una manera puede ser útil para un análisis comparativo.

Tabla 4: Resultados Insight

<p>Comparativo de referencia del consumo por metro cuadrado por año</p>	<p>Benchmark Comparison USD / m² / yr</p> 	<p>Benchmark Comparison kWh / m² / yr</p> 
<p>Propuesta de orientación al edificio</p>	<p>Building Orientation</p> <p>Rotates a building clockwise from 0 degrees, e.g. 90 degrees rotates the North side of the building to face East.</p> <p>Current Setting: 45 - 270</p> 	<p>Building Orientation</p> 
<p>Proporción de muro/ventana</p>	<p>WWR - Southern Walls</p> <p>Window-Wall-Ratio (glazing area / gross wall area) interacts with window properties to impact daylighting, heating & cooling.</p> <p>Current Setting: 95% - 0%</p> 	<p>WWR - Southern Walls</p> 

<p>Sombras de ventanas</p>	<h3>Window Shades - North</h3> <p>Shades can reduce HVAC energy use. The impact depends on other factors, such as window size and solar heat gain properties.</p> <p>Current Setting: BIM - 2/3 Win Height</p> 	<h3>Window Shades - North</h3>  <table border="1"> <caption>Window Shades - North Data</caption> <thead> <tr> <th>Option</th> <th>EUI (kWh/m²/yr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>BIM</td> <td>1.09</td> </tr> <tr> <td>1/6 Win Height</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>1/4 Win Height</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>1/3 Win Height</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>1/2 Win Height</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>2/3 Win Height</td> <td>~0</td> </tr> </tbody> </table>	Option	EUI (kWh/m²/yr)	BIM	1.09	1/6 Win Height	~0	1/4 Win Height	~0	1/3 Win Height	~0	1/2 Win Height	~0	2/3 Win Height	~0						
Option	EUI (kWh/m²/yr)																					
BIM	1.09																					
1/6 Win Height	~0																					
1/4 Win Height	~0																					
1/3 Win Height	~0																					
1/2 Win Height	~0																					
2/3 Win Height	~0																					
<p>Ventanas</p>	<h3>Window Glass - West</h3> <p>Glass properties control the amount of daylight, heat transfer & solar heat gain into the building, along with other factors.</p> <p>Current Setting: Sgl Clr - Trp LoE</p> 	<h3>Window Glass - West</h3>  <table border="1"> <caption>Window Glass Types - West Data</caption> <thead> <tr> <th>Option</th> <th>EUI (kWh/m²/yr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Sgl Clr</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>Dbi LoE</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>Dbi Clr</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>BIM</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>Trp LoE</td> <td>3.08</td> </tr> </tbody> </table>	Option	EUI (kWh/m²/yr)	Sgl Clr	~10	Dbi LoE	~10	Dbi Clr	~10	BIM	~10	Trp LoE	3.08								
Option	EUI (kWh/m²/yr)																					
Sgl Clr	~10																					
Dbi LoE	~10																					
Dbi Clr	~10																					
BIM	~10																					
Trp LoE	3.08																					
<p>Construcción de muros</p>	<h3>Wall Construction</h3> <p>Represents the overall ability of wall constructions to resist heat losses and gains.</p> <p>Current Setting: R13 Wood - R2 CMU</p> 	<h3>Wall Construction</h3>  <table border="1"> <caption>Wall Construction Data</caption> <thead> <tr> <th>Option</th> <th>EUI (kWh/m²/yr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>R13 Wood</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>BIM</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>Uninsulated</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R13 Metal</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R38 Wood</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>12.25-inch SIP</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R13-R10 Metal</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>14-inch ICF</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R2 CMU</td> <td>-6.50</td> </tr> </tbody> </table>	Option	EUI (kWh/m²/yr)	R13 Wood	~0	BIM	~0	Uninsulated	~0	R13 Metal	~0	R38 Wood	~0	12.25-inch SIP	~0	R13-R10 Metal	~0	14-inch ICF	~0	R2 CMU	-6.50
Option	EUI (kWh/m²/yr)																					
R13 Wood	~0																					
BIM	~0																					
Uninsulated	~0																					
R13 Metal	~0																					
R38 Wood	~0																					
12.25-inch SIP	~0																					
R13-R10 Metal	~0																					
14-inch ICF	~0																					
R2 CMU	-6.50																					
<p>Construcción de techo</p>	<h3>Roof Construction</h3> <p>Represents the overall ability of roof constructions to resist heat losses and gains.</p> <p>Current Setting: Uninsulated - BIM</p> 	<h3>Roof Construction</h3>  <table border="1"> <caption>Roof Construction Data</caption> <thead> <tr> <th>Option</th> <th>EUI (kWh/m²/yr)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Uninsulated</td> <td>~10</td> </tr> <tr> <td>R10</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R19</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R15</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>10.25-inch SIP</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R38</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>R60</td> <td>~0</td> </tr> <tr> <td>BIM</td> <td>0.00</td> </tr> </tbody> </table>	Option	EUI (kWh/m²/yr)	Uninsulated	~10	R10	~0	R19	~0	R15	~0	10.25-inch SIP	~0	R38	~0	R60	~0	BIM	0.00		
Option	EUI (kWh/m²/yr)																					
Uninsulated	~10																					
R10	~0																					
R19	~0																					
R15	~0																					
10.25-inch SIP	~0																					
R38	~0																					
R60	~0																					
BIM	0.00																					

<p>Filtración de aire</p>	<h3>Infiltration</h3> <p>The unintentional leaking of air into or out of conditioned spaces; often due to gaps in the building envelope.</p> <p>Current Setting: 2.0 ACH - 0.17 ACH</p> 	<h3>Infiltration</h3>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Infiltration (ACH)</th> <th>EUt-f (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>2.0 ACH</td><td>~0</td></tr> <tr><td>1.5 ACH</td><td>~0</td></tr> <tr><td>1.2 ACH</td><td>~0</td></tr> <tr><td>0.8 ACH</td><td>~0</td></tr> <tr><td>0.4 ACH</td><td>~0</td></tr> <tr><td>BIM</td><td>~0</td></tr> <tr><td>0.17 ACH</td><td>-0.06</td></tr> </tbody> </table>	Infiltration (ACH)	EUt-f (kWh)	2.0 ACH	~0	1.5 ACH	~0	1.2 ACH	~0	0.8 ACH	~0	0.4 ACH	~0	BIM	~0	0.17 ACH	-0.06
Infiltration (ACH)	EUt-f (kWh)																	
2.0 ACH	~0																	
1.5 ACH	~0																	
1.2 ACH	~0																	
0.8 ACH	~0																	
0.4 ACH	~0																	
BIM	~0																	
0.17 ACH	-0.06																	
<p>Eficiencia lumínica</p>	<h3>Lighting Efficiency</h3> <p>Represents the average internal heat gain and power consumption of electric lighting per unit floor area.</p> <p>Current Setting: 20.45 W/m² - 3.23 W/m²</p> 	<h3>Lighting Efficiency</h3>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Lighting Efficiency (W/m²)</th> <th>EUt-f (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>20.45 W/m²</td><td>~40</td></tr> <tr><td>16.15 W/m²</td><td>~25</td></tr> <tr><td>11.84 W/m²</td><td>~10</td></tr> <tr><td>BIM</td><td>~0</td></tr> <tr><td>7.53 W/m²</td><td>~-10</td></tr> <tr><td>3.23 W/m²</td><td>-23.80</td></tr> </tbody> </table>	Lighting Efficiency (W/m²)	EUt-f (kWh)	20.45 W/m²	~40	16.15 W/m²	~25	11.84 W/m²	~10	BIM	~0	7.53 W/m²	~-10	3.23 W/m²	-23.80		
Lighting Efficiency (W/m²)	EUt-f (kWh)																	
20.45 W/m²	~40																	
16.15 W/m²	~25																	
11.84 W/m²	~10																	
BIM	~0																	
7.53 W/m²	~-10																	
3.23 W/m²	-23.80																	
<p>Luz de día y control de uso de ambientes</p>	<h3>Daylighting & Occupancy Controls</h3> <p>Represents typical daylight dimming and occupancy sensor systems.</p> <p>Current Setting: None - Daylighting & Occupancy Controls</p> 	<h3>Daylighting & Occupancy Controls</h3>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Daylighting & Occupancy Controls</th> <th>EUt-f (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>None</td><td>~0</td></tr> <tr><td>BIM</td><td>~0</td></tr> <tr><td>Daylighting Controls</td><td>~0</td></tr> <tr><td>Occupancy Controls</td><td>~0</td></tr> <tr><td>Daylighting & Occupancy Controls</td><td>-5.54</td></tr> </tbody> </table>	Daylighting & Occupancy Controls	EUt-f (kWh)	None	~0	BIM	~0	Daylighting Controls	~0	Occupancy Controls	~0	Daylighting & Occupancy Controls	-5.54				
Daylighting & Occupancy Controls	EUt-f (kWh)																	
None	~0																	
BIM	~0																	
Daylighting Controls	~0																	
Occupancy Controls	~0																	
Daylighting & Occupancy Controls	-5.54																	
<p>Eficiencia de tomacorrientes</p>	<h3>Plug Load Efficiency</h3> <p>The power used by equipment i.e. computers and small appliances; excludes lighting or heating and cooling equipment.</p> <p>Current Setting: 27.99 W/m² - 6.46 W/m²</p> 	<h3>Plug Load Efficiency</h3>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Plug Load Efficiency (W/m²)</th> <th>EUt-f (kWh)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>27.99 W/m²</td><td>~60</td></tr> <tr><td>21.53 W/m²</td><td>~45</td></tr> <tr><td>17.22 W/m²</td><td>~35</td></tr> <tr><td>13.99 W/m²</td><td>~25</td></tr> <tr><td>10.76 W/m²</td><td>~15</td></tr> <tr><td>BIM</td><td>~0</td></tr> <tr><td>6.46 W/m²</td><td>-1.10</td></tr> </tbody> </table>	Plug Load Efficiency (W/m²)	EUt-f (kWh)	27.99 W/m²	~60	21.53 W/m²	~45	17.22 W/m²	~35	13.99 W/m²	~25	10.76 W/m²	~15	BIM	~0	6.46 W/m²	-1.10
Plug Load Efficiency (W/m²)	EUt-f (kWh)																	
27.99 W/m²	~60																	
21.53 W/m²	~45																	
17.22 W/m²	~35																	
13.99 W/m²	~25																	
10.76 W/m²	~15																	
BIM	~0																	
6.46 W/m²	-1.10																	

<p>HVAC</p>	<p>HVAC</p> <p>Represents a range of HVAC system efficiency which will vary based on location and building size.</p> <p>Current Setting: ASHRAE VAV - ASHRAE Package Terminal Heat Pump</p> 	<p>HVAC</p> 
<p>Tiempo de operación del edificio</p>	<p>Operating Schedule</p> <p>The typical hours of use by building occupants.</p> <p>Current Setting: 24/7 - BIM</p> 	<p>Operating Schedule</p> 

Fuente: Autodesk Insight

4.3.4. Green Building Studio

Green Building Studio es una plataforma de Autodesk cuya función principal es reducir el consumo energético del proyecto. A diferencia del Insight que es más gráfico y comparativo, esta herramienta es para hacer cálculos y simulaciones de propuestas de mejora y reducir en diferentes medidas el consumo energético.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, a partir del modelado 3D realizado en el Revit, al momento de ejecutar el modelo energético inmediatamente se sube en la nube y se puede aplicar esta herramienta. Básicamente esta investigación inicia a partir de los resultados obtenidos a través de esta herramienta.

Una vez cargado el modelo en esta herramienta, el mismo software te propone un listado de mejoras para modificar el proyecto y reducir los costos energéticos que

inicialmente se calculan. La herramienta calcula diferentes cantidades a partir del modelo analítico que se elaboró en el Revit y en las que principalmente destacan el costo y el consumo de energía de manera anual por lo que serán los principales parámetros para obtener propuestas de mejora.

The screenshot shows the Autodesk Green Building Studio interface. At the top, there's a navigation bar with 'My Projects', 'Dashboards', 'My Profile', and 'My Account'. Below that, the current project is 'ANALISIS ENERGETICO'. There are tabs for 'Run List', 'Project Defaults', 'Project Details', 'Project Members', 'Utility Information', and 'Weather Station'. A table is displayed with columns for Name, Date, User Name, Floor Area (m²), Energy Use Intensity (MJ/m²/year), Electric Cost (kWh), Fuel Cost (MJ), and Total Annual Cost/Energy. The table has two rows: 'Project Default Utility Rates' and 'ANALISIS ENERGETICO'.

Name	Date	User Name	Floor Area (m²)	Energy Use Intensity (MJ/m²/year)	Electric Cost (kWh)	Fuel Cost (MJ)	Total Annual Cost ¹			Total Annual Energy ¹		
							Electric	Fuel	Energy	Electric (kWh)	Fuel (MJ)	Carbon Emissions (Mg)
Project Default Utility Rates												
Project Default Utility Rates	--	--	--	--	\$0.08	\$0.005	--	--	--	--	--	--
Base Run												
ANALISIS ENERGETICO	11/12/2023 11:28 PM	EKEC	1,362	430.6	\$0.08	\$0.005	\$11,655	\$263	\$11,918	147,528	55,249	--

Figura 32: Interfaz del modelo cargado al Green Building Studio
Fuente: Autodesk Green Building Studio

Run Name: ANALISIS ENERGETICO

Energy and Carbon Results | Water Usage

Project Template Applied: ANALISIS ENERGETICO_default ⓘ | Building Type: Office
Location: Ica, Ica ☁️ | Floor Area: 1,362 m²

1 Base Run

Energy, Carbon and Cost Summary

- Annual Energy Cost **\$11,918**
- Lifecycle Cost **\$162,327**

Annual CO₂ Emissions

- Electric **0.0 Mg**
- Onsite Fuel **2.8 Mg**
- Large SUV Equivalent **0.3 SUVs / Year**

Annual Energy

- Energy Use Intensity (EUI) **431 MJ / m² / year**
- Electric **147,528 kWh**
- Fuel **55,249 MJ**
- Annual Peak Demand **61.2 kW**

Lifecycle Energy

- Electric **4,425,843 kWh**
- Fuel **1,657,461 MJ**

Assumptions ⓘ

Figura 33: Características del local - Green Building Studio
Fuente: Autodesk Green Building Studio

Este software también realiza un cálculo del consumo del modelo mostrando varios parámetros que se pueden tener en cuenta para el análisis, mientras más detallado se encuentre el modelo y tenga más especialidades dentro, el análisis será más preciso. Adicionalmente, te muestra todas las características de los elementos del modelo.

Building Summary - Quick Stats

- Number of People: 188 people
- Average Lighting Power Density: 10.27 W / m²
- Average Equipment Power Density: 9.87 W / m²
- Specific Fan Flow: 4.2 LPerSec / m²
- Specific Fan Power: -1.137,130.632 W / LPerSec
- Specific Cooling: 0 m³ / kW
- Specific Heating: 0 m³ / kW
- Total Fan Flow: 6.947 LPerSec
- Total Cooling Capacity: -2,315.078 kW
- Total Heating Capacity: 2,315.238 kW

Base Run Construction

Category	Material / Description	Area (m ²)
Roofs	RO wood or steel Frame Roof U-Value: 2.72 (E)	584 m ²
Ceilings	Interior Drop Ceiling Tile U-Value: 2.50 (E)	183 m ²
Exterior Walls	RO 8in CMU Wall U-Value: 3.64 (E)	1,600 m ²
	RS 7 in Concrete U-Value: 0.84 (E)	75 m ²
Interior Walls	RO 8in CMU Wall U-Value: 3.84 (E)	851 m ²
	Uninsulated Interior Wall U-Value: 2.35 (E)	84 m ²
Interior Floors	RO Wood Frame Carpeted Floor U-Value: 1.16 (E)	815 m ²
	Interior Drop Ceiling Tile U-Value: 2.50 (E)	79 m ²
Raised Floors	RO 8in CMU Wall U-Value: 3.64 (E)	0 m ²
	RO wood or steel Frame Roof U-Value: 2.72 (E)	428 m ²
Slabs On Grade	RO 8in CMU Wall U-Value: 3.84 (E)	0 m ²
	Uninsulated concrete slab U-Value: 0.16 (E)	71 m ²
Nonsliding Doors	R2 Default Door (49 doors) U-Value: 2.28 (E)	119 m ²
Fixed Windows	Non-South Facing Windows: Double Red Tint U-Si 2.98, U-IP 0.53, SHGC 0.25, VLT 0.16 (24 windows) U-Value: 2.98 W / (m ² -K), SHGC: 0.25, VLT: 0.16	27 m ²
Operable Windows	Non-South Facing Windows: Double Clear U-Si 3.16, U-IP 0.56, SHGC 0.69, VLT 0.78 (9 windows) U-Value: 3.16 W / (m ² -K), SHGC: 0.69, VLT: 0.78	23 m ²

Figura 34: Características del modelo - Green Building Studio
Fuente: Autodesk Green Building Studio

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, la finalidad del Green Building Studio es la elaboración de propuestas de mejora; es así que el software también hace recomendaciones, así como se muestra en la siguiente imagen.

<input type="checkbox"/>	Roof Construction_R10	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	Daylighting & Occupancy Contro_Daylighting & Occupancy Contro	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	HVAC Types_ASHRAE Package System	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	ANALISIS ENERGETICO_ASHRAE 90.1-2010	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	Daylighting & Occupancy Contro_Occupancy Controls	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	Plug Load Efficiency_0.6 W/sf	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	Min / Max Form_Min Form	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	WWR - Western Walls_0% -- Window Shades - West_No change -- Window Glass Types - West_No change	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO
<input type="checkbox"/>	Building Orientation (Degrees)_180	Alternate Run of ANALISIS ENERGETICO

Figura 35: Propuestas de mejora - Green Building Studio
Fuente: Autodesk Green Building Studio

4.4. Consumo energético en las instalaciones eléctricas

4.4.1. Introducción

El primer objetivo específico es optimizar el consumo energético en las instalaciones eléctricas de la edificación. En los locales tipo oficinas el mayor gasto de las instalaciones eléctricas lo consume los aparatos luminosos debido a la cantidad de ambientes y el área que pueden tener. Asimismo, la necesidad de tener estos ambientes de oficina bien alumbrados ocasiona también que instalar equipos con altas cantidades de lúmenes aumenta de manera proporcional sus consumos.

A partir de los resultados obtenidos en el Green Building Studio, se realizó un análisis lumínico en los ambientes del local a través del software Dialux, esto con el fin de obtener los consumos eléctricos de la muestra y poder obtener propuestas de mejora en este aspecto.

4.4.2. Aplicación del software Dialux

De igual forma que en el Revit, en este software se debe modelar el local respetando sus dimensiones para poder colocar la distribución de luminarias existentes y hacer el estudio lumínico. La ventaja de esta herramienta es que se puede ingresar diferentes artefactos que se encuentran en el mercado con todas sus características y así correr las simulaciones y el programa puede emitir informes de cómo está quedando el local de acuerdo a la normativa de iluminación interior y el consumo que está ejerciendo.

Otro concepto que se debe tener en cuenta para medir las luminarias son los luxes (lux) de acuerdo a la siguiente fórmula.

$$\text{lux} = \text{lm/m}^2$$

El lux es la unidad mediante la cual se maneja las normas en el Perú de iluminación de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 5: Tabla de cantidad de lux por ambiente

Ambiente	Lux (lm/m ²)
Oficina	
Archivos	200
Salas de conferencia	300
Oficinas generales y salas de computo	500
Oficinas con trabajo intenso	750
Salas de diseño	1000

Fuente: Norma EM.010 – Instalaciones eléctricas en interiores

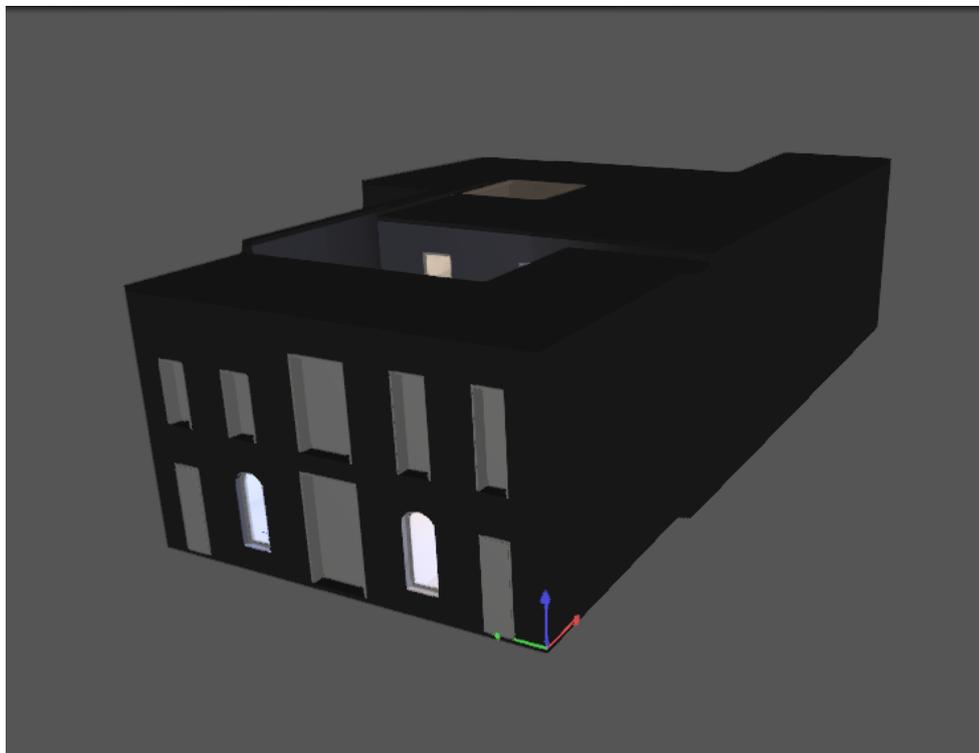


Figura 36: Modelado 3D en Dialux
Fuente: Dialux

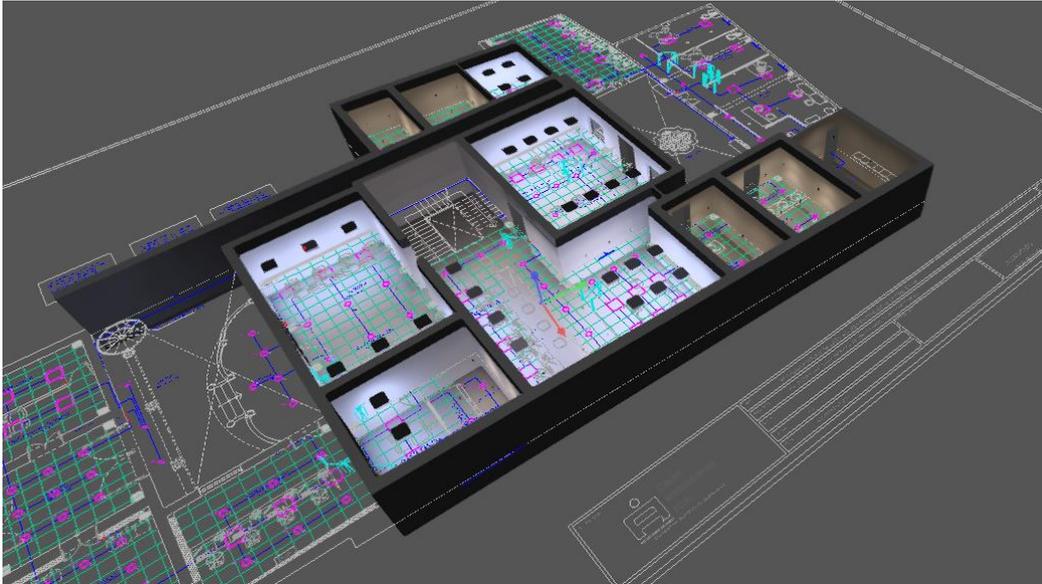


Figura 37: Corte de modelo en Dialux
Fuente: Dialux

Para realizar el modelado, se debe cargar el plano en DWG en la pestaña “Construction” y ahí se harán todo el modelo de la estructura como muros exteriores e interiores, niveles, puertas y ventanas, delimitación de zonas para el estudio e incluso modificar la ubicación y el tipo de construcción.

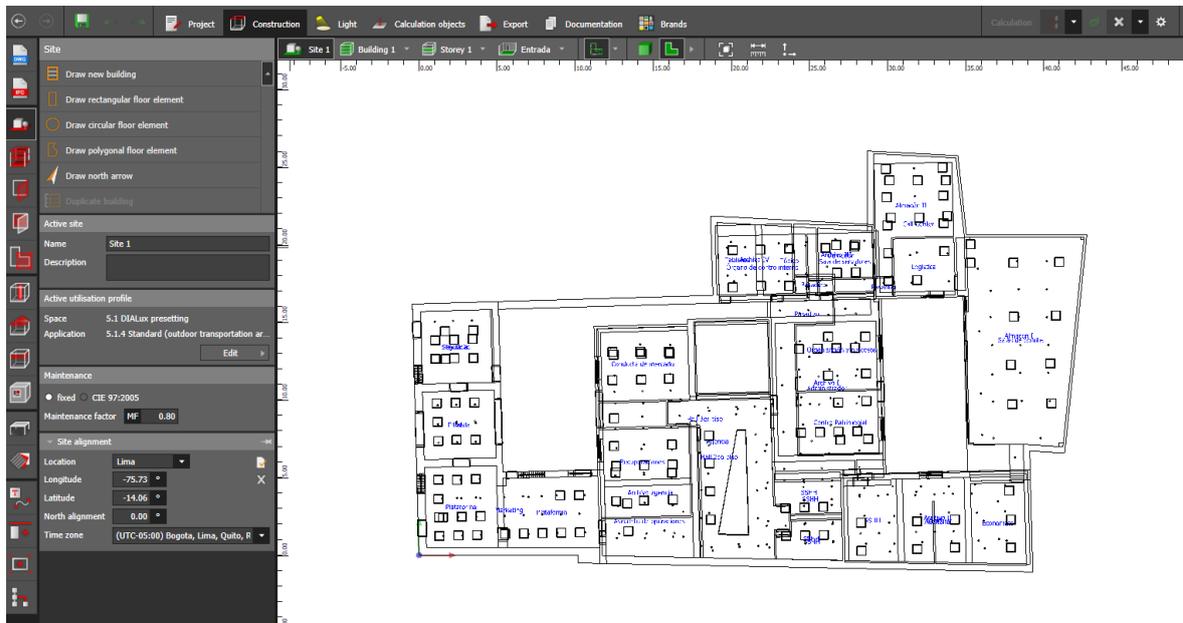


Figura 38: Modelamiento estructural del local en Dialux
Fuente: Elaboración propia – Dialux

Una vez culminada el modelamiento de la estructura, se procede a realizar el modelado del alumbrado en la pestaña "Light", aquí se realizará el dibujo de todas las luminarias del proyecto con el fin de poder realizar los análisis requeridos. Como se tiene el plano del proyecto de las luminarias se ubican de acuerdo al tipo de luminarias. Para insertar las luminarias se deben buscar en el catálogo del programa, luminarias similares a las instaladas para tener un cálculo más real.

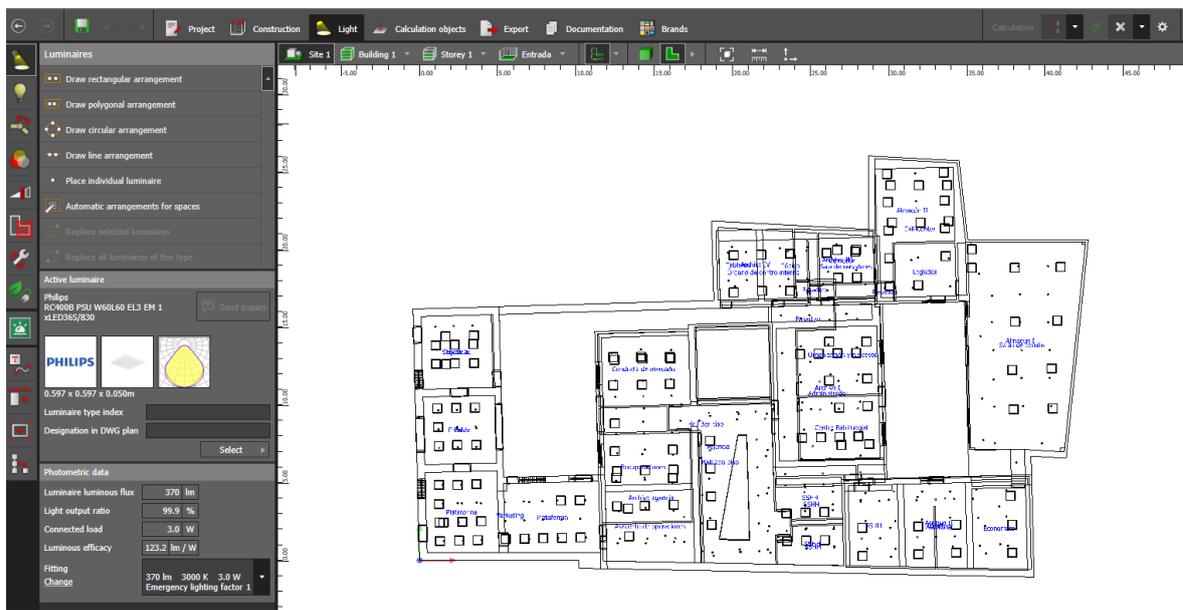


Figura 39: Modelamiento lumínico en Dialux
Fuente: Elaboración propia - Dialux

De esta manera realizando el modelado e ingresando las luminarias correctas se completa el modelo y se puede ver un bosquejo del 3D de la oficina.



Figura 40: Imagen 3D del modelado en Dialux
Fuente: Elaboración propia - Dialux

4.4.3. Modelado de los artefactos de alumbrado

Como se había comentado en el modelo se debe ingresar los artefactos que sean similares a los reales en cuando a consumo (W). Actualmente existen 02 tipos de luminarias, los artefactos cuadrados de 60x60cm y 48W de consumo y los artefactos redondos tipo downlight de 13W.

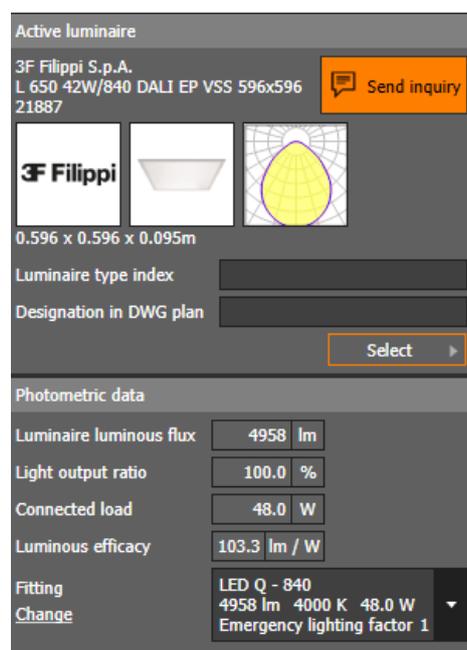


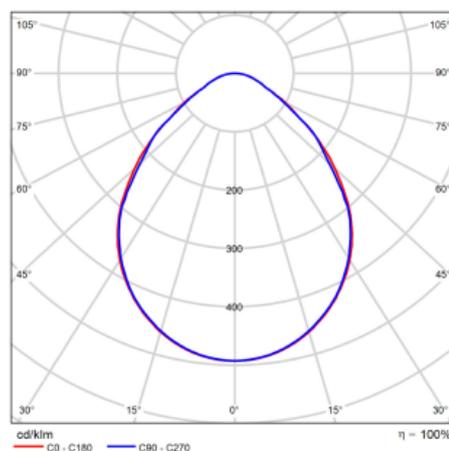
Figura 41: Menú de ingreso e información de artefactos
Fuentes: Dialux

4.4.4. Simulación inicial

Luego de ingresar todos los tipos de luminarias se realiza la 1era simulación con el fin de obtener los datos que nos calcula el software en cuanto al comportamiento de las luminarias actuales del local. Las luminarias que se utilizaron en este 1er análisis son las siguientes:

3F Filippi S.p.A. - L 650 42W/840 DALI EP VSS 596x596

3F Filippi		
Article No.	21887	
P	48.0 W	
Φ_{Lamp}	4958 lm	
$\Phi_{Luminaire}$	4958 lm	
η	100.00 %	
Luminous efficacy	103.3 lm/W	

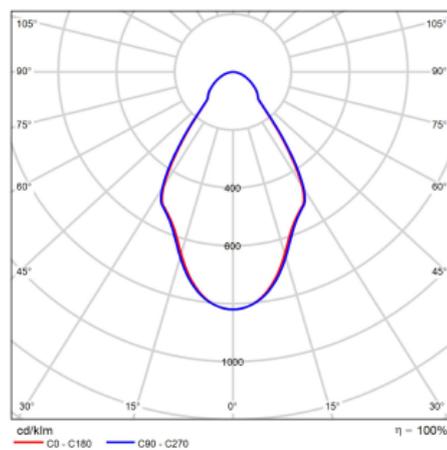


Polar LDC

Figura 42: Artefacto de 60x60cm
Fuente: Ficha técnica – 3F Filippi

SCHMITZ | WILA - alphabet spectra Recessed Luminaire, Downlight

SCHMITZ WILA		
Article No.	AS1102104-30-27 + 83819R08-WT_12W	
P	13.0 W	
Φ_{Lamp}	1040 lm	
$\Phi_{Luminaire}$	1040 lm	
η	100.00 %	
Luminous efficacy	80.0 lm/W	



Polar LDC

Figura 43: Artefacto tipo Downlight
Fuente: Ficha técnica – Schmitz

De las especificaciones de las luminarias se van a destacar los parámetros de potencia (W) que viene a ser el consumo del aparato y lumen (lm) que viene a ser la cantidad de luz que emite el artefacto. La relación entre los lúmenes y la potencia nos da la eficiencia lumínica que es con la media que también se puede medir cada equipo. Para oficinas es importante tener una eficiencia lumínica mayor a 100 lm/w en cada equipo. Se debe precisar que tener un equipo con mayor eficiencia puede solucionar los problemas de consumo, pero no, el confort del usuario que es tan importante en este tipo de edificaciones ya que a menor potencia (W) menor cantidad de lúmenes en el ambiente por lo que en una oficina donde es tan importante la iluminación no puede haber un nivel lumínico tan bajo.

Parte de la simulación con la distribución actual de alumbrado, el software emite un informe indicando las luminarias actuales y las cargas totales como se puede ver en la siguiente imagen:

Luminaire list

Φ_{total}		P_{total}		Luminous efficacy		
917020 lm		9646.0 W		95.1 lm/W		
pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	Φ	Luminous efficacy
130	3F Filippi S.p.A.	21887	L 650 42W/840 DALI EP VSS 596x596	48.0 W	4958 lm	103.3 lm/W
262	SCHMITZ WILA	AS110210 4-30-27 + 83819R08-WT_12W	alphabet spectra Recessed Luminaire, Downlight	13.0 W	1040 lm	80.0 lm/W

Figura 44: Resumen de artefactos de la simulación inicial
Fuente: Informe Dialux

Del cuadro podemos destacar la potencia total de 9646W y los lúmenes totales que consume es de 917020 lm.

El informe también presenta los cálculos de cada bloque, piso y ambiente de igual forma donde indica las cantidades de equipos, potencias, eficiencias y un dato importante que si cumple con la norma o no.

Site 1 - Building 1 - Storey 1

Plataforma

Summary / Light scene 1	45
Luminaire layout plan	47
Luminaire list	50
Calculation objects / Light scene 1	51
Working plane (Plataforma) / Light scene 1 / Perpendicular illuminance (adaptive)	53

Figura 45: Índice de informe por ambiente
Fuente: Informe Dialux

Building 3 · Storey 2 (Light scene 1)

Calculation objects

Working planes

Properties	\bar{E} (Target)	E_{min}	E_{max}	U_0 (g_1) (Target)	g_2	Index
Working plane (Almacén II) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	629 lx (≥ 200 lx) ✓	43.5 lx	840 lx	0.069 (≥ 0.40) ✗	0.052	WP30
Working plane (Pasadizo) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.000 m, Wall zone: 0.000 m	86.6 lx (≥ 100 lx) ✗	76.8 lx	94.9 lx	0.89 (≥ 0.40) ✓	0.81	WP31
Working plane (Logística) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	152 lx (≥ 500 lx) ✗	87.6 lx	194 lx	0.58 (≥ 0.60) ✗	0.45	WP32
Working plane (Almacén I) Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.800 m, Wall zone: 0.000 m	220 lx (≥ 200 lx) ✓	44.8 lx	649 lx	0.20 (≥ 0.40) ✗	0.069	WP33

Figura 46: Ejemplo análisis de informe Dialux por zona
Fuente: Informe Dialux

Es así como se presenta la tabla general de todos los ambientes y la cantidad de lux con el fin de agrupar todos los datos.

Tabla 6: Mediciones de lux por ambiente

Ambiente	E = Iluminancia (lux)	U = Uniformidad (E_{min}/E)
Lactario	434	0.53
Entrada	229	0.55
Plataforma I	518	0.48
Plataforma II	125	0.45
Seguridad	810	0.55
LAFT	909	0.52
Marketing	931	0.38
Agencia	476	0.059
Asistente de operaciones	352	0.20
Administrador	664	0.30
Cuarto de tableros	225	0.25
Tópico	186	0.21
Sala de servidores	856	0.43
SSHH V 1er piso	171	0.22
SSHH D 1er piso	204	0.20
Economato	76.9	0.26
Conducta de mercado	751	0.34
Recuperaciones	726	0.098
Hall 2do piso	126	0.14
SSHH V 2do piso	234	0.18
SSHH D 2do piso	247	0.19
Auditoria	585	0.16
Pasadizo	121	0.083
Control patrimonial	631	0.38
Organización y procesos	534	0.27
Órgano de control interno	802	0.52
Comedor	580	0.36
Archivo IV	128	0.33
Archivo III	140	0.23
Pasadizo	91.70	0.70
Archivo I	195	0.20
Archivo II	216	0.18
SSHH V 3er piso	230	0.23
SSHH D 3er piso	220	0.19
Hall 3er piso	130	0.058
Archivo agencia	187	0.079
Call center	686	0.34
Salas de comité	350	0.27
Almacén II	629	0.069
Pasadizo	86.6	0.89
Logística	152	0.58
Almacén I	220	0.20

Fuente: Dialux

Finalmente, el software te indica cual es el consumo anual en KWh a fin de saber el gasto total. Esto lo calcula de acuerdo a las características que se le agregaron al modelo de tipo de edificación, horas de trabajo y ubicación.

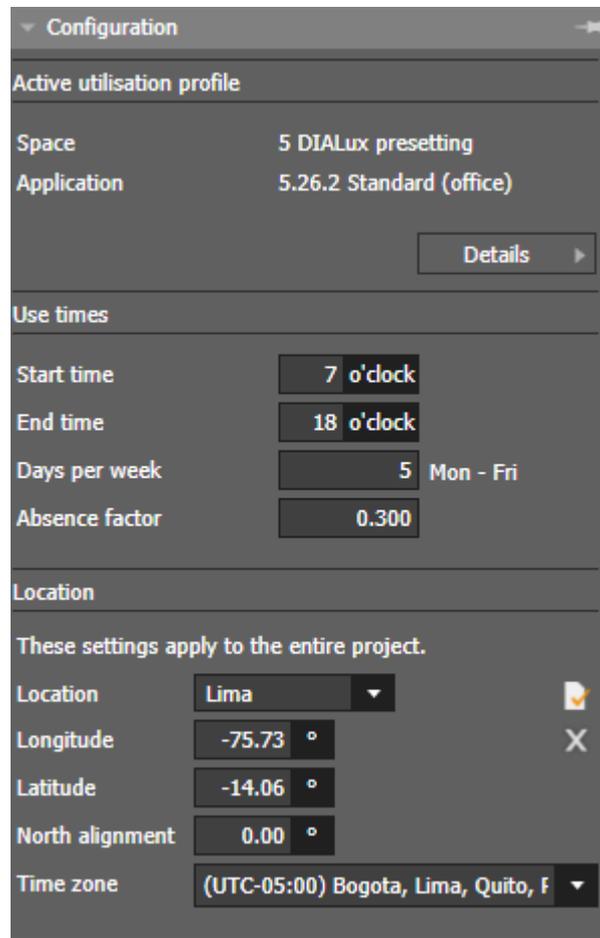


Figura 47: Configuración modelo
Fuente: Dialux

La potencia total anual que calcula el software es de 26131 KWh por año.

4.4.5. Propuesta de mejora

Después de los cálculos mostrados en la simulación inicial debemos plantearnos criterios para buscar propuestas de mejora. Es lógico que la idea base de mejora es el cambio de equipo luminoso por uno de menor potencia que consuma menos, pero existen otros criterios que nos indicaran cuales son los mejores equipos para

reducir el consumo y al mismo tiempo cumplir la norma y el confort del personal de la edificación. Estas propuestas se pueden analizar en el mismo software Dialux ya que tiene un amplio catálogo de artefactos con diferentes características que se pueden utilizar.

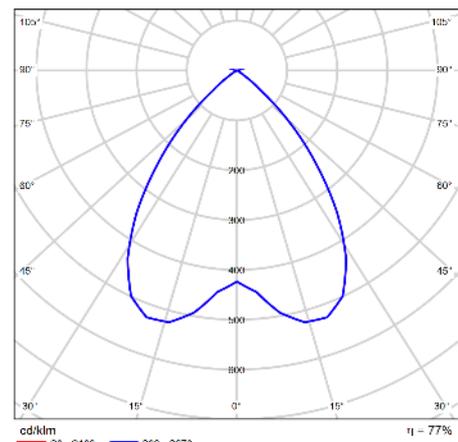
Los pasos para buscar la mejor opción es buscar un equipo dentro del catálogo que tenga una eficiencia lumínica cerca de 120 lm/w y una cantidad de lúmenes suficientes para mejorar la iluminación de la edificación.

Es de esta forma fue que se encontraron dos propuestas de cambio para las luminarias rectangular y las downlight las cuales son:

Endo Lighting - Fixed Downlight



Article No.	EFD8998W
P	8.6 W
Φ_{Lamp}	1321 lm
$\Phi_{Luminaire}$	1020 lm
η	77.21 %
Luminous efficacy	118.6 lm/W



Polar LDC

Figura 48: Propuesta luminaria Downlight
Fuente: Ficha técnica

TRILUX - ArimoFit

	
Article No.	ArimoFit M84 PW19 52-830 ETDD
P	41.0 W
Φ_{Lamp}	4900 lm
$\Phi_{Luminaire}$	4899 lm
η	99.99 %
Luminous efficacy	119.5 lm/W

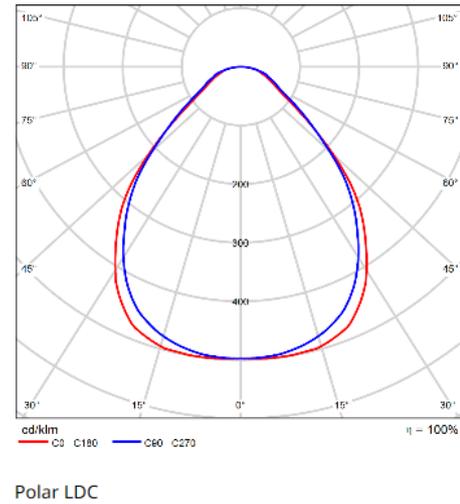


Figura 49: Propuesta luminaria cuadrada
Fuente: Ficha técnica - Trilux

4.4.6. Resultados

Luego de definir las propuestas se procede a agregarlas al software y realizar una nueva simulación para ver los valores que bota el programa. Es así que se tiene el siguiente resumen general de los cálculos obtenidos del software.

Luminaire list

Φ_{total} 904110 lm	P_{total} 7583.2 W	Luminous efficacy 119.2 lm/W				
pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	Φ	Luminous efficacy
262	Endo Lighting	EFD8998W	Fixed Downlight	8.6 W	1020 lm	118.6 lm/W
130	TRILUX	ArimoFit M84 PW19 52-830 ETDD	ArimoFit	41.0 W	4899 lm	119.5 lm/W

Figura 50: Resumen general propuesta de mejora
Fuente: Informe Dialux

Del cuadro anterior se pueden obtener diferentes comparaciones con respecto a la simulación inicial como la cantidad total de lúmenes y la potencia total.

Si comparamos los rasgos generales tenemos que la situación actual cuenta con 917020 lúmenes y la propuesta de mejora es de 904110 lúmenes, así como, la situación actual cuenta con 9646 W y la propuesta con 7583.20 W.

Si bien existe una mayor cantidad de lúmenes actualmente, al tener una menor eficiencia lumínica, esto consume una mayor potencia que la propuesta, por ende, el costo es mayor. Pero si analizamos la propuesta de mejora tenemos que la eficiencia lumínica ronda casi los 120 lm/w lo que indica que la potencia consumida total es mejor.

Ahora si hacemos un ejercicio por ejemplo de cambiar una luminaria downlight que tiene 1020 lúmenes por una cuadrada de 4900 lúmenes, su potencia sigue siendo mucho menor a la actual, de esta forma podríamos aumentar más los lúmenes en ambientes que lo necesiten y así tener incluso menor consumo eléctrico general.

De acuerdo al cuadro actual de resultados se tiene el comparativo de lux del estado actual y la propuesta:

Tabla 7: Cuadro comparativo de resultados

Ambiente	ACTUAL		PROPUESTA	
	E Iluminancia (lux)	U Uniformidad (E _{min} /E)	E Iluminancia (lux)	U Uniformidad (E _{min} /E)
Lactario	434	0.53	439	0.53
Entrada	229	0.55	236	0.64
Plataforma I	518	0.48	531	0.49
Plataforma II	125	0.45	131	0.45
Seguridad	810	0.55	818	0.55
LAFT	909	0.52	918	0.51
Marketing	931	0.38	938	0.43
Agencia	476	0.059	475	0.059
Asistente de operaciones	352	0.20	355	0.21

Administrador	664	0.30	663	0.27
Cuarto de tableros	225	0.25	236	0.26
Tópico	186	0.21	197	0.18
Sala de servidores	856	0.43	855	0.41
SSH V 1er piso	171	0.22	180	0.17
SSH D 1er piso	204	0.20	212	0.17
Economato	76.9	0.26	80.9	0.31
Conducta de mercado	751	0.34	747	0.31
Recuperaciones	726	0.098	724	0.088
Hall 2do piso	126	0.14	130	0.13
SSH V 2do piso	234	0.18	244	0.17
SSH D 2do piso	247	0.19	259	0.16
Auditoria	585	0.16	585	0.074
Pasadizo	121	0.083	123	0.083
Control patrimonial	631	0.38	628	0.38
Organización y procesos	534	0.27	532	0.25
Órgano de control interno	802	0.52	797	0.52
Comedor	580	0.36	590	0.35
Archivo IV	128	0.33	131	0.37
Archivo III	140	0.23	145	0.18
Pasadizo	91.70	0.70	85	0.82
Archivo I	195	0.20	200	0.15
Archivo II	216	0.18	221	0.14
SSH V 3er piso	230	0.23	243	0.22
SSH D 3er piso	220	0.19	230	0.15
Hall 3er piso	130	0.058	134	0.038
Archivo agencia	187	0.079	193	0.066
Call center	686	0.34	686	0.31
Salas de comité	350	0.27	348	0.28
Almacén II	629	0.069	627	0.063
Pasadizo	86.6	0.89	72.3	0.96
Logística	152	0.58	158	0.55
Almacén I	220	0.20	225	0.16

Fuente: Dialux

Finalmente, el software de Dialux, conforme se realiza el modelado, el programa hace un cálculo continuo del consumo por hora (KWh) de la edificación. Dato con el que se puede comparar el gasto que se tiene actualmente en la oficina.

Consumo propuesta anual = 20,382 KWh

Haciendo la comparación de consumo del modelo actual y la propuesta se tiene los siguientes datos.

Actual = 26,131 KWh

Propuesta = 20,382 KWh

Ahorro en instalaciones eléctricas con cambio de luminarias: 22%

4.5. Consumo energético en las instalaciones mecánicas

4.5.1. Introducción

Otra de las propuestas a mejorar según el Green Building Studio es el cálculo de las cargas térmicas, estas cargas influyen en los sistemas de ventilación de la edificación. Dependiendo de las características de los ambientes, estos pueden tener una ventilación natural, pero existen ambientes en las que no es confortable una ventilación natural y necesita una ventilación mecánica o artificial.

El local propuesto, cuya ubicación se encuentra en Ica, que tiene un clima regularmente cálido durante todo el año, es necesario la instalación de equipos de aire acondicionado ya que la sensación térmica es alta y debemos mantener un nivel de confort para los trabajadores del local.

Al momento del diseño del sistema mecánico es necesario el uso de dos softwares, uno de diseño, que vendría a ser el Revit y otro de selección que viene a ser el software de la marca HVAC llamado Trane Selection Software.

En este ítem se analizará las cargas obtenidas a través del programa Revit y mediante la aplicación del software Trane se realizará la selección del equipo mecánico cubra todas estas necesidades de la edificación.

4.5.2. Cargas térmicas

Para poder iniciar los cálculos de la propuesta mecánica que se va a obtener para este proyecto, es necesario realizar la simulación de cargas térmicas de la edificación. Para esto vamos a aplicar el software Revit para hacer la simulación respectiva. Dentro de esta opción vamos a agregar los parámetros correspondientes a la edificación como el tipo de edificación, su ubicación, su sistema de la edificación y los parámetros de su envolvente.

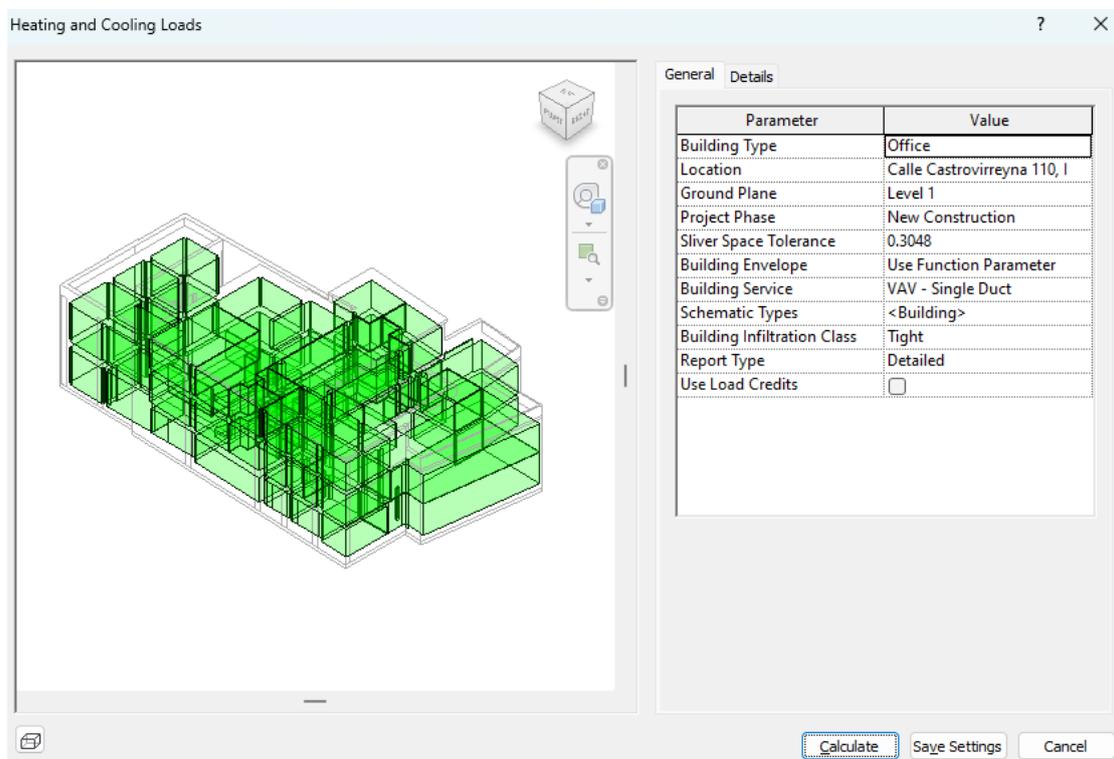


Figura 51: Parámetros de cargas térmicas
Fuente: Elaboración propia - Revit

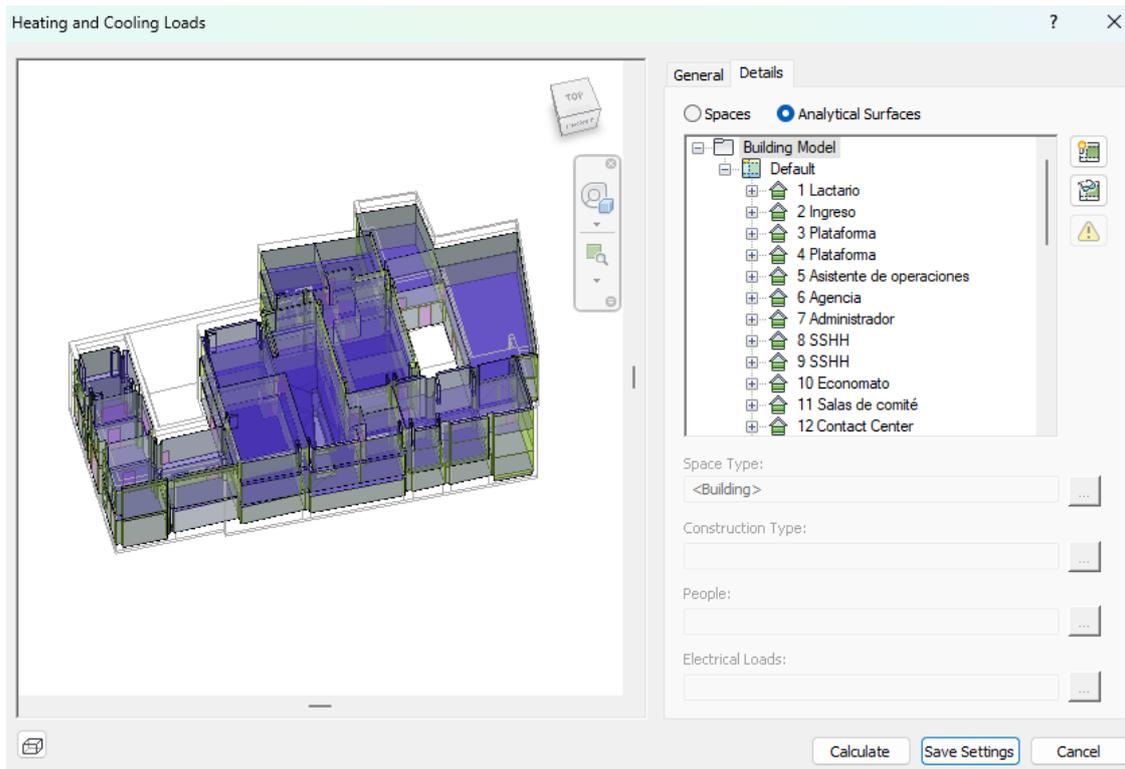


Figura 52: Modelo de superficies analíticas
Fuente: Elaboración propia - Revit

Ya cuando toda configuración está completa, se procede a calcular las cargas térmicas. El software emite un reporte con los resultados donde podemos encontrar el resumen del proyecto, el resumen de cargas de la edificación, por nivel y ambiente. También muestra los elementos de cada ambiente y su proporción térmica.

4.5.3. Cálculo de cargas

Una vez se calcula las cargas, el reporte te indica las características del proyecto como ubicación, coordenadas y temperaturas de acuerdo al siguiente cuadro:

Tabla 8: Características del proyecto - Cargas Térmicas

Locación and Weather	
Project	Cálculo energético HVAC - Local Ica Cercado
Address	Calle Castrovirreyna 110 Ica
Calculation Time	martes, 14 de noviembre de 2023 02:01
Report Type	Detailed
Latitude	-14.06°

Longitude	-75.73°
Summer Dry Bulb	30 °C
Summer Wet Bulb	24 °C
Winter Dry Bulb	12 °C
Mean Daily Range	7 °C

Fuente: Reporte Revit

En el reporte también se encuentra el cálculo general de toda la edificación como el área y las cargas totales para tener una idea del consumo del local.

Tabla 9: Cálculo general del edificio - Cargas Térmicas

Inputs	
Área (m ²)	1,517
Volume (m ³)	4,952.70
Cooling Setpoint	23 °C
Heating Setpoint	21 °C
Supply Air Temperature	12 °C
Number of People	193
Infiltration (L/s)	124.4
Air Volume Calculation Type	VAV - Single Duct
Relative Humidity	46.00% (Calculated)
Psychrometrics	
Psychrometric Message	None
Cooling Coil Entering Dry-Bulb Temperature	24 °C
Cooling Coil Entering Wet-Bulb Temperature	16 °C
Cooling Coil Leaving Dry-Bulb Temperature	11 °C
Cooling Coil Leaving Wet-Bulb Temperature	11 °C
Mixed Air Dry-Bulb Temperature	24 °C
Calculated Results	
Peak Cooling Total Load (W)	272,135.72
Peak Cooling Month and Hour	January 14:00
Peak Cooling Sensible Load (W)	239,108.88
Peak Cooling Latent Load (W)	33,026.84
Peak Cooling Airflow (L/s)	17,242.9
Peak Heating Load (W)	60,586.39
Peak Heating Airflow (L/s)	3,302.6
Peak Ventilation Airflow (L/s)	938.8
Checksums	
Cooling Load Density (W/m ²)	179.36
Cooling Flow Density (L/(s·m ²))	11.36
Cooling Flow / Load (L/(s·kW))	63.36
Cooling Area / Load (m ² /kW)	5.58
Heating Load Density (W/m ²)	39.93
Heating Flow Density (L/(s·m ²))	2.18
Ventilation Density (L/(s·m ²))	0.62

Ventilation / Person (L/s)	4.9
----------------------------	-----

Fuente: Reporte Revit

Asi también muestra un cálculo total de todos los elementos que consumen energía y su proporción por elemento.

Tabla 10: Consumo energético de los elementos - Cargas Térmicas

Cooling Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)
Wall	25,026.44	9.20%	7,549.80	2,209.97	12,670.18	2,596.50
Windows	5,673.22	2.08%	0.00	0.00	0.00	5,673.22
Door	1,540.74	0.57%	0.00	29.92	98.87	1,411.94
Roof	165,305.93	60.74%	-	-	-	-
Skylight	0.00	0.00%	-	-	-	-
Partition	0.00	0.00%	-	-	-	-
Infiltration	3,574.20	1.31%	-	-	-	-
Ventilation	28,673.45	10.54%	-	-	-	-
Lighting	6,439.84	2.37%	-	-	-	-
Power	9,113.05	3.35%	-	-	-	-
People	19,980.47	7.34%	-	-	-	-
Plenum	0.00	0.00%	-	-	-	-
Fan Heat	6,808.38	2.50%	-	-	-	-
Reheat	0.00	0.00%	-	-	-	-
Total	272,135.72	100%	7,549.80	2,239.89	12,769.05	9,681.66
Heating Components	Total (W)	Percentage	North (W)	South (W)	East (W)	West (W)
Wall	17,476.09	28.84%	5,314.05	4,091.88	5,895.96	2,174.21
Windows	428.63	0.71%	0.00	0.00	0.00	428.63
Door	1,165.16	1.92%	0.00	64.53	79.88	1,020.75
Roof	29,818.61	49.22%	-	-	-	-
Skylight	0.00	0.00%	-	-	-	-
Partition	0.00	0.00%	-	-	-	-
Infiltration	1,336.43	2.21%	-	-	-	-
Ventilation	10,361.48	17.10%	-	-	-	-
Total	60,586.39	100%	5,314.05	4,156.41	5,975.84	3,623.58

Fuente: Reporte Revit

Luego nos indica un resumen importante, con el que vamos a trabajar más adelante para el cálculo del equipo y sistema mecánico, que es el resumen de ambientes donde aparece principalmente el área y pico de enfriamiento en watts.

Tabla 11: Resumen de ambientes - Cargas Térmicas

Space Name	Área (m ²)	Volume (m ³)	Peak Cooling Load (W)	Cooling Airflow (L/s)	Peak Heating Load (W)	Heating Airflow (L/s)
1 Lactario	21	85.44	5,805.18	400.8	1,311.88	85.9
2 Ingreso	20	88.62	1,397.71	100.2	725.63	47.5
3 Plataforma	24	95.35	6,009.65	414.5	1,427.03	93.5
4 Plataforma	26	104.32	4,644.61	338.4	717.32	47.0
5 Asistente de operaciones	24	65.43	4,292.29	312.7	842.47	55.2
6 Agencia	150	417.82	24,487.85	1,784.2	4,201.62	275.2
7 Administrador	53	144.56	8,955.58	652.5	1,372.59	89.9
8 SSHH	16	42.75	2,493.89	181.7	547.62	35.9
9 SSHH	20	55.40	3,223.57	234.9	687.40	45.0
10 Economato	18	56.59	705.66	46.2	480.55	31.5
11 Salas de comité	99	351.46	10,774.16	698.7	3,144.11	205.9
12 Contact Center	48	151.16	5,950.13	419.4	1,599.23	104.7
13 Sala de servidores	14	39.50	2,308.95	168.2	0.00	0.0
14 Tópico	15	42.24	2,714.76	197.8	538.00	35.2
15 Cuarto de tableros	11	31.21	2,188.76	159.5	738.93	48.4
20 Unidad de conducta de mercado	24	76.08	4,382.86	319.3	636.02	41.7
19 Departamento de recuperaciones	38	122.99	6,665.02	485.6	958.36	62.8
21 Hall 2do piso	95	310.38	13,633.98	993.4	2,566.04	168.1
40 SSHH	9	29.47	1,647.01	120.0	404.76	26.5

23 SSHH	9	28.21	1,396.09	101.7	225.40	14.8
25 Área de logística	20	65.17	3,628.00	264.3	524.18	34.3
26 Departamento de organización y procesos	25	81.60	4,725.39	344.3	671.46	44.0
22 Hall	34	115.38	786.05	56.0	198.44	21.1
24 Departamento de auditoría interna	60	205.64	3,219.35	218.5	1,014.22	66.4
27 Órgano de control interno	27	86.32	5,061.27	368.8	1,222.42	80.1
28 Comedor	13	41.35	3,077.47	202.9	521.03	34.1
31 Almacén II	32	103.34	7,052.84	513.9	2,063.20	135.1
29 Oficina almacén	15	48.09	2,499.12	182.1	385.23	25.2
30 Almacén I	98	314.63	19,062.57	1,388.9	5,122.03	335.4
16 Unidad de seguridad	21	88.50	6,365.58	414.8	955.02	62.5
17 Unidad de Riesgo LAFT	20	82.46	6,736.11	417.5	922.72	60.4
18 Subgerencia de marketing	53	218.84	12,386.79	857.6	2,568.11	168.2
32 Archivo agencia	50	161.14	7,275.06	530.1	1,482.46	97.1
39 Hall 3er piso	109	348.11	16,626.46	1,211.4	2,822.76	184.9
34 SSHH	9	29.86	177.84	12.7	9.58	5.8
33 SSHH	10	31.03	1,653.08	120.4	399.83	26.2
36 Archivo I	82	262.21	11,224.56	817.8	2,134.85	139.8
38 Archivo IV	23	73.04	3,882.64	282.9	1,064.84	69.7
37 Archivo III	18	58.42	2,893.54	210.8	701.86	46.0
35 Archivo II	62	198.60	9,571.16	697.4	2,315.74	151.7

Fuente: Reporte Revit

El reporte también indica de manera detallada cada ambiente que se ha modelado, pero para la finalidad de la investigación vamos a trabajar con el cuadro anterior que cuenta con los ambientes que deben tener un sistema de ventilación.

4.5.4. Propuesta de mejora

La propuesta de mejora en este ítem es el diseño del sistema HVAC mediante la implementación del sistema TVR Ultra Inverter de la marca Trane, esta línea de equipos es muy recomendado por los especialistas como la mejor opción del sistema VRV (Volumen de refrigerante variable) por su eficiencia en el consumo. Por lo mencionado anteriormente, la presente investigación ira por el camino del diseño de la nueva propuesta y los cálculos para verificar el ahorro energético.

Con los datos destacados de los cálculos de cargas de todos los ambientes se inicia los cálculos completando el cuadro convirtiendo las cargas de enfriamiento que se encuentran en watts a BTU/HR o KBTU que es la unidad con la que se manejan los equipos mecánicos de aire acondicionado, esto se hace para los ambientes que van a contener un equipo de aire y no para ambientes comunes como halls, corredores o ingreso. Con esta unidad podemos comparar con cualquier equipo en el mercado para ver la potencia que se necesita.

Como parte del diseño del nuevo sistema mecánico, se modifican los BTU/HR que se calcularon a un BTU/HR que se encuentre en el catálogo del sistema propuesto.

Tabla 12: Cálculo de BTU/HR para diseño

Ítem	Ambiente	Nivel	Área	Cargas de enfriamiento	BTU / HR (3.41 x W)	BTU/HR Diseño
1	Lactario	Level 1	21 m ²	5805.18 W	19,795.66	19.00
2	Plataforma	Level 1	24 m ²	6009.65 W	20,492.91	24.00
3	Plataforma	Level 1	26 m ²	4644.61 W	15,838.12	24.00

4	Asistente de operaciones	Level 1	24 m ²	4292.29 W	14,636.71	12.00
5	Agencia	Level 1	150 m ²	24487.85 W	83,503.40	96.00
6	Administrador	Level 1	53 m ²	8955.58 W	30,538.53	38.00
7	Salas de comité	Level 1	99 m ²	10774.16 W	36,739.68	45.00
8	Contact Center	Level 1	48 m ²	5950.13 W	20,289.94	38.00
9	Sala de servidores	Level 1	14 m ²	2308.95 W	7,873.52	24.00
10	Unidad de seguridad	Level 2	21 m ²	6365.58 W	21,706.63	24.00
11	Unidad de Riesgo LAFT	Level 3	20 m ²	6736.11 W	22,970.14	30.00
12	Subgerencia de marketing	Level 3	53 m ²	12386.79 W	42,238.65	48.00
13	Departamento de recuperaciones	Level 2	38 m ²	6665.02 W	22,727.72	38.00
14	Unidad de conducta de mercado	Level 2	24 m ²	4382.86 W	14,945.55	12.00
15	Departamento de auditoría interna	Level 2	60 m ²	3219.35 W	10,977.98	57.00
16	Área de logística	Level 2	20 m ²	3628.00 W	12,371.48	24.00
17	Departamento de organización y procesos	Level 2	25 m ²	4725.39 W	16,113.58	12.00
18	Órgano de control interno	Level 2	27 m ²	5061.27 W	17,258.93	24.00
19	Comedor	Level 2	13 m ²	3077.47 W	10,494.17	12.00
20	Almacén I	Level 2	98 m ²	19062.57 W	65,003.13	60.00
21	Almacén II	Level 2	32 m ²	7052.84 W	24,050.18	24.00
22	Archivo agencia	Level 3	50 m ²	7275.06 W	24,807.95	38.00
23	Archivo II	Level 3	62 m ²	9571.16 W	32,637.66	48.00
24	Archivo I	Level 3	82 m ²	11224.56 W	38,275.55	48.00
25	Archivo III	Level 3	18 m ²	2893.54 W	9,866.97	24.00
26	Archivo IV	Level 3	23 m ²	3882.64 W	13,239.80	24.00

Fuente: Reporte Revit

Previa aplicación del software de selección se deben definir las áreas de acuerdo al plano donde irán los sistemas, esto se hace de acuerdo a las cargas de los ambientes y tomando en cuenta una distribución proporcional. Es de esta forma que se definieron 5 sistemas de aire acondicionado. Con esta premisa en el software se comienza a diseñar sistema por sistema teniendo en cuenta las cargas por ambiente y el equipo a utilizar.

La base del sistema VRV (volumen de refrigerante variable) radica en su equipo condensador principal que va en la azotea, a través de este equipo se distribuirá refrigerante de acuerdo a la necesidad del ambiente. Es por este motivo que se inicia el diseño del nuevo sistema con la elección de la unidad condensadora (UC).

Nombre Sistema	Tipo	Modelo	Código	Funciones
unclassified				
UC-01		4TVY0140HE000AA		
UC-02		4TVY0155HE000AA		
UC-03		4TVY0140HE000AA		
UC-04		4TVY0170HE000AA		
UC-05		4TVY0155HE000AA		

Figura 53: Lista de unidades condensadoras para diseño
Fuente: Trane Software de selección de equipos

Luego al momento de crear el sistema, el software te da la opción de agregar todo elemento necesario para el sistema real, como los conectores, las tuberías de cobre, los tipos de cable eléctrico de y comunicación, entre otros. Las unidades evaporadoras tipo split decorativo o fan coil se eligen de acuerdo a las cargas determinadas por ambiente.

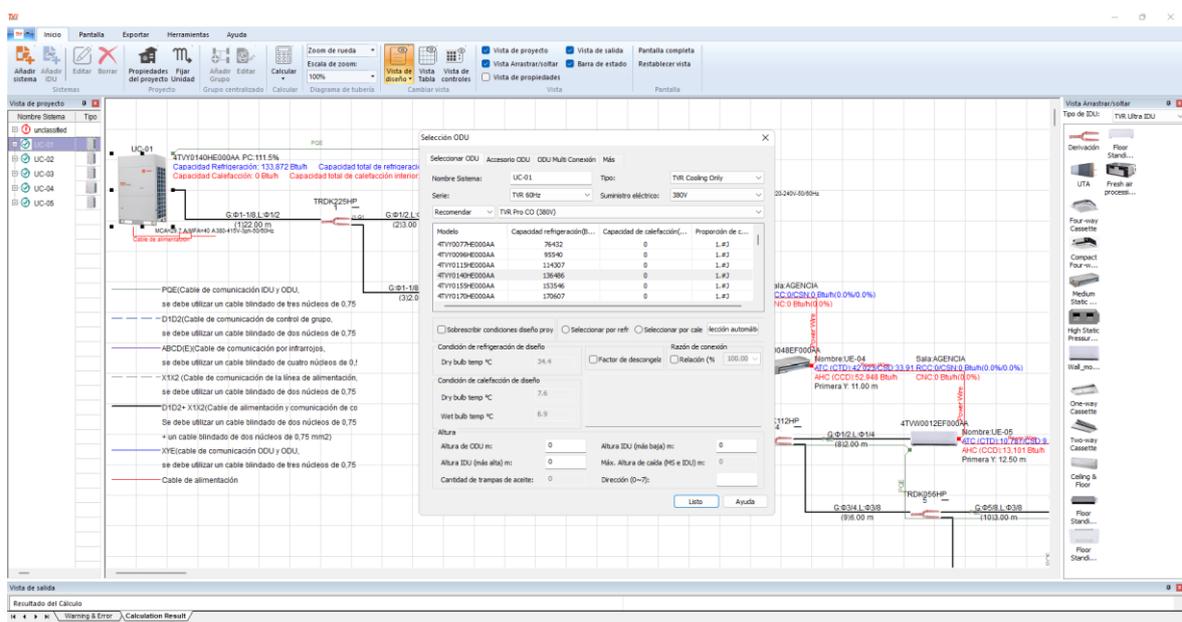


Figura 54: Selección de equipos

Fuente: Trane Software de selección de equipos

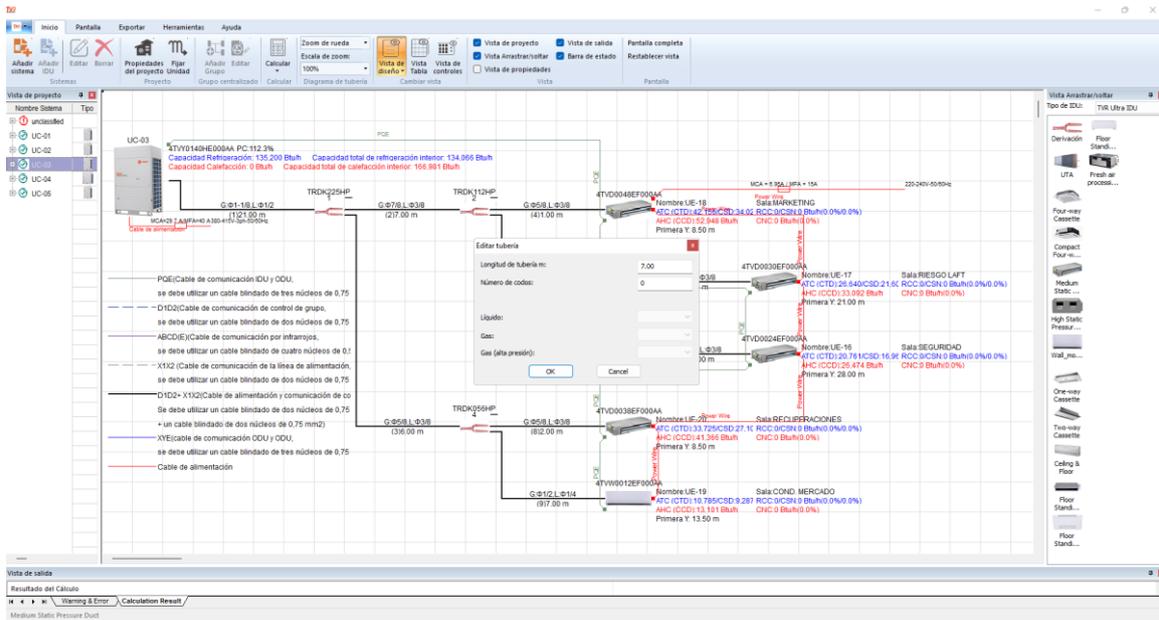


Figura 55: Modificación de propiedades de la tubería
Fuente: Trane Software de selección de equipos

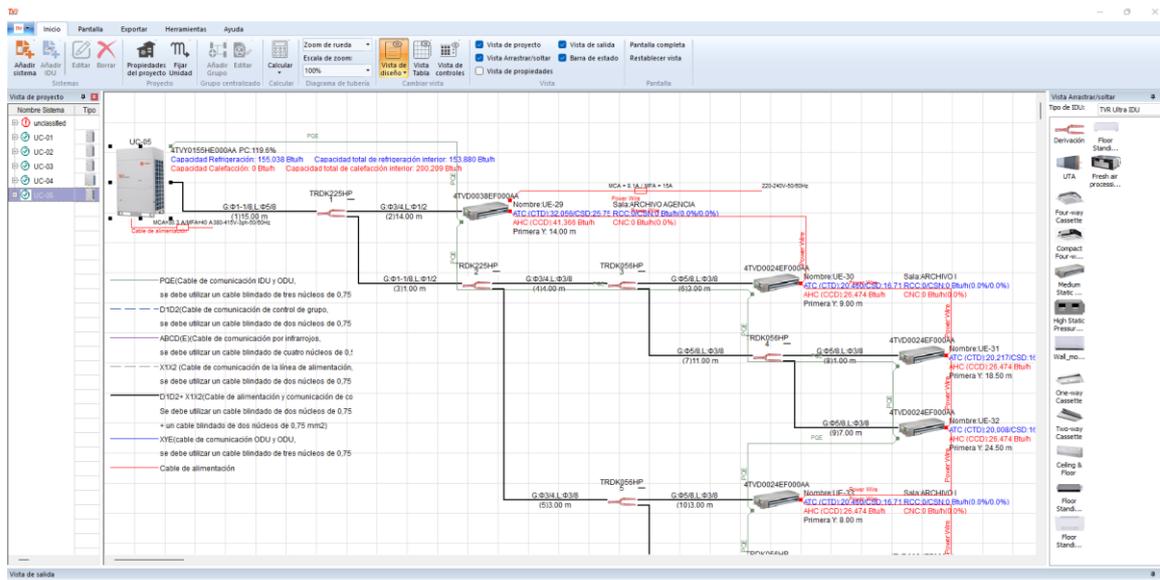


Figura 56: Sistema de creado - Software de selección de equipo
Fuente: Trane Software de selección de equipos

Es de esta forma que el software que crea los sistemas de acuerdo a los equipos y accesorios seleccionados y te calcula toda la información correspondiente a los sistemas.

4.5.5. Resultados

Después de haber creado los sistemas en el software se hacen los dibujos de distribución de los equipos en los planos para culminar con el diseño. De igual forma se obtienen los datos y gráficos. Finalmente, el software crea un reporte de todos los equipos seleccionados donde indican los parámetros de potencias totales que son con los que vamos a presentar estos resultados.

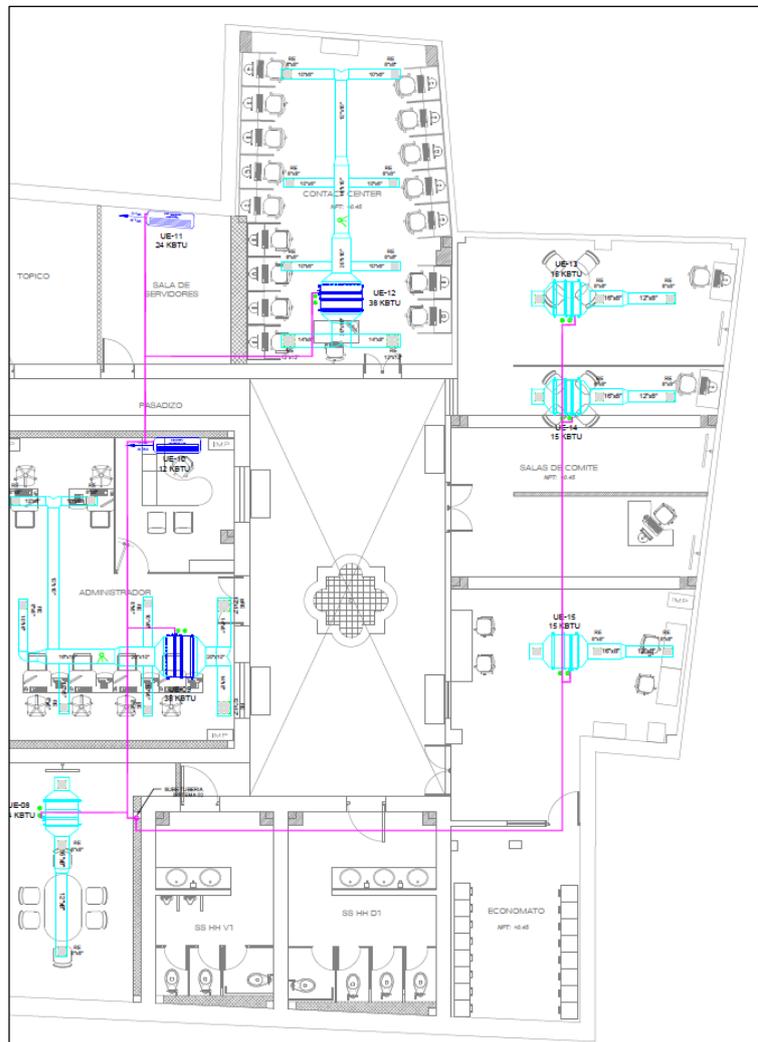


Figura 57: Ejemplo de distribución UC-02
Fuente: Elaboración propia - AutoCAD

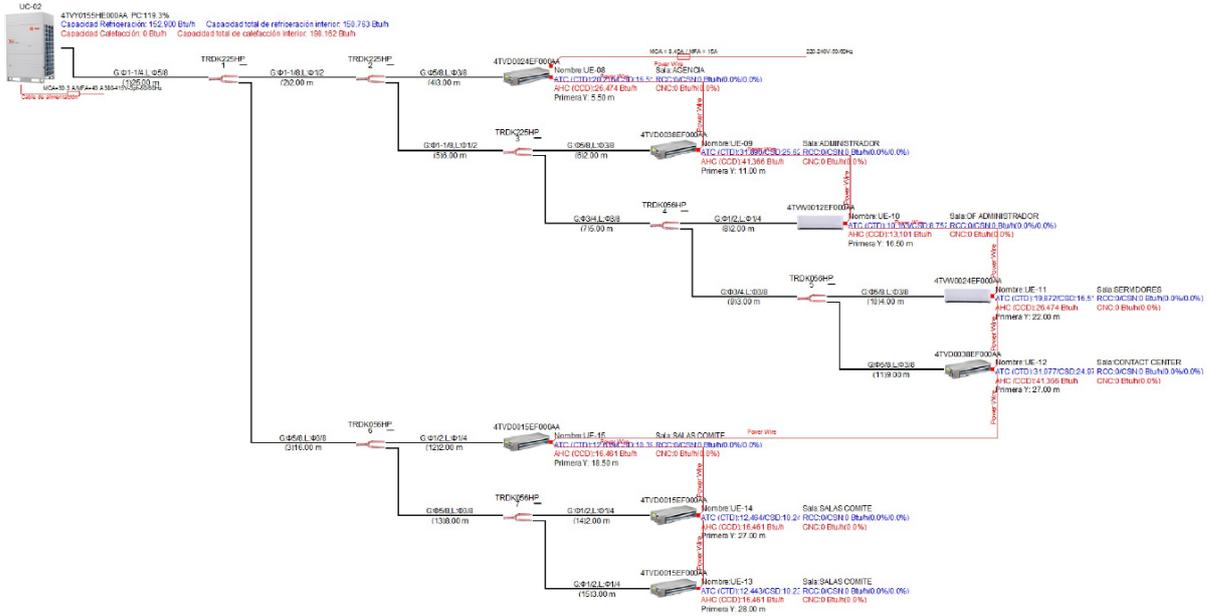


Figura 58: Ejemplo gráfico de equipos UC-02
Fuente: Informe Trane

Tabla 13: Tabla de elementos sistema UC - 02

Nº	Nombre	Modelo	Cantidad	Unidad	Descripción
1	TVR Pro CO (380V)	4TVY0155HE000AA	1		TVR Pro CO (380V)
2	Medium Static Pressure Duct	4TVD0036EF000AA	2		Medium Static Pressure Duct
3	Medium Static Pressure Duct	4TVD0024EF000AA	1		Medium Static Pressure Duct
4	Wall_mounted	4TVW0024EF000AA	1		Wall_mounted
5	Medium Static Pressure Duct	4TVD0015EF000AA	3		Medium Static Pressure Duct
6	Wall_mounted	4TVW0012EF000AA	1		Wall_mounted
7	Derivación	TRDK056HP	4		Branch joint
8	Derivación	TRDK225HP	3		Branch joint
9	Tubería	Ø1/4	9.0	m	Tubo de cobre
10	Tubería	Ø3/8	50.0	m	Tubo de cobre
11	Tubería	Ø1/2	17.0	m	Tubo de cobre
12	Tubería	Ø5/8	67.0	m	Tubo de cobre
13	Tubería	Ø3/4	8.0	m	Tubo de cobre
14	Tubería	Ø1-1/8	8.0	m	Tubo de cobre
15	Tubería	Ø1-1/4	25.0	m	Tubo de cobre
16	Refrigerante R410A	R410A	8.49	kg	Refrigerante extra agregado

Fuente: Informe Trane

Para poder hacer los cálculos de consumo energético del equipo, se puede resumir el reporte que emite el software donde indica la lista de equipos y sus consumos.

En el siguiente cuadro se indican todos los equipos utilizados y su potencia de consumo de enfriamiento que es lo que se ha calculado.

Tabla 14: Tabla de consumo energético de nueva propuesta

Model	Quantity	Power supply	Power input in cooling (kW)
4TVY0170HE000AA	1	380-415V-3ph-50/60Hz	14.880
4TVY0155HE000AA	2	380-415V-3ph-50/60Hz	12.260
4TVY0140HE000AA	2	380-415V-3ph-50/60Hz	10.580
4TVD0048EF000AA	2	220-240V-50/60Hz	0.250
4TVD0038EF000AA	4	220-240V-50/60Hz	0.200
4TVD0030EF000AA	4	220-240V-50/60Hz	0.120
4TVD0027EF000AA	1	220-240V-50/60Hz	0.110
4TVD0024EF000AA	13	220-240V-50/60Hz	0.098
4TVW0024EF000AA	1	220-240V-50/60Hz	0.055
4TVD0018EF000AA	1	220-240V-50/60Hz	0.092
4TVD0015EF000AA	3	220-240V-50/60Hz	0.092
4TVW0012EF000AA	7	220-240V-50/60Hz	0.030

Fuente: Software Trane

A partir del cuadro se puede calcular el consumo total del nuevo sistema planetado como mejora, esta suma es igual a 38.767 KW o 38,767.00 W. Para obtener el consumo KWh/a para la comparacion con el consumo electrico total, se debe multiplicar:

$$\text{KWh/a propuesta} = 38.767 * 0.4 \text{ f.p.} * 12 \text{ horas en funcionamiento} * 30 \text{ d} * 10 \text{ m}$$

$$\text{KWh/a propuesta} = 55,824.48 \text{ KWh/a}$$

Si hacemos una comparacion al consumo actual

$$\text{KWh actual} = 81,373.00 \text{ KWh}$$

$$\text{Ahorro} = 31.4\%$$

4.6. Consumo energético con mejoras en la infraestructura

En este ítem retomamos los análisis que habíamos mencionado al inicio de este capítulo sobre la aplicación de los beneficios que nos brinda el Green Building Studio para poder emitir propuestas para reducir el consumo energético general del local propuesto. También habíamos mencionado que los menores costos que calcula la plataforma es en la reducción del sistema eléctrico y de las cargas

térmicas para el sistema mecánico o HVAC, que ya se mencionó en los ítems precedentes.

Aparte de las modificaciones en las instalaciones, también existen propuestas de mejora modificando la infraestructura de los elementos principales del local.

4.6.1. Propuestas de Green Building Studio

En lo que respecta a la infraestructura, el software nos propone las siguientes mejoras con el fin de reducir el consumo energético del edificio.

Propuesta 1: Mejoramiento de techo con interior de madera

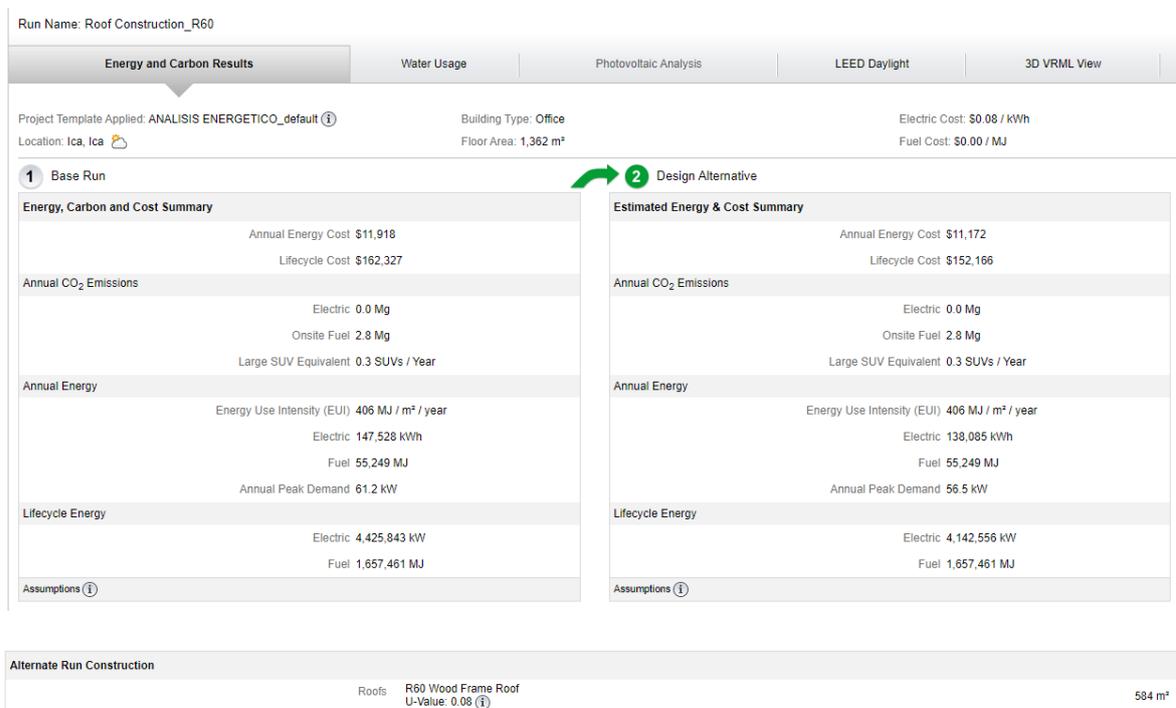
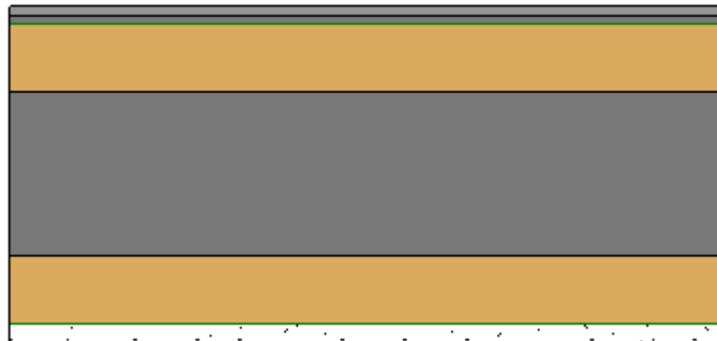


Figura 59: Comparativa propuesta 1 - Green Building Studio
Fuente: Green Building Studio

La presente propuesta indica realizar la mejora del techo de la edificación con un marco de madera con resistencia térmica y lana de roca para aislar la estructura. A continuación, se presenta las capas que debe tener la estructura.

Tabla 15: Propuesta 1° de mejora de techo

1.	Manto asfáltico	R60 Wood Frame Roof Layers 1. Asph Roll Roof (AR01) 2. Bldg Paper Felt (BP01) 3. Wood Sft 3/4in (WD01) 4. MinWool Batt R30 (IN05) 5. MinWool Batt R30 (IN05) 6. GypBd 5/8in (GP02)
2.	Aislante térmico Building wrap	
3.	Madera de friso abeto natural	
4.	Lana de roca	
5.	Yeso	



Fuente: Green Building Studio

Propuesta 2: Mejoramiento de techo con panel SIP

Run Name: Roof Construction_10.25-inch SIP

Energy and Carbon Results	Water Usage	Photovoltaic Analysis	LEED Daylight	3D VRML View
----------------------------------	-------------	-----------------------	---------------	--------------

Project Template Applied: ANALISIS ENERGETICO_default ⓘ
 Location: Ica, Ica ⓘ

Building Type: Office
 Floor Area: 1,362 m²

Electric Cost: \$0.08 / kWh
 Fuel Cost: \$0.00 / MJ

1 Base Run Energy, Carbon and Cost Summary Annual Energy Cost \$11,918 Lifecycle Cost \$162,327 Annual CO ₂ Emissions Electric 0.0 Mg Onsite Fuel 2.8 Mg Large SUV Equivalent 0.3 SUVs / Year Annual Energy Energy Use Intensity (EUI) 406 MJ / m² / year Electric 147,528 kWh Fuel 55,249 MJ Annual Peak Demand 61.2 kW Lifecycle Energy Electric 4,425,843 kW Fuel 1,657,461 MJ Assumptions ⓘ	2 Design Alternative Estimated Energy & Cost Summary Annual Energy Cost \$11,183 Lifecycle Cost \$152,309 Annual CO ₂ Emissions Electric 0.0 Mg Onsite Fuel 2.8 Mg Large SUV Equivalent 0.3 SUVs / Year Annual Energy Energy Use Intensity (EUI) 406 MJ / m² / year Electric 138,218 kWh Fuel 55,249 MJ Annual Peak Demand 56.6 kW Lifecycle Energy Electric 4,146,525 kW Fuel 1,657,461 MJ Assumptions ⓘ
--	--

Alternate Run Construction

Roofs Structurally Ins. Panel (SIP) Roof 10.25 in (260mm)
 U-Value: 0.15 ⓘ

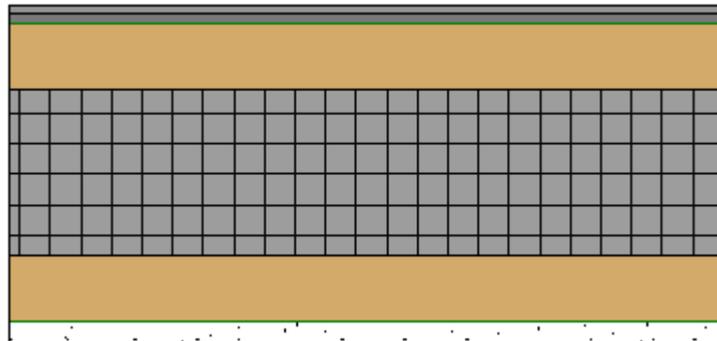
584 m²

Figura 60: Propuesta de techo
 Fuente: Green Building Studio

Esta propuesta nos indica de igual manera que la anterior que es posible mejorar el techo con la instalación de un panel SIP (dos placas de OSB o triplay y un centro de poliestireno expandido). Lo que dejaría la estructura de la siguiente manera.

Tabla 16: Propuesta 2° de mejora de techo

1.	Recubrimiento asfáltico	Structurally Ins. Panel (SIP) Roof 10.25 in (260mm Layers) 1. Asph Siding (AR02) 2. Bldg Paper Felt (BP01) 3. Plywd 5/8in (PW04) 4. Polystyrene 9.25in w/48in oc SIP Roof frame 5. Plywd 5/8in (PW04) 6. GypBd 1/2in (GP01)
2.	Papel de construcción	
3.	OSB o triplay	
4.	Poliestireno expandido	
5.	OSB o triplay	
6.	Yeso	



Fuente: Green Building Studio

Propuesta 3: Mejoramiento de envolvente de la edificación

Run Name: Min / Max Envelope_Min Envelope

Energy and Carbon Results | Water Usage | Photovoltaic Analysis | LEED Daylight | 3D VRML View

Project Template Applied: ANALISIS ENERGETICO_default ⓘ | Building Type: Office | Electric Cost: \$0.08 / kWh
 Location: Ica, Ica ⓘ | Floor Area: 1,362 m² | Fuel Cost: \$0.00 / MJ

1 Base Run	2 Design Alternative
Energy, Carbon and Cost Summary Annual Energy Cost \$11,918 Lifecycle Cost \$162,327 Annual CO ₂ Emissions Electric 0.0 Mg Onsite Fuel 2.8 Mg Large SUV Equivalent 0.3 SUVs / Year Annual Energy Energy Use Intensity (EUI) 407 MJ / m² / year Electric 147,528 kWh Fuel 55,249 MJ Annual Peak Demand 61.2 kW Lifecycle Energy Electric 4,425,843 kWh Fuel 1,657,461 MJ Assumptions ⓘ	Estimated Energy & Cost Summary Annual Energy Cost \$11,210 Lifecycle Cost \$152,677 Annual CO ₂ Emissions Electric 0.0 Mg Onsite Fuel 2.8 Mg Large SUV Equivalent 0.3 SUVs / Year Annual Energy Energy Use Intensity (EUI) 407 MJ / m² / year Electric 138,560 kWh Fuel 55,249 MJ Annual Peak Demand 52.9 kW Lifecycle Energy Electric 4,156,800 kWh Fuel 1,657,461 MJ Assumptions ⓘ

Exterior Walls Structurally Ins. Panel (SIP) Wall 12.25 in (311mm) U-Value: 0.15 ⓘ 1,675 m²

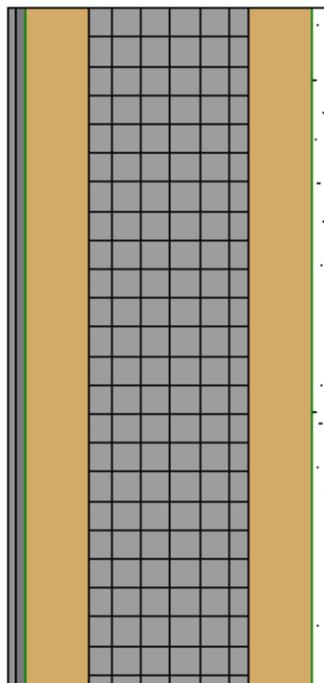
Figura 61: Propuesta muros exteriores
 Fuente: Green Building Studio

La principal estructura de una edificación que emite energía térmica es la envolvente del edificio lo que vendrían a ser muros exteriores y techos que los

elementos que reciben la energía térmica del sol. Esta propuesta presenta la mejora en los muros exteriores aplicando de manera similar a la propuesta anterior para el techo la instalación de un panel SIP (dos placas de OSB o triplay y un centro de poliestireno expandido).

Tabla 17: Propuesta de mejora de muros exteriores

1.	Recubrimiento asfáltico	Structurally Ins. Panel (SIP) Wall 12.25 in (311mm Layers 1. Stucco 1in (SC01) 2. Bldg Paper Felt (BP01) 3. Plywd 5/8in (PW04) 4. Polystyrene 11.25in w/ 48in oc SIP Wall frame 5. Plywd 5/8in (PW04) 6. GypBd 1/2in (GP01)
2.	Papel de construcción	
3.	OSB o triplay	
4.	Poliestireno expandido	
5.	OSB o triplay	
6.	Yeso	



Fuente: Green Building Studio

Propuesta 4:

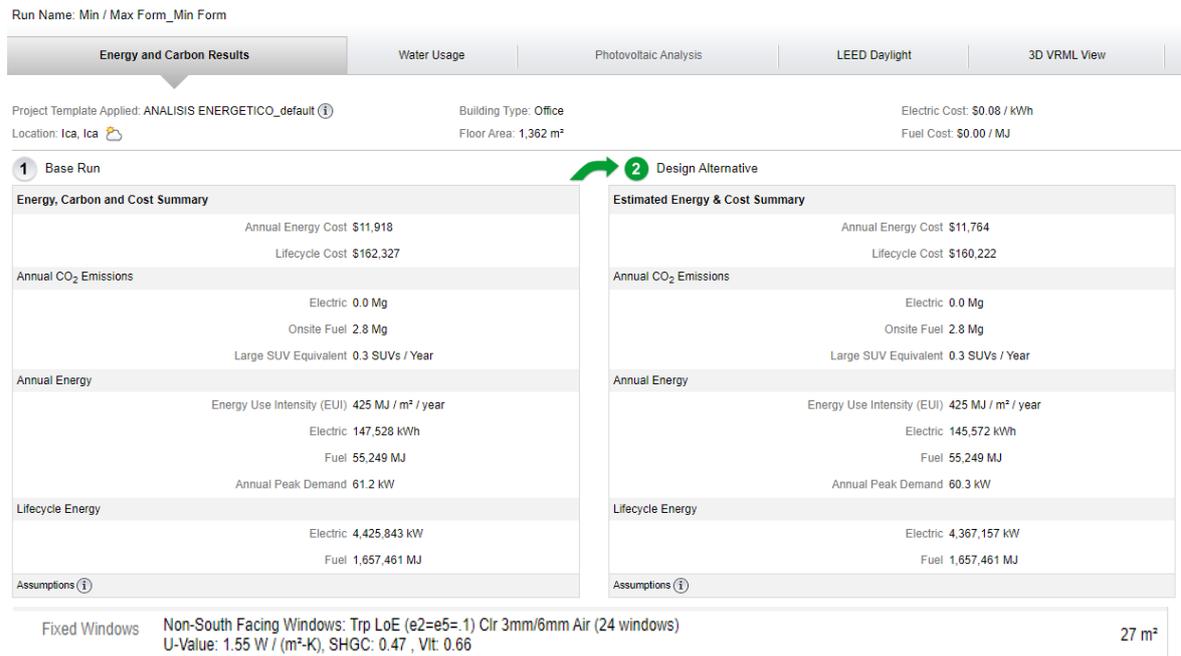


Figura 62: Propuesta ventanas
Fuente: Green Building Studio

Esta última propuesta se refiere a la modificación del tipo de vidrio de las ventanas de la edificación que no están al sur a uno de baja emisión de calor, esto como aislante térmico para evitar que ingrese mucho calor por las ventanas o el frío del interior no salga con facilidad.

4.6.2. Cálculos

De acuerdo a las propuestas mencionadas se tiene que analizar los costos que el software estima para poder hacer un comparativo y verificar que propuestas pueden ser viables en este caso. Previamente al ser un software que estima los costos del modelo, al ser solo un modelo arquitectónico 200 LoD de detalle, se debe realizar un factor para estimar los costos frente al consumo real.

Tabla 18: Tabla comparativa entre consumo actual y propuestas

Consumo eléctrico actual x año	S/. 107,504.00	Comparativo de resultados (actual – propuesta)	
fc	2.34	Ahorro	KWh
Propuesta 1 techo	S/. 100,648.55	S/. 6,855.45	9443
Propuesta 2 techo	S/. 100,747.65	S/. 6,756.35	9310

Propuesta 3 muros	S/. 100,990.89	S/. 6,513.11	8967
Propuesta 4 ventanas	S/. 105,981.88	S/. 1,522.12	1956

Fuente: Elaboración propia

4.6.3. Resultados

A partir de los cálculos realizados para reducir el consumo energético del local mediante las propuestas mejoras en la infraestructura, se podría llegar un ahorro de S/. 14,890.68 sumando una propuesta de mejoramiento de techo, la propuesta de mejoramiento de muro y la propuesta de mejoramiento de ventanas, es decir un 14.18%

Es posible también realizar un análisis costo beneficio para ver la viabilidad de las propuestas y si es posible implementarlo en la edificación, pero esto ya es otro tipo de análisis que no se encuentra en el alcance de la investigación.

4.7. Recopilación de resultados generales

Después de los análisis realizados en los diferentes indicadores de la investigación se hace un resumen de los consumos y costos de mejora energética.

En la situación actual, el consumo total de energía en el último año fue de 107,504 KWh que da un costo total de S/. 82,092.93

A partir de los resultados de mejora obtenidos tenemos lo siguiente:

En las instalaciones eléctricas:

El consumo anual mediante las modificaciones planteadas sería de 20,382 KWh lo que daría un costo de S/. 15,564.24

En las instalaciones mecánicas:

El consumo anual mediante el nuevo diseño planteado sería de 55,824.48 KWh lo que daría un costo de S/. 42,629.07

En la infraestructura:

Mediante el total de modificaciones propuestas en la infraestructura, nos daría un ahorro adicional de S/. 14,890.68, sin embargo, la aplicación de estas modificaciones implica costos muy elevados para su implementación.

Si realizamos la suma de los resultados de las propuestas tenemos lo siguiente:

- El consumo energético en las instalaciones eléctricas de acuerdo a la propuesta es de S/. 15,564.24 (20,382.00 KWh/a)
- El consumo energético en las instalaciones mecánicas de acuerdo a la propuesta es de S/. 42,629.07 (55,824.48 KWh/a)
- El ahorro energético mediante modificaciones físicas en la infraestructura es de = S/. 14,890.68 (\pm 20,000.00 KWh/a)

El costo total del consumo con las mejoras es de S/. 43,302.63

Lo que daría un porcentaje de ahorro de 47.25%

Si no consideramos las modificaciones en la infraestructura, al cálculo quedaría de esta manera:

- El consumo energético en las instalaciones eléctricas de acuerdo a la propuesta es de S/. 15,564.24 (20,382.00 KWh/a)
- El consumo energético en las instalaciones mecánicas de acuerdo a la propuesta es de S/. 42,629.07 (55,824.48 KWh/a)

El costo total del consumo con las mejoras es de S/ 58,193.31

Lo que daría un porcentaje de ahorro de 29.11%

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

5.1. Contrastación de resultados

5.1.1. Contrastación de hipótesis

5.1.1.1. Hipótesis general HG: Optimizar el consumo energético

HG: El modelo BIM 6D permite optimizar el consumo energético de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Sustento: De acuerdo a los datos obtenidos de la edificación, se tiene que el consumo anual es de 107,504 KWh que da un costo total de S/. 82,092.93, por tal motivo si aplicamos las mejoras en las instalaciones (luminarias y aire acondicionado) y la infraestructura podríamos llegar a un ahorro energético de aproximadamente del 47.25%. Se afirma que la hipótesis es verdadera.

5.1.1.2. Hipótesis específica H1: Instalaciones eléctricas

H1: La aplicación del modelo BIM 6D reducirá en un 10% el consumo energético en las instalaciones eléctricas de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Sustento: En el indicador de instalaciones eléctricas se obtuvo una mejora en el consumo energético mediante el análisis y cambio de equipos de alumbrado, por tal motivo se llega a un ahorro de hasta 22%. Se afirma que la hipótesis es verdadera.

5.1.1.3. Hipótesis específica H2: Instalaciones mecánicas

HE2: La aplicación del modelo BIM 6D reducirá en un 10% el consumo energético en las instalaciones mecánicas de un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Sustento: En el indicador de instalaciones mecánicas se obtuvo una mejora en el consumo energético mediante un nuevo diseño de un sistema de aire acondicionado de acuerdo a las cargas calculadas y a partir del uso de un equipo

de potencia variable y más eficiente como el TVR Ultra Inverter de la marca Trane, por lo que el ahorro energético puede llegar a un 31.4%. Se afirma que la hipótesis es verdadera.

5.1.1.4. Hipótesis específica H3: Características físicas en la infraestructura

HE3: Modificar las características físicas de la infraestructura de la edificación optimiza en un 5% el consumo energético con la aplicación del modelo BIM 6D para un local de 800m² de la Caja Municipal Ica.

Sustento: De acuerdo a las propuestas de mejora del software Green Building Studio, se puede llegar a optimizar hasta un 18.14%. Se afirma que la hipótesis es verdadera.

5.1.2. Discusión de antecedentes

5.1.2.1. Antecedente internacional

De acuerdo a Soto, O. (2017) en su investigación "Simulación energética BIM mejores prácticas para la eficiencia energética en edificios de viviendas plurifamiliares" menciona en los 03 tipos de vivienda que considero el cálculo energético, en las tres llego a al resultado que se puede optimizar la demanda de las cargas térmicas para el sistema de ventilación teniendo un ahorro de entre un 30 a 40%. De acuerdo a mi investigación sobre el análisis del consumo en las instalaciones mecánicas, me resulto un ahorro del 31.4%, motivo por el cual cuenta con resultados similares agregando que se trata de locales diferentes pero el ahorro es similar. Se afirma que los resultados obtenidos son verdaderos.

5.1.2.2. Antecedente nacional

De acuerdo a Polar J., Quea R. y Mamani D. en su investigación “Análisis del comportamiento energético de una vivienda social mediante la integración BIM, para zonas de friaje sobre los 3800 msnm ubicados en la Región Puno” mencionan en sus conclusiones que la modificación de los muros a doble muro con poliestireno y la lámina de vidrio para ventanas optimizan el consumo anual de 17.1%. En mi investigación, con los cambios físicos propuestas en la infraestructura para el cambio de techo, muros exteriores e incluso ventanas se puede llegar a un ahorro de 18.14%, similar al antecedente. Se afirma que los resultados son correctos.

CONCLUSIONES

1. La metodología BIM es una herramienta para optimizar los proyectos en cualquier etapa, y cada vez se van a seguir encontrando funciones en los que esta metodología puede optimizar la solución. En esta investigación se aplicó una de las funciones de la metodología BIM en su sexta dimensión (6D) que se refiere a la sostenibilidad y fue para poder hacer un análisis energético del local propuesto con el fin de mejorar su consumo.
2. La metodología BIM no es un programa, sino una forma de trabajo, es por esa razón que es esta investigación se utilizaron cerca de 5 programas BIM que ayudan al análisis y a los procesos para llegar al resultado. El Revit es un programa muy útil para aplicar la metodología BIM, pero es un programa que básicamente hace cálculos de acuerdo a los parámetros que contenga el modelo, cuando hablamos de diseño existen mejores softwares que ayudan a llegar a resultados más precisos y abarca de manera las especifica las especialidades de un proyecto.
3. En las instalaciones eléctricas, se realizó el análisis del consumo actual en base a la información recopilada y a partir de un modelado de las luminarias del local propuesto se realizaron las simulaciones respectivas y se buscaron propuestas de mejora. Solamente a partir del cambio de luminarias se pudo obtener una reducción en el consumo energético de hasta 22%, teniendo en cuenta los parámetros esenciales para la elección de los equipos como la potencia, la eficiencia luminosa y la intensidad lumínica.
4. En las instalaciones mecánicas, se realizó el análisis de las cargas térmicas del local y se diseñó un nuevo sistema de aire acondicionado con un equipo específico de mucho menor consumo. Al hacer el nuevo diseño y distribución del nuevo sistema se hicieron los cálculos respectivos y se determinó que,

en comparación al consumo actual, se puede llegar a ahorrar hasta 31.4% en el consumo energético.

5. A partir de las modificaciones en las características en la infraestructura se pudo calcular a través del software Green Building Studio diferentes propuestas de mejoras en los diferentes elementos de la edificación en los que se puede llegar a ahorrar hasta un 18.14% en el consumo energético del local.
6. Por último, se concluye que es posible realizar análisis energéticos en diferentes niveles de detalle y de diferentes locales ya que con la tecnología de ahora es se puede ahorrar la mayor cantidad de recursos y esto llegar a ser beneficioso para el entidad sea del ámbito que sea.

RECOMENDACIONES

1. Utilizar la metodología BIM para el análisis energético de cualquier proyecto en sus diferentes etapas ya que en cualquiera se puede obtener un ahorro significativo, más aún si se aplica a un nuevo proyecto desde la etapa de planificación.
2. Realizar un estudio lumínico de las edificaciones con el fin de analizar y buscar propuestas de mejora para optimizar el consumo energético. Este punto es más recomendable en edificios tipo oficina, centros médicos, sala de reuniones o de atención al público y ventas tipo retail ya que en estos casos la necesidad de iluminación es mayor por su finalidad.
3. Realizar un estudio de cargas térmicas en edificaciones antiguas y que tengan la necesidad de tener el sistema HVAC ya sea por la ubicación o la utilidad del edificio y en las que se pueda implementar nuevos diseños más ahorradores y optimizar los gastos de energía consumida. En los nuevos proyectos ya debe ser parte desde la planificación un diseño de sistema HVAC con equipos modernos de bajo consumo.
4. Realizar un análisis de las características físicas de edificaciones antiguas con el fin de optimizar el consumo energético, este punto es más dependiente de las zonas en donde se encuentran los locales ya que podrán existir mejoras más significativas y realistas en estos casos. Para definir bien la situación es recomendable hacer un análisis costo beneficio de las propuestas y revisar el tiempo de retorno de la inversión y si es posible realizar dichas modificaciones.

5. Implementar enseñar la importancia del análisis energético en nuevos proyectos de todo tipo debido a los altos consumos que se pueden llegar a obtener sin haber un diseño previo realizado por especialistas.
6. Implementar una normativa dentro del reglamento BIM para obras públicas que rige desde mayo de este año para que se realicen análisis energéticos de los proyectos desde su planificación.

FUENTES DE INFORMACIÓN

- Aish, R. (07 – 09 de julio de 1986). *Building Modeling: the key to Integrated Construction CAD* [Modelado de la construcción: la llave para un proyecto integrado en CAD]. [Sesión de congreso]. The fifth symposium on the use of computers for environmental engineering related to buildings, Guildhall, Bath. https://www.researchgate.net/publication/320347623_Building_modelling_the_key_to_integrated_construction_CAD
- Apcho, S. (2019). *Diseño del Sistema de Iluminación para la obtención de certificación LEED del edificio Plaza República 2*. [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio institucional. <https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/2619>
- Autodesk. (06 de mayo de 2021). *Autodesk Revit: software BIM para diseñar y crear todo lo que te propongas*. Autodesk. https://latinoamerica.autodesk.com/products/revit/overview?panel=buy&AID=13955714&PID=8299320&SID=jkp_Cj0KCQiAgP6PBhDmARIsAPWMq6mV5gxOjRF0gQWh4eol2f41yBQWh_tINt4GuWwpKyCWOCVMx25kmgaAo uVEALw_wcB&cjevent=cefcb318876a11ec8064cb320a82b839&mktvar002=afc_latam_deeplink&affname=8299320_13955714
- Barco, D. (2018). *Guía para Implementar y Gestionar Proyectos BIM. Costos*.
- Barreto, J. (2023). *Uso de la metodología Building Information Modeling para el análisis energético de edificios*. [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/33694>

- Bouzas, M. (2020). *La importancia de una metodología BIM*. Revista Cimbra 417,1-68. <https://www.yumpu.com/es/document/read/63694751/cimbra-417-especial-digital>
- Carrasco, C., Lombillo, I., Balbás, F.J., Aranda, J.R., & Villalta, K. (2023). *Building Information Modeling (BIM 6D) and Its Application to Thermal Loads Calculation in Retrofitting*. Buildings 2023, 13(8), 1901. <https://doi.org/10.3390/buildings13081901>
- Córdova, Y.P., Gutiérrez, D.C., & Mendoza, A.B. (2021). *Gestión energética mediante la aplicación de la domótica en instalaciones eléctricas*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/187528>
- Cucho, A. (2018). *Análisis bioclimático de una edificación empleando herramientas y metodología BIM*. [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/13394>
- Dorregaray, G. (2008). *Diseño del sistema de aire acondicionado de una Oficina zonal pública en Pucallpa*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio digital. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/879>
- Eastman, C., Fisher, D., Lafue, G., Lividini, J., Stoker, D., & Yessios, C. (1974). *An Outline of the Building Description System*. <https://eric.ed.gov/?id=ED113833>
- Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. (3era ed.). <https://doi.org/10.1002/9780470261309>

- Fraile V., J. y Gago C, A. (2012). *Iluminación con Tecnología LED*. Ediciones Paraninfo.
- Ibáñez, A., Herrera, D. (2022). *Guía de Implementación BIM Enfocada en la Dimensión 6D*. [Tesis de grado, Universidad Santo Tomas]. Repositorio digital. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/42882>
- IBM (s/f). *¿Qué es un digital twin?* <https://www.ibm.com/mx-es/topics/what-is-a-digital-twin>
- Morea, J. & Zaragoza, J. (2015). *Guía práctica para la implantación de entornos BIM en despachos de arquitectura técnica*. Editorial Fe d' erratas.
- Ortega, D., Trujillo J.J, & Osorio, C.C. (s/f). *Implementación BIM para el análisis de eficiencia energética en espacios educativos en Colombia*. [Tesis de grado. Universidad Libre]. Repositorio digital. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/25592>
- Polar, J.P., Quea, R.W., & Mamani, D. (2022). *Análisis del comportamiento energético de una vivienda social mediante la integración BIM, para zonas de friaje sobre los 3800 msnm ubicados en la Región Puno*. [Tesis de grado, Universidad Peruana La Unión]. Repositorio de tesis. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/6022>
- Poves, J. (2022). *Eficiencia energética del sistema eléctrico de iluminación y su influencia en el análisis de costos de energía de la Municipalidad Distrital de Orcotuna - Concepción*. [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. Repositorio Institucional Continental. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12275>

- Purohit, V. (2018). *Application of 6D BIM in Designing of Energy Efficient Building*. [Tesis de maestría, Pandit Deendayal Petroleum University]. <http://ir.pdpu.ac.in:8080/xmlui/handle/123456789/45>
- Perú. Reglamento Nacional de Edificaciones. EM 110. (2014). *Confort térmico y lumínico con eficiencia energética*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Soto, O. (2017). *Simulación energética BIM mejores prácticas para la eficiencia energética en edificios de viviendas plurifamiliares*. [Tesis de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. Repositorio digital. <https://repositorio.upct.es/handle/10317/8298>
- Yanqui, J.H. (2020). *Diseño de un sistema de iluminación eficiente para su implementación en el mejoramiento de la carretera variante de Uchumayo tramo III*. [Tesis de grado, Universidad Católica Santa María]. Repositorio digital. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9887>
- Zelada, H. (2019). *Optimización del consumo de energía eléctrica utilizando un sistema automático de control aplicado a sistemas de refrigeración industrial*. [Tesis de grado, Universidad de Piura]. Repositorio institucional. <https://pirhua.udep.edu.pe/items/93c96f1a-5525-41d6-b506-4bc39806379f>