

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL  
SISTEMA ELÉCTRICO DEL HANGAR 6 EN AEROMAN**

PRESENTADO POR:

**JORGE ALBERTO AMAYA DÍAZ**

**GABRIELA ESTEFANY FLORES CABRERA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, NOVIEMBRE 2021

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR:

**ING. ARMANDO MARTÍNEZ CALDERÓN**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

Título:

**ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL  
SISTEMA ELÉCTRICO DEL HANGAR 6 EN AEROMAN**

Presentado por:

**JORGE ALBERTO AMAYA DÍAZ**

**GABRIELA ESTEFANY FLORES CABRERA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ**

SAN SALVADOR, NOVIEMBRE DE 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ**

  
Firma

## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, lunes 11 de octubre de 2021, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 2:00 p.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Armando Martínez Calderón  
Director

  
Firma

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

por   
Firma



Y, con el Honorable Jurado de Evaluación integrado por las personas siguientes:

- ING. JOSE MIGUEL HERNANDEZ  
(Docente Asesor)

  
Firma

- DR. CARLOS OSMIN POCASANGRE JIMENEZ

  
Firma

- - ING. JOSE ROBERTO RAMOS LOPEZ

  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ESTUDIO Y ANÁLISIS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DEL  
HANGAR 6 EN AEROMAN

A cargo de los Bachilleres:

- AMAYA DÍAZ JORGE ALBERTO

- FLORES CABRERA GABRIELA ESTEFANY

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 7.5

( *Aríete punto cinco* )

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia; gracias a ellos, y en especial a mis padres, he logrado importantes objetivos en mi vida como culminar el desarrollo de mi trabajo de graduación.

El amor recibido, la dedicación y la paciencia con la que cada día se preocupaban mis padres por el avance de mi carrera universitaria, es simplemente único y ha dejado huella en mi persona.

Gracias a los catedráticos que me transmitieron su conocimiento para que yo pudiera tener las herramientas básicas para mejorar como profesional.

También quiero agradecer a mi compañera de trabajo de graduación porque sin su esfuerzo y apoyo, nada de esto sería posible.

Gracias a la vida por este nuevo triunfo, gracias a todas las personas que formaron parte de este gran recorrido, que me apoyaron y creyeron en la realización de este trabajo de graduación.

**JORGE ALBERTO AMAYA DÍAZ**

Le dedico este trabajo principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme la fuerza para finalizar este proceso con éxito.

A mi mami, Edi. Gracias mami por apoyarme toda la vida, por siempre llevarme en tus oraciones y enseñarme que con Dios a mi lado nada es imposible. Te amo mami.

A mi papi, Julio. Quien ha sido siempre mi mayor inspiración, y mi gran motivador a lograr todo lo que me proponga. Gracias por cultivarme los valores y principios que me han puesto donde estoy.

A mis hermanos, Kevin y Julio, por animarme y siempre estar para mí en las buenas y en las malas. Gracias por ser mis confidentes y por el apoyo moral.

A David Sosa, mi compañero incondicional en esta etapa final, gracias amor, por tu apoyo y por darme paz en los momentos más duros.

A mi abuelo Roberto, que fue el mejor consejero y quien me llevaba en sus oraciones cada día, hasta el cielo mi viejito. También a mi abuela Carmen, a mi tía Eva, quienes me apoyaron cuando más lo necesite.

A las personas del rubro aeronautico que más me apoyaron en la realización de este trabajo, en especial al Ing. Cesar Galdámez, por su paciencia y por guiarme en este proceso.

A mis amigos y compañeros de carrera, porque todos en algún momento aportaron un granito de arena para lograr este sueño. Gracias por la amistad brindada en todo momento.

A mis compañeras/os de oficina, por su apoyo moral, palabras de aliento y su amistad. En especial a Kevin, Gaby y Ale, por apoyarme y guiarme en este proceso.

A mi asesor, el Ing. José Miguel Hernández por guiar esta investigación y formar parte de otro objetivo alcanzado.

**GABRIELA ESTEFANY FLORES CABRERA**

## RESUMEN EJECUTIVO

Se presenta un análisis de eficiencia energética orientado al sector industrial, estructurado en cuatro 4 etapas: Levantamiento, Modelamiento y análisis de comportamiento térmico, Propuestas de mejora para la eficiencia energética y Análisis económico de las alternativas.

El énfasis principal está en el diagnóstico energético donde, con el apoyo de la norma ISO 50001 se realiza la recolección y análisis de la información de planta teniendo en cuenta equipos industriales, materiales y dimensiones del edificio bajo estudio, equipos de acondicionamiento de aire, hábitos y prácticas de empleados. Se aplica al caso de estudio del sistema eléctrico del hangar 6 de una empresa dedicada al mantenimiento de aeronaves donde se destaca que el consumo de energía eléctrica es de 1,815.39 kWh/año con un costo de \$286,768.14 y la emisión de dióxido de carbono es de 1,234.47 kg de CO<sub>2</sub>/año; estos datos se contrastan con los obtenidos mediante el software de simulación eQuest, 1,929.80 kWh/año, \$ 302,122.00 y 1,312.26 kg de CO<sub>2</sub>/año, lo cuales muestran notables diferencias pero que son justificables debido a algunas deficiencias del software, como por ejemplo: no poseer una base adecuada de datos climatológicos y no poder agregar eventos externos inesperados.

Se planteó y simuló un conjunto de acciones para implementar en la empresa, tales como: configuración de termostatos, instalación de láminas de control solar (window film), renovación de equipos de planta de aire y establecimiento de horarios para GPU, todo esto con la intención de mejorar la eficiencia energética y los datos obtenidos por simulación sustentan el alcance de este objetivo con un ahorro energético total de hasta 431.6 kWh/año y una reducción de emisiones de 293.49 kg de CO<sub>2</sub>/año. Esto implica una inversión de \$ 72,831.33, una proyección de ahorro de costo anual de \$66,703.00 y un tiempo de retorno de la inversión de 1.09 años.

También, a partir de dichos resultados se obtienen indicadores cuyo valor cuantitativo pretende medir y aportar información sobre el desempeño energético del hangar. Se presenta la razón del consumo energético/superficie del edificio, cuyo valor es de 0.0828 kWh/año/m<sup>2</sup>, el consumo energético/número de empleados que es igual a 4.8245 kWh/año/empleador, consumo energético/horas trabajadas igual a 0.2644 kWh/año/h/año y la razón de emisión anual de CO<sub>2</sub> por empleado que es igual a 3.2807 kg de CO<sub>2</sub>/año/empleador. Estos indicadores proyectados disminuyen conforme se aplica cada una de las mejoras propuestas, de las cuales la tercera y cuarta presentan una reducción más evidente y por lo tanto un mayor desempeño energético del sistema, que a su vez conllevan un mejoramiento en la sostenibilidad medioambiental.

## ÍNDICE

RESUMEN EJECUTIVO .....	2
ÍNDICE .....	4
ÍNDICE DE IMÁGENES.....	6
ÍNDICE DE TABLAS.....	7
INTRODUCCIÓN.....	1
DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS .....	2
CAPÍTULO I: GENERALIDADES .....	4
1.1 Objetivos del Proyecto .....	4
1.2 Justificación.....	5
1.3 Planteamiento del problema .....	6
1.4 Metodología.....	7
CAPÍTULO II. CONTENIDO CONCEPTUAL.....	8
2.1 Eficiencia energética .....	8
2.2 Importancia de la eficiencia energética.....	8
2.3 Historia de la eficiencia energética .....	9
2.4 Eficiencia Energética en El Salvador.....	13
2.5 Sistema de simulación de energía .....	16
2.6 Eficiencia energética en edificios.....	18
2.7 Auditoría Energética .....	22
CAPÍTULO III. MARCO LEGAL.....	26
3.1 Normas ISO .....	27
3.2 Implementación ISO 50001.....	31
CAPÍTULO IV. MODELADO Y SIMULACIÓN DEL HANGAR 6.....	41
4.1 Software eQuest .....	41
4.2 Situación actual de la empresa .....	42
4.3 Equipos.....	46
4.4 Consumo de equipos.....	51
4.5 Simulación eQuest. ....	53
4.6 Análisis del consumo de energía.....	65

CAPÍTULO V. PROPUESTAS DE AHORRO ENERGÉTICO .....	68
5.1 Configuración de termostatos. ....	68
5.2 Instalación de láminas de control solar (Window film). ....	71
5.3 Renovación de equipos. ....	74
5.4 Establecer horarios para el GPU. ....	77
5.5 Resumen de propuestas. ....	79
5.6 Emisiones de CO <sub>2</sub> . ....	81
5.7 Indicadores de desempeño energético .....	83
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN .....	85
BIBLIOGRAFÍA.....	89

## ÍNDICE DE IMÁGENES

Figure 1. Combustibles más utilizados: carbón, gas y petróleo.....	10
Figure 2. Energías renovables: Biomasa, eólica, solar e hidráulica.....	12
Figure 3. Flujo de datos de una simulación. ....	17
Figure 4 Ventilación en edificios .....	19
Figure 5 Luminaria LED- Iluminación eficiente .....	20
Figure 6. Esquema de mejora continua ISO 50001.....	29
Figure 7. Resultados implementación ISO 50001 .....	39
Figure 8. Porcentajes de cumplimiento ISO 50001.....	40
Figure 9. Hangar #6 AEROINDUSTRIA .....	44
Figure 10. Vista AEROINDUSTRIA Google Maps.....	44
Figure 11. Distribución del edificio en eQuest.....	45
Figure 12. Equipos de aires acondicionados en oficinas Hangar 6 .....	46
Figure 13. Iluminarias en Hangar 6 .....	47
Figure 14. GPU .....	48
Figure 15. ASU instalado .....	49
Figure 16. Planta de Aire.....	50
Figure 17. Ventilador de techo en Hangar 6.....	51
Figure 18. Modelado 3D hangar 6, eQuest.....	53
Figure 19 información general.....	54
Figure 20 huella del edificio .....	55
Figure 21. Materiales de construcción.....	56
Figure 22 Definición de puertas.....	57
Figure 23 Definición de ventanas.....	58
Figure 24. Definición de áreas .....	59
Figure 25. Definición de zonas con equipos de aires acondicionados.....	60
Figure 26. Cargas por área .....	61
Figure 27. Información de horarios .....	62
Figure 28. Temperatura y flujos de aire.....	63
Figure 29. Distribución de acuerdo con los horarios de uso.....	64
Figure 30. Cargos de servicio eléctrico .....	65
Figure 31. Consumo eléctrico eQuest.....	66
Figure 32. Consumo real VS Consumo eQuest .....	67
Figure 33. Distribución del consumo eléctrico Hangar 6 .....	67
Figure 34. Nueva temperatura en aires acondicionados, eQuest .....	69
Figure 35. Comparación costo energético anual aplicando mejora. ....	70
Figure 36. Ahorro con Filme para ventanas, eQuest .....	73
Figure 37. Cambio de carga de equipos para simulación .....	74
Figure 38. Simulación eQuest de renovación de equipos.....	75
Figure 39. Equipo York JROA. Precio \$14,000.....	77
Figure 40. Ahorro por establecimiento de horarios para GPU .....	78
Figure 41. Resumen de consumos eléctricos eQuest. ....	80

## ÍNDICE DE TABLAS

Table 1. Objetivos de una auditoria energética.....	24
Table 2. Requerimientos Norma ISO 50001.....	30
Table 3. Implementación ISO 50001.....	39
Table 4. Año de construcción de hangares AEROINDUSTRIA.....	43
Table 5. Consumos de equipos.....	52
Table 6. Horas de uso de equipos.....	52
Table 7. Porcentajes de área Hangar 6.....	59
Table 8. Consumos tabulados.....	66
Table 9. Especificaciones técnicas de láminas de control solar.....	72
Table 10. Resumen de inversión de láminas de control solar.....	74
Tabla 11. Resumen de propuestas.....	79
Tabla 12. Comparación de valores reales vs resultados del diseño base y resultados de la implementación de las mejoras propuestas.....	81
Tabla 13. Emisiones de CO <sub>2</sub> anual del edificio.....	82
Tabla 14. Reducciones esperadas de emisión de CO <sub>2</sub> anual del edificio por cada propuesta implementada.....	82
Tabla 15. Indicadores de desempeño energético actuales real y simulado.....	83
Tabla 16. Indicadores de desempeño energético obtenidos al implementar cada propuesta de ahorro.....	83

## INTRODUCCIÓN

Un sistema de gestión energética representa un conjunto de requerimientos interrelacionados entre sí para lograr la mejora sostenida y continua del desempeño energético a través de los resultados de acciones implementadas en todo el sistema.

Debido a lo anterior es que este proyecto busca optimizar el uso de los recursos a través de la utilización de una herramienta tecnológica, el software eQUEST, software que permite desarrollar simulaciones dinámicas utilizando modelaciones matemáticas tomando en cuenta la arquitectura y materialidad de todos los componentes de un edificio.

Posterior al análisis, se simulan nuevas configuraciones con mejoramiento en su envolvente, sistemas de acondicionamiento de aire y controles, así como también sistemas de iluminación.

El proyecto propone hacer un análisis energético enfocado únicamente al sistema eléctrico del Hangar 6 AEROINDUSTRIA, para identificar su potencial de ahorro energético, recomendar soluciones y generar una propuesta de gestión de la energía con la entrega de un plan de eficiencia energética.

Utilizando la norma 50001 GESTIÓN DE LA ENERGÍA. Esta norma es aplicable en todo tipo de empresas y organización independientes de su tamaño o actividad. El objetivo principal de esta norma es integrar la gestión de la energía de la empresa, abarcando desde la compra de energía y materias primas hasta las medidas a adoptar en la empresa para promover el ahorro energético.

## DEFINICIONES, ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

- **Corriente:** Desplazamiento de electrones portadores de carga eléctrica a lo largo de un material conductor entre cuyos extremos se aplica una diferencia de potencial.
- **Tensión:** o diferencia de potencial, es una magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial se unen mediante un conductor y se producirá un flujo de electrones.
- **Auditoria Energética:** es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio proceso o sistema con el objetivo de comprender la energía dinámica del sistema bajo estudio. Normalmente una auditoria energética se lleva a cabo para buscar oportunidades para reducir la cantidad de energía de entrada en el Sistema sin afectar negativamente la salida.
- **Eficiencia:** Funcionamiento en las condiciones nominales especificados en los datos de placa.
- **Eficiencia Energética:** Es la capacidad para usar menos energía para producir la misma cantidad de iluminación, calor, transporte y otros servicios energéticos.
- **Auditoria Energética:** Es la aplicación de un conjunto de técnicas, que permiten determinar el grado de eficiencia con la que es utilizada la energía.
- **Normas ISO:** Son documentos que especifican requerimientos para garantizar que los productos o servicios que ofrecen las organizaciones cumplan con sus objetivos.
- **Gestión Energética:** Es un conjunto de medidas planificadas y ejecutadas para conseguir el objetivo de utilizar la mínima cantidad posible de energía.
- **SGEn:** *Sistema de Gestión de la energía.* Proporciona un marco para la mejora de la gestión de la energía en las organizaciones.
- **HVAC:** Se refiere a la renovación del aire y a su tratamiento para conferirle unas condiciones de salubridad (es decir, condiciones de pureza, acondicionamiento para conseguir un aire apto para la respiración), temperatura y humedad confortables para las personas.

- **LEED:** Certificación LEED (Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental, por sus siglas en inglés) es un sistema de certificación con reconocimiento internacional para edificios sustentables creado por el Consejo de Edificación Sustentable de Estados Unidos.
- **SBEM:** Software de modelado de energía aprobado por el gobierno de Estados Unidos para evaluaciones de energía no doméstica.
- **IDEn:** Identificador de desempeño energético

## CAPÍTULO I: GENERALIDADES

### 1.1 Objetivos del Proyecto

#### General

- Diagnosticar el balance energético e implementar alternativas de eficiencia energética en el sistema eléctrico del Hangar 6 de AEROINDUSTRIA.

#### Específicos

- Identificar los consumos y las áreas de uso significativo de energía en el HANGAR 6 de AEROINDUSTRIA que presenta un potencial de mejora en el desempeño energético.
- Identificar los requisitos que se establecen en la norma ISO 50001 y comparar con el cumplimiento actual en el Hangar 6 de AEROINDUSTRIA, para realizar un análisis completo de si cumple o no con la norma.
- Realizar modelos de comportamiento del sistema eléctrico utilizando el software eQuest, para comprender la situación actual en que se encuentra el hangar 6 de AEROINDUSTRIA y sus puntos de mejoras.
- Diseñar una metodología de verificación del sistema de gestión energética que permita identificar de manera anticipada las desviaciones que pudieran impedir alcanzar los objetivos y metas energéticas establecidas.
- Establecer criterios de compra para los productos, equipos o servicios de energía que tienen un impacto significativo sobre el desempeño energético en el Hangar 6 de AEROINDUSTRIA.
- Determinar los costos totales del proyecto y la inversión requerida para la implementación de las mejoras mediante la utilización de eQuest en el Hangar 6 de AEROINDUSTRIA.

## 1.2 Justificación

El consumo de energía puede representar un alto costo económico a las organizaciones, así como también un costo a la sociedad y al planeta, debido a que para tener acceso a esa energía se afecta en diversos grados, al medio ambiente; tales como la contaminación atmosférica, y el cambio climático.

Algunos de los beneficios directos de la administración de la energía son:

- Habilidad de controlar costos de energía
- Mejorar eficiencia de funcionamiento
- Menor intensidad de energía
- Reducir los costos continuamente
- Proyectos de remodelación y mejora más efectivos
- Facilitar el mantenimiento
- Mayor involucramiento de toda la organización

eQuest es una herramienta de análisis del uso de energía de edificios, gratuita y fácil de usar, que proporciona resultados de nivel profesional. Permite a los usuarios realizar un análisis detallado de las tecnologías de diseño de edificios de última generación utilizando las técnicas de simulación de uso de energía de edificios más sofisticados de la actualidad, pero sin requerir una amplia experiencia en el “arte” del modelado de rendimiento de edificios.

Esto se logra combinando un asistente de creación de edificios, un asistente de medición de eficiencia energética (Energy Efficiency Measure EEM) y un módulo de visualización de resultados gráficos con un programa mejorado de simulación de uso de energía de edificios derivado del DOE-2

### 1.3 Planteamiento del problema

La energía es indispensable para el funcionamiento de las organizaciones y generalmente representa un costo significativo.

Actualmente, existe la Eficiencia Energética (EE), como área de la ingeniería y que se define como el “conjunto de acciones que permiten optimizar la relación que existe entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos”. Es decir, reducir la cantidad de energías que se utilizan conservando la calidad y el acceso a bienes y servicios.

Se sabe muy bien que los recursos naturales son finitos y se tienen que preservar, el ahorro de energía es mucho más barato que generar energía renovable, como lo es la energía hidráulica. En el planeta el 20% de la población consume el 80% de la energía.

## 1.4 Metodología

El plan de trabajo de este proyecto consistirá en 4 etapas

- ETAPA I: Levantamiento

Se realizará una recopilación de información general:

- Año de construcción del Hangar y zona climática
- Planos de Arquitectura e Instalaciones.
- Inventario de equipos con potencias nominales.
- Facturas de suministros energéticos.
- Horarios de uso.

- ETAPA II: Modelamiento del Hangar y Análisis de comportamiento térmico.

Con la información recopilada en la etapa I, se modelará el Hangar con ayuda de eQUEST. En esta etapa se caracterizarán las cargas interiores como la iluminación, personas y equipamiento con perfiles de uso horario, semanal y anual. Se considerarán datos climáticos de la zona y obstrucciones solares. Lo que en conjunto permitirá analizar el comportamiento térmico del Hangar 6. El objetivo es determinar sus demandas de calefacción y enfriamiento anual para mantener el grado de confort, así como también determinar la potencia requerida para el caso de diseñar un sistema de climatización.

- ETAPA III: Propuesta de mejoras:

Elaboración y cuantificación de un listado de propuestas a llevar a cabo. Estas propuestas deben reflejar el ahorro que implicaría su aplicación, en términos energéticos (kWh/año), económicos (\$/año) y medioambientales (kg CO<sub>2</sub>/año)

- ETAPA IV: Análisis Económico de las alternativas

En esta etapa se buscará definir cuál es la configuración óptima para un buen uso de los recursos. Para poder determinar lo anterior fue necesario más allá de conocer en cuánto disminuían sus demandas energéticas por mejoramiento en la envolvente.

## CAPÍTULO II. CONTENIDO CONCEPTUAL

### 2.1 Eficiencia energética

La eficiencia es una relación que busca obtener los mismos beneficios o productos de salida con menos insumos. Tradicionalmente este término se ha utilizado como parámetro para la determinación de la productividad de las empresas de bienes y servicios, en la búsqueda de alternativas para mejorar sus procesos. En el sector eléctrico, la EE nace de la necesidad de disminuir el consumo creciente y los efectos que tienen las emisiones de gases efecto invernadero sobre el ambiente por la producción de energía eléctrica a base de fuentes no renovables.

En torno al tema de la energía y han desarrollado dos alternativas para disminuir estas emisiones:

- Sustitución de las fuentes de energía no renovables (carbón, diésel y otras) por las conocidas como energías verdes o alternativas (hídrica, eólica, solar y otras)
- Disminución del consumo de energía manteniendo los mismos niveles de bienestar de sus clientes, conocida como EE.

La incorporación de la eficiencia energética significa mantener el mismo servicio con menos consumo, y con mejores patrones de calidad y seguridad en el suministro de energía. Esto implica reducir las pérdidas que se producen en toda transformación o proceso, mediante la incorporación de mejores tecnologías, promoviendo al mismo tiempo mejores hábitos de uso de la energía a fin de posibilitar y soportar los cambios tecnológicos.

### 2.2 Importancia de la eficiencia energética

La energía es imprescindible para el desarrollo de nuestro entorno, gracias a ella podemos realizar gran parte de la actividad humana en el mundo desarrollado. Es la principal fuente de bienestar, y al mismo tiempo, la principal causa de problemas medioambientales para el planeta y el desencadenante de problemas económicos.

Las fuentes de energía más utilizadas en el mundo desarrollado están basadas en el uso de combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas), estos combustibles fósiles se encuentran en zonas muy determinadas del planeta, son reservas agotables y generan mucha dependencia de aquellos países que las tienen.

La aplicación de la eficiencia energética es la acción más efectiva en el corto y mediano plazo para la optimización en el uso de la energía. Al mismo tiempo es el camino más eficaz para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono) a la atmósfera, y por tanto limitar el calentamiento global del planeta.

La eficiencia energética cuenta con tres grandes grupos de acciones, encaminadas al lado de la oferta y el lado de la demanda:

- **Eficiencia energética por el lado de la demanda:** Incluye una amplia gama de acciones y prácticas dirigidas a reducir la demanda de electricidad y/o intentar desviar las demandas de horas punta a horas de menor consumo.  
Esta medida es una gran herramienta muy importante para ayudar a equilibrar la oferta y la demanda en los mercados de electricidad, reducir la volatilidad de los precios, aumentar la fiabilidad y la seguridad del sistema, racionalizar la inversión en infraestructuras de suministro de electricidad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Eficiencia energética por el lado de la oferta:** Se refiere al conjunto de medidas adoptadas para garantizar la eficiencia a lo largo de la cadena de suministro de electricidad. Las empresas intentan encontrar medios para realizar un uso más.

### 2.3 Historia de la eficiencia energética

A continuación, se muestra de forma breve la historia de cómo fueron evolucionando los conceptos hasta llegar al de eficiencia energética que hoy en día se maneja de manera habitual en la industria, en especial en los países más industrializados como EEUU y las naciones europeas.

El mundo se ha desarrollado basándose en la obtención de energía procedente de los combustibles fósiles. A partir de la revolución industrial, a finales del siglo XVIII, el consumo de energía se incrementa exponencialmente, siendo inicialmente el carbón y el gas los más usados.

Los factores que más han influido en el aumento de la demanda energética han sido:

- El crecimiento demográfico que durante el siglo XX ha experimentado el planeta.
- El crecimiento del nivel de comodidad demandado por la sociedad, cuyo aumento lleva parejo un incremento de la demanda energética.
- La incorporación del petróleo como combustible más usado a partir de 1964, el desarrollo de la industria de manufactura, transportes, alimentación y cualquier otro tipo de bienes de consumo.



*Figure 1. Combustibles más utilizados: carbón, gas y petróleo*

La alternativa de la EE tiene su origen en la década de los 70, durante la crisis petrolera, cuando los países importadores de petróleo y sus derivados se vieron en la necesidad de disminuir el consumo de los combustibles. Adicionalmente, en 1997 con el Protocolo de Kioto sobre el Cambio Climático se hace un mayor énfasis en lograr la reducción de las emisiones de los seis gases de efecto invernadero, a nivel mundial: el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gas metano ( $\text{CH}_4$ ), Óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y Hexafluoruro de Azufre ( $\text{SF}_6$ ). Adicional a la reducción de estas emisiones la EE introduce otros beneficios como postergar las inversiones por la ampliación del sistema eléctrico, pérdidas evitadas e incluso mejorar la seguridad del

suministro eléctrico. Esfuerzos importantes se han realizado en este sector en torno al tema. En general estos esfuerzos se han dirigido a:

- Incremento del uso de tecnologías consideradas más eficientes en consumidores finales.
- La educación de los consumidores finales sobre la EE, el ahorro de energía y los beneficios derivados en relación al medio ambiente.
- La implementación de medidas fiscales para promover el uso de equipos de consumo eficiente y de normativas, que establecen las condiciones que deben cumplir el diseño de las nuevas edificaciones para estar en armonía con el medio ambiente y con un menor y más eficiente consumo de energía.
- La promoción de la generación distribuida y local ubicada en áreas cercanas a los consumidores finales, disminuyendo las pérdidas debidas al transporte al transporte de energía.

El origen de la palabra sostenibilidad se sitúa en 1987 con el informe socio-económico Brundtland elaborado para la ONU, donde se utilizó por primera vez el término desarrollo sostenible, definido como “Satisfacer las necesidades de las generaciones presentes sin comprometer las posibilidades de las del futuro para atender sus propias necesidades”. El período de la década de 1980 hasta mediados de los 90 vio el desarrollo de la gestión de la energía y dicho término fue reemplazando lentamente al concepto de la mera “conservación de la energía”. Tímidamente comenzó el desarrollo y la aplicación de lo que se dio en llamar “modelos de gestión eficaz”.

Gracias a la implementación de los ordenadores, surgieron también el monitoreo y la focalización. Los sistemas computarizados podrían tener en cuenta factores relevantes tales como calentar en función de la temperatura ambiente y/o los niveles de producción. Durante esta etapa apareció el mercado de la “consultoría de gestión energética” y con él, ciertas empresas que ayudaban a otras a establecer sistemas de M & F, realizar auditorías, ejecutar proyectos y ofrecer programas de comunicación y sensibilización. El medio ambiente comenzó a surgir como un problema en este período y muchas empresas incorporaron la gestión de la energía aplicándola a iniciativas ambientales más amplias, pero sin profundizar mucho.

Además, tras el terremoto y tsunami de Japón en marzo del 2011, y el consiguiente accidente nuclear en la central de Fukushima, se vuelve a poner en entredicho la seguridad de las centrales nucleares y algunos países ya han mostrado su rechazo a las mismas. Lo cual lleva a pensar que en el futuro se necesitarán nuevas fuentes de energía para poder mantener la demanda, que sin duda seguirá creciendo.

En la actualidad, al menos en la parte del mundo desarrollado, ya se tiene consciencia de las necesidades de ahorro de energía. Empieza a ser común el uso de fuentes de energía alternativa consideradas más limpias, como la energía solar, eólica, la biomasa o la hidráulica.



*Figure 2. Energías renovables: Biomasa, eólica, solar e hidráulica*

En cuanto al consumo correspondiente a los edificios. Este representa emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, que provienen principalmente de la climatización y, en general, del uso de energía de los edificios, tanto públicos como privados. Por tanto, podemos afirmar que la eficiencia energética de los edificios es un factor clave para la sostenibilidad del planeta.

Para conseguir edificios más sostenibles se debe reducir la demanda de la energía y esto se logra actuando sobre dos factores:

- El uso de instalaciones más eficientes y que, por tanto, no precisen de un gran consumo para lograr la habitabilidad y confort que se necesita en los edificios.
- Reducir las transmisiones de energía y la transferencia de humedad entre las zonas habitables de los edificios con aquellas partes no habitables o con el exterior, lo cual se consigue mejorando su envolvente térmica que conlleva la reducción de pérdidas de energía por climatización. Es decir, aislando.

Actualmente, aunque se pueda pasar por alto, la eficiencia energética ha pasado a formar parte de la vida cotidiana, en algunos elementos incluso se demanda que los productos sean más eficientes: electrodomésticos, sistemas de climatización, vehículos, dosificadores para reducir el consumo de agua, luces, etc.

## 2.4 Eficiencia Energética en El Salvador

A partir de la creación del Consejo Nacional de Energía (CNE) por Decreto Legislativo del año 2007, se inició la coordinación con todos los sectores relacionados al tema energético y en particular, con iniciativas de eficiencia energética en los diferentes sectores nacionales. Con la creación y puesta en marcha del CNE se establece en el país una solución institucional para unificar los aspectos relacionados con la formulación y coordinación de la política energética nacional, incluyendo temas de eficiencia y ahorro de energía.

La nueva Política Energética de El Salvador (2010-2014) establece las líneas estratégicas:

- Garantizar un abastecimiento de energía oportuno, continuo, de calidad y a precios razonables.
- Fortalecer el marco institucional y legar para recuperar el papel del Estado en el sector energético.
- Reducir la independencia energética del petróleo y sus productos derivados, fomentando las fuentes de energía renovables, el uso racional de energía y la innovación tecnológica.
- Minimizar los impactos ambientales y sociales de los proyectos energéticos, así como aquellos que propician el cambio climático.

Con base al Decreto Ejecutivo relativo a la Política de Ahorro y Austeridad del Sector Público el CNE elaboró Plan de Acción de Ahorro y Uso Racional de la Energía en El Salvador (2012):

- Conformación de Comités de Eficiencia Energética en el Sector Público, que trabajan en la ejecución de medidas de eficiencia energética y su seguimiento.
- Implementación de medidas de eficiencia energética en hospitales seleccionados para ser replicadas por el Ministerio de Salud en otros hospitales.
- Elaboración y entrega de materiales educativos para fomentar el ahorro y uso eficiente de energía a los ciudadanos, explicando medidas sencillas que permitan el uso eficiente de la electricidad, GLP y combustibles.
- Fortalecer los mecanismos de control de calidad y cantidad de combustibles en gasolineras.
- Creación de Unidad de Gestión de Tráfico en el Viceministerio de Transporte y renovación del sistema de semáforos con el objetivo de ordenar y descongestionar el tránsito vehicular en las arterias de al Área Metropolitana de San Salvador.
- Elaboración de anteproyecto de Ley de Eficiencia Energética.
- Impulsar a la eficiencia energética mediante el Programa El Salvador Ahorra Energía para la promoción y coordinación de acciones de en todos los sectores, privado y público.
- Apoyo financiero para la implementación de proyectos empresariales de eficiencia energética: o El banco de desarrollo BANDESAL tiene una línea de crédito de USD 19 millones para proyectos de energía sostenible y de USD 500,000 de fondos no reembolsables para estudios técnicos; o Fondos para proyectos de pequeña y mediana escala (ej. Banco Hipotecario; USD 100,000; y FONDEPRO)
- Impulso de anteproyecto de biocombustibles; Implementación de proyecto piloto de uso de etanol

Para El Salvador, la eficiencia en el uso de la energía es el componente fundamental de la Política Energética, dado la limitada oferta de recursos energéticos primarios con la que el país cuenta y la fuerte dependencia de los derivados del petróleo para la generación de energía eléctrica y el transporte.

Adicionalmente, llevará a cabo una estrategia participativa y sostenible, favoreciendo el desarrollo de proyectos, uso de tecnologías eficientes, la adopción de hábitos y mejores prácticas en el manejo de la energía.

Entre las prioridades de este lineamiento estratégico se destacan la necesidad de contar con un fondo para la implementación de medidas, monitoreo, adquisición de equipos, creación de capacidades técnicas, entre otras acciones; además, el apoyo a la creación de leyes y normas con sus respectivos reglamentos, programas de etiquetado, verificación y el control del cumplimiento de la obligatoriedad de las normas.

La adopción de mejores prácticas, actitudes, hábitos y tecnologías más eficientes involucra cambios estructurales basados en la modificación de las conductas individuales mediante programas que contemplen una estrategia cultural, educacional y de difusión, cuyo fin último sea el cambio hacia una cultura de uso eficiente y racional de la energía.

#### 2.4.1 Demanda energética en la industria en El Salvador

El Salvador cuenta con energía primaria proveniente de recursos hídricos (7%) y geotérmicos (27%), biomasa (leña y residuos vegetales; 36%) e importaciones de petróleo (30%). Diferentes energéticos provienen de la energía primaria a través distintos centros de transformación, denominados energías secundarias. En El Salvador las fuentes de energía secundaria son el diésel (32%), gasolina (21%), GLP (7%), bunker/fuel-oil (16%), kerosene (6%) y electricidad (18%). La gasolina es utilizada para la generación de electricidad. Los sectores público y comercial representan aproximadamente 6% del consumo primario de energía.

Este aspecto depende en gran medida de la coyuntura nacional. La demanda de energía de El Salvador se recupera paulatinamente tras una baja acentuada por la parálisis de la economía por las cuarentenas para frenar la pandemia del covid-19 entre abril y junio de 2020.

De acuerdo con fuentes del sector, el consumo de electricidad de la industria tuvo una caída de hasta el 25 % y se va recuperando en la medida que las empresas reanudan labores.

Las estadísticas de la Unidad de Transacciones (UT) destacan que la demanda nacional (total) en los ocho meses antes de la pandemia mantenía un promedio de 520 gigawat-

hora (GWh), pero en abril de 2020 ésta se desplomó hasta los 443.19 GWh, es decir, cerca un 15 % menos.

El sector energético cerró 2019 con un incremento de capacidad en fuentes renovables, mientras se avanza en nuevas tecnologías como el parque eólico que se desarrolla en Metapán.

De acuerdo con la Superintendencia de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET), solo en 2019 hubo un incremento en generación renovable de 221.69 megavatios hora, de los que el 87 % corresponde a granjas solares.

Actualmente hay un interés por parte de las empresas de mejorar su eficiencia energética, no solo por la mejora de sus sistemas sino por la instalación de paneles solares en techos industriales.

Las cifras oficiales indican que la industria es el principal consumidor de energía con cerca del 40% de la oferta, mientras que el acceso a la energía eléctrica a escala nacional es del 97.6%, solo en el Área Metropolitana de San Salvador la cobertura es del 99.1%.

## 2.5 Sistema de simulación de energía

El objetivo de las simulaciones energéticas para edificios es optimizar el rendimiento de estos, aumentar la eficiencia y reducir el consumo de energía. Las evaluaciones experimentales de las opciones de eficiencia energética en los edificios son caras y requieren mucho tiempo, por lo tanto, los ingenieros y arquitectos utilizan herramientas de simulación energética para simular el rendimiento energético de los edificios.

Al proporcionar información sobre el edificio, el material envolvente del edificio, horarios de operación, ubicación del edificio y características climáticas, el usuario puede ver como las alternativas de diseño del edificio afectan su rendimiento energético y puede elegir el diseño más eficiente con menor impacto ambiental y costes operativos mínimos. Estos sistemas sirven para diseñar un edificio energéticamente eficiente o analizar un edificio existente para modernizarlo, la demanda debe evaluarse para recomendar medidas que reduzcan el consumo de energía.

El análisis de consumo de energía de los edificios es difícil ya que requiere desarrollar modelos matemáticos y/o físicos que caracterizan las interacciones tanto dentro del

edificio (características de construcción y sistema de aire acondicionado) y fuera del edificio (climatología, infiltraciones de aire).

Además, es necesario incluir información sobre los criterios de rendimiento del edificio, por ejemplo, la temperatura y la humedad de los espacios. Por lo tanto, es necesario comprender los principios básicos de simulación energética de edificios, las más importante es: cualquier resultado de simulación puede ser tan preciso como la entrada de datos del edificio.

Como se muestra en la figura 3, las entradas están relacionadas principalmente con el modelado 3D del edificio, cargas internas, sistemas y componentes HVAC, clima y ubicación del edificio, horarios y parámetros de simulación específicos.

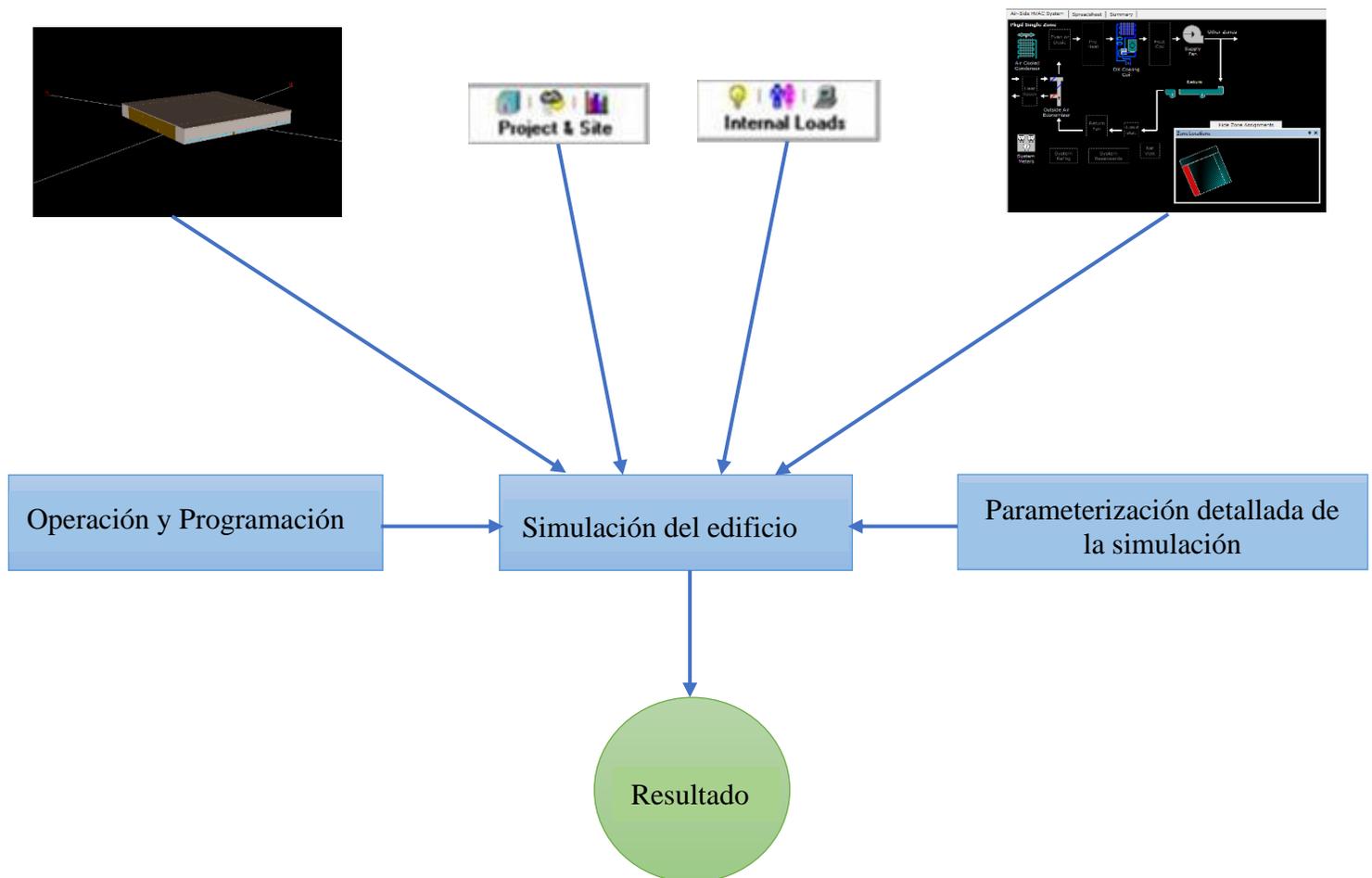


Figure 3. Flujo de datos de una simulación.

Una simulación de energía se basa en termodinámica transitoria, transferencia de calor, principios mecánicos y supuestos. Dado que los procesos térmicos en un edificio son complejos, los programas de simulación de energía aproximan sus predicciones usando ecuaciones y suposición. Por lo tanto, los resultados pueden ser inexactos, si ciertas suposiciones no son realizadas en la simulación. Sin embargo, aplicar la simulación al diseño del edificio es difícil ya que las herramientas para lograrlo son complicadas.

## 2.6 Eficiencia energética en edificios

Un edificio puede ser visto como una caja gigante cuya misión es proteger su contenido de las condiciones climáticas, tales como la temperatura exterior, viento, lluvia, etc.

El confort dentro de un edificio depende principalmente de dos factores: la temperatura del interior y la humedad. Se sabe que la temperatura más alta (o más baja) junto con la humedad más alta (o más baja) son las peores condiciones para conseguir dicho confort. La cubierta exterior de un edificio, llamada también envolvente, trabaja como un intercambiador con las condiciones climáticas externas, tomando energía térmica debido a la exposición de los rayos solares y transformándose en energía térmica al exterior debido a la ventilación o a un mal revestimiento.

La envolvente, además de tener la misión de envolver y proteger el edificio, debería permitir la respiración con el fin de evitar la humedad interior y alcanzar un equilibrio adecuado entre las ganancias y las pérdidas térmicas.

Para lograr esto, se debe usar estrategias de diseño pasivo y de diseño activo. El diseño pasivo, hace referencia a aquella arquitectura que considera el clima y el contexto como condicionantes preponderantes para el proceso de diseño. Esto implica:

- Controlar la ventilación natural, a fin de permitir la renovación de aire y enfriar espacios en época seca. Controlar también la ventilación en época lluviosa, de manera que permita mantener un aire limpio, sin que afecte la temperatura interior. Esto implica reducción de energía requerida para sistemas de aire acondicionado.



Figure 4 Ventilación en edificios

- Usar materiales de la envolvente térmica o “piel” del edificio que permita, según sean las condiciones climáticas del entorno, aislar y/o acumular calor en invierno. Además, se debe procurar que esta envolvente sea lo más hermética posible, para evitar pérdidas térmicas en época lluviosa. Un adecuado uso de los materiales en la piel del edificio permite reducir los costos energéticos asociados a sistemas de climatización.

La envolvente térmica de los edificios se compone de:

- Cerramientos opacos: muros, suelos y cubiertas.
- Huecos: vidrios y marcos.
- Puentes térmicos.

El comportamiento energético de cada uno de ellos depende, para efectos de cálculo, de:

- Sus características geométricas.
- Su composición: capas de diferentes materiales que componen el elemento desde el punto de vista constructivo.
- Sus propiedades características: espesor, densidad, conductividad y calor específico. En el caso de las cámaras de aire: espesor y resistencia térmica. En elementos con masa térmica, la transmitancia y la resistencia térmica, se obtienen

a partir del espesor y la conductividad del elemento constructivo. En puentes térmicos, la transmitancia térmica es lineal.

- Los objetos que proyectan sombra sobre cada uno de los cerramientos opacos que componen la envolvente, y que reducen la cantidad de radiación solar que incide sobre los mismos; las protecciones solares -fijas o móviles- en el caso de los huecos.
- En los huecos hay que considerar, la permeabilidad, el factor solar del vidrio y la absorptividad del marco, en función del color del mismo.
- Optimizar el uso de la radiación solar para calentar pasivamente los espacios en invierno y/o controlar el exceso de radiación en época seca para evitar sobrecalentamiento. Esto implica reducción de energía requerida para calefaccionar o enfriar los espacios.
- Las ganancias solares también nos permiten optimizar la iluminación natural para reducir la demanda energética de iluminación artificial.
- Usar artefactos de alta eficiencia energética en iluminación y línea blanca, que permitan ahorrar energía. Si bien estos aspectos no son parte del diseño pasivo como tal, se puede asumir que la elección de estos artefactos, necesarios para habitabilidad y confort, pueden hacer una significativa reducción de la demanda energética.



*Figure 5 Luminaria LED- Iluminación eficiente*

Por diseño activo, se refiere al uso de tecnologías asociadas a las energías renovables no convencionales (ERNC) para la generación de energía en la edificación. Esto significa generación de energía térmica y/o eléctrica (paneles fotovoltaicos, paneles solares térmicos, turbinas eólicas, geotermia, etc.) a partir de los recursos naturales disponibles en el lugar (radiación solar, vientos, agua, biomasa, etc.). Dependiendo de la escala y uso del edificio, requerirá de sistemas de ventilación, calefacción y aire acondicionado. De ser así, se deben usar aquellas tecnologías que demanden la menor energía posible para su operación y mantenimiento.

### 2.6.1 Simulación energética de edificios

Varios autores han sostenido durante décadas que la simulación energética es un poderoso método analítico para la investigación y evaluación del rendimiento energético de los edificios. A continuación, se presentan investigaciones en las que se ha utilizado eQuest:

- En la investigación de Mehta, analizó el rendimiento energético de un edificio LEED en Toronto. En dicho estudio, eQuest se utilizó para comparar el modelo de línea de base y los datos reales de facturas de servicios públicos mediante el uso de datos meteorológicos reales durante un período de dos años. El resultado indicó que la predicción de eQuest estuvo dentro del 0.72% del consumo anual real.
- Fokaides examinó 10 viviendas en Chipre. El rendimiento energético se evaluó en el clima de verano. El SBEM software en línea fue utilizado para la evaluación comercial, que realizó una comparación entre los datos de energía medidos y los resultados del software. Se encontró que el consumo de energía previsto era tres veces mayor que el real.
- Song desarrolló un modelo de una biblioteca universitaria en el norte de China utilizando el software eQuest para analizar el consumo anual del edificio. Se utilizaron datos reales de utilidad y parámetros meteorológicos para realizar el modelo de línea base. Se hizo uso de las variables de control como densidad de potencia, iluminación, ocupación y temperatura de diseño interior para analizar el impacto de estos factores en el consumo energético del edificio. Concluyendo que

el sistema HVAC consumía 49% del total consumido, seguido de la energía que representaba el 35% e iluminación el 15%.

- Baig y Fung presentaron un modelo de construcción de biblioteca en Ontario, Canadá. Calibraron los datos de las facturas de servicios públicos para el periodo de 2012-2014 para predecir una simulación precisa. El modelo básico del edificio se desarrolló en eQuest. La bomba de calor de absorción a base de gas natural (GAHP) era un equipo alternativo de calefacción convencional para la posible conservación de energía y ahorro de costes de combustible contra el costo de la electricidad.

Los resultados concluyeron que la línea base predijo que el consumo de electricidad anual fue de 1.5% menor que el rango real y 7% de la diferencia promedio para el gas natural frente al rango real. Las bombas de calor son un excelente reemplazo de equipos de calefacción convencionales.

- Elzarka presentó un modelo de edificio universitario modernizado en los EE.UU que se había construido originalmente en 1960, y se utilizó el software eQuest para desarrollar el modelo energético del edificio. El usó el cronograma real del edificio para la ocupación, la iluminación y el equipo para analizar el rendimiento energético del edificio mediante la comparación del consumo de energía real. Concluyó que había una discrepancia en el consumo eléctrico mensual entre el resultado previsto y el real, debido a las características de construcción del edificio, servicio del sistema operativo y actividades de los ocupantes.

## 2.7 Auditoría Energética

La auditoría energética consiste en la realización de un estudio completo de un edificio y de sus instalaciones para poder obtener información objetiva sobre la energía consumida por el mismo, de manera que contempla la valoración tanto de aspectos técnicos como económicos que influyen en el consumo energético de todas las instalaciones y de cualquier otro equipo consumidor de energía, siendo su objetivo principal poder comprender como el mismo gestiona dicho consumo, detectar los puntos débiles donde

se pierde o se emplea de forma inadecuada y proponer medidas de mejora que reduzcan el consumo y mejoren la eficiencia energética.

Cada vez con mucha más frecuencia en las últimas décadas, las auditorías energéticas han logrado identificar y reducir las demandas de energía cada día más costosas. Se ha logrado reducir los gastos y avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible.

El objetivo final de una auditoría energética es la identificación de medidas técnicas y administrativas rentables para el ahorro de energía en toda la organización. Sin embargo, para el cumplimiento de este objetivo es preciso plantearse las siguientes metas:

<b>Análisis preliminar de datos</b>	Realizar un análisis preliminar de datos sobre consumo, costos de energía y de producción, para mejorar el entendimiento de los factores que contribuyen a la variación de los índices energéticos de la planta.
<b>Obtención del balance energético global</b>	Es importante la obtención del balance energético global de la planta, así como los balances energéticos de los equipos y las líneas de producción intensivas en consumo de energía para identificar las áreas prioritarias de análisis.
<b>Evaluar volúmenes de ahorro</b>	Para determinar y evaluar económicamente los volúmenes de ahorro alcanzables y las medidas técnicamente aplicables para lograrlo.
<b>Análisis costo/beneficio</b>	Analizar las relaciones entre los costos y beneficios de las diferentes

	determinaciones dentro del contexto financiero y gerencial de la empresa, para poder priorizar su implementación.
<b>Cartera de proyectos</b>	Elaborar una cartera de proyectos de ahorro de energía rentables y desarrollar un plan de acción para la realización de estos, incluyendo metas, fechas y responsabilidades.

*Table 1. Objetivos de una auditoria energética.*

### 2.7.1 Metodología de una auditoria energética.

Es importante definir cuál será el procedimiento para alcanzar los objetivos propuestos, cuál será el conjunto de tareas y método empleado para la recolección, análisis y muestra de resultados. Los pasos más comunes para la realización de una auditoria energética son:

- **Visita preliminar:** Es importante contar con una mirada previa de la magnitud del trabajo a realizar, para lo cual es pertinente una visita preliminar de reconocimiento que permita planear y prepara los recursos y el tiempo requerido para tal fin. En estas visitas se puede tener un panorama inicial de los problemas y en donde enfocar los esfuerzos y equipos de trabajo.
- **Planear los recursos y el tiempo:** En esta etapa se puede hacer una revisión de toda la información que se dispone y se puede identificar claramente la instrumentación necesaria para realizar la toma de datos. En esta etapa de revisan los documentos base para saber el comportamiento del edificio o industria y se planifican los tiempos y recursos requeridos para tal fin.
- **Recopilar datos del sitio:** Los datos necesarios son de consumo mensual de los diferentes energéticos, la producción de la planta durante los mismos periodos, los horarios de operación de las instalaciones, la identificación de los principales consumidores de energía, las características físicas de la planta, el estado general

de los equipos y es muy importante la realización de un inventario que incluya las características y capacidades incluyendo datos de diseño como de operación actual.

- **Toma de mediciones:** Es necesario completar los datos recopilados de la planta, para que se tenga un mejor respaldo técnico de áreas donde la información de las instalaciones no esté disponible. También es necesario comprobar la operación del equipo más importante en términos del consumo para tener una idea objetiva de la eficiencia de las instalaciones.
- **Análisis de datos:** Desarrollar una base de datos de consumos de la planta, calcular los costos de los energéticos, elaborar balances energéticos de la planta y calibrarlos con los datos de facturación disponibles, preparar índices de consumo de energía y evaluar la operación de la planta.
- **Estimación del potencial de ahorro:** Como resultado del análisis de la información y de las propuestas, se calcula el potencial de ahorro en términos de distribución de demanda, energía ahorrada, ahorro económico, gases de efecto invernadero evitados.
- **Presentación del reporte final:** La adecuada presentación de los datos es fundamental ya que es un factor determinante para la puesta en marcha o no de las medidas. Una buena propuesta debe basarse en hipótesis financiero que evalué y planteé inteligentemente las propuestas que mejor reflejen un cambio.

### CAPÍTULO III. MARCO LEGAL

- ***Política Energética de El Salvador (PEN)***

Con un primer intento efectuado en 2007 y que, debido a fallas inherentes y ausencia de contenido, se requiere y elabora en 2011 por el CNE una nueva Política de Energía, que vino a evaluar la Política ya aprobada y cuyo punto central de la política energética es la diversificación de la matriz energética, para reducir la dependencia de la generación térmica, con énfasis en los recursos renovables. Además, proyecta realizar una variedad de acciones que buscan reducir el consumo de energía, mediante la aplicación de medidas de eficiencia energética y reducir o evitar el consumo de productos derivados del petróleo y otros combustibles que son fuertemente utilizados en las plantas termoeléctricas, sistemas de transporte, industrias y comercios diversos, y sistemas residenciales de energía.

- ***Política de Ahorro y austeridad del Sector Público.***

Conocido como el Decreto Ejecutivo n° 78 y emitida por la Presidencia de la República en 2012, esta política nace por mandato del Decreto Legislativo No. 918 (2011), en donde se establece que todas las instituciones que se rigen por la Ley Orgánica de Administración Financiera del Estado quedan obligadas a aplicar la Política de Ahorro y Austeridad del Sector Público que debe ser emitida por el Órgano Ejecutivo. El objetivo de este decreto, tal y como se especifica en su primer artículo es en generar ahorro y que el gasto se ejecute con criterios de austeridad y racionalidad, a efecto de darle cumplimiento a las prioridades y metas establecidas en cada institución. Su alcance son la Dependencias Centralizadas y Descentralizadas del Gobierno de la República, las instituciones y empresas estatales de carácter autónomo inclusive la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa y el Instituto Salvadoreño del Seguro Social; y las entidades e instituciones que se costeen con fondos públicos o que reciban subvención o subsidio del Estado. También las entidades oficiales que se costeen con fondos del Erario o que tengan subvención o subsidio de éste; excepto el Instituto de Garantía de Depósitos, el Órgano Legislativo y el Órgano Judicial. En el artículo 5, literal e), numeral 2), donde se pide el uso racional de los servicios de agua, energía eléctrica y telecomunicaciones y basándose en las recomendaciones del CNE y su ley de creación, se impulsa la conformación del Comité de Eficiencia Energética Institucional, a fin de que éste pueda

coordinar la implementación y adopción de acciones y medidas adicionales para el uso eficiente de la energía eléctrica en las instituciones públicas.

### 3.1 Normas ISO

Las normas ISO son documentos que especifican requerimientos para garantizar que los productos o servicios que ofrecen las organizaciones cumplan con su objetivo. La finalidad de las normas ISO es ordenar la gestión de una empresa en todos sus ámbitos. Están compuestas por guías y estándares que tienen relación con herramientas y sistemas de gestión para cualquier organización. El Organismo Internacional de Estandarización (ISO) establece dichas normas y cuenta con 91 miembros integrados por organismos nacionales de normalización.

Algunas de las ventajas de implementar las normas ISO son las siguientes:

- Satisfacción de las necesidades de los clientes
- Implementación de procesos de mejora continua
- Acceso a nuevos mercados
- Mayores niveles de calidad en el producto o servicio
- Aumento de los niveles de productividad y reducción de costes
- Ventaja competitiva

#### 3.1.1 Norma ISO 50001

ISO 50001 es la norma de gestión de la energía empresarial más utilizada en el mundo. La certificación de un Sistema de Gestión de Energía según la ISO 50001, ayuda a las organizaciones a implementar una política energética y a gestionar adecuadamente los aspectos energéticos derivados de su actividad, como son los servicios, instalaciones, productos, etc. Lo que se traduce en un ahorro real y cuantificable del coste energético en las organizaciones.

El propósito de la Norma ISO 50001 es la mejora del desempeño energético de las organizaciones incluyendo el uso y consumo de la energía así como la mejora de la eficiencia energética mediante la implementación de un conjunto de medidas y procesos. Para cualquier tipo de energía utilizada se puede aplicar esta norma.

### 3.1.2 Estructura de la ISO 50001

La norma ISO facilita a las organizaciones, independientemente de su sector de actividad o su tamaño, una herramienta que permite la reducción de los consumos de energía, los costos financieros asociados y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Su estructura permite su integración con otros sistemas de gestión y existentes en la organización. Al igual que otros estándares ISO, la norma de SGE se enmarca en el ciclo de mejoramiento continuo PDCA (Plan, Do, Check, Act = Planificar, Hacer, Verificar, Actuar)

- Planificar: llevar a cabo una revisión energética y establecer la línea de base, los indicadores de desempeño energético de acuerdo con la política energética de la organización.
- Hacer: Implementar planes de acción con el fin de controlar y mejorar el desempeño energético.
- Verificar: realizar un seguimiento y medición de los procesos en base a los objetivos y políticas energéticas de la organización así como reportar los resultados.
- Actuar: tomar acciones para mejorar en forma continua el desempeño energético.



Figure 6. Esquema de mejora continua ISO 50001

### 3.1.3 Requerimientos de la norma ISO 50001

Medulares	Estructurales
<p>Son los procedimientos necesarios para observar y mejorar el desempeño energético.</p>	<p>Son aquellos que aseguran que las personas de la organización estén conscientes del uso eficiente de la energía. Se obtienen de áreas de apoyo como recursos humanos y comunicaciones.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Revisión energética.</li> <li>• Línea base energética.</li> <li>• Indicadores de desempeño energético.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comunicación</li> <li>• Documentación y registro.</li> <li>• Entrenamiento y sensibilización.</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"><li>• Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción de gestión de la energía.</li><li>• Control operacional.</li><li>• Diseño.</li><li>• Adquisición de servicios de energía, productos, equipos y energía.</li><li>• Seguimiento, mediciones y análisis.</li></ul>	
---	--

Table 2. Requerimientos Norma ISO 50001

### 3.1.4 Importancia de la ISO 50001

Las organizaciones preocupadas por su impacto medioambiental y por el control de sus costos relacionados con la energía, encuentran en la ISO 50001 una herramienta normalizada para su gestión.

La norma ISO 50001 ayuda a las organizaciones a comprometerse en materia de eficiencia energética, estableciendo índices dentro de un plan de acción que se revisa de forma periódica.

Limitar las emisiones, reducir la huella de carbono y optimizar el presupuesto destinado al consumo de energía es posible implementando un sistema de gestión y la ISO 50001 establece el estándar que posibilita a las organizaciones acreditar su compromiso con el uso eficiente y responsable de la energía.

Como se puede observar, los costos de energía no son solo económicos, sino de tipo ambiental y social por el agotamiento de los recursos, por lo que contribuyen al problema del cambio climático.

### 3.2 Implementación ISO 50001

Como solo se trata de conocer el estado actual de la institución, como primera etapa para la implementación, se elaboró una lista de chequeo en las cuales se encuentran contemplados los requisitos de la norma ISO 50001. Para este trabajo se hace hincapié en el capítulo cuatro de la norma, que tiene el nombre de:

“Capítulo 4: Sistema de gestión de la documentación: contiene los requisitos generales y los requisitos para gestionar la documentación.”

Con la información recabada, se logrará desarrollar el diagnostico. Esta información debe ser presentada en forma organizada y que siga los lineamientos dados por la norma ISO 50001. Para tal fin se presenta una lista de chequeo para la recogida de datos, la cual está estructurada de manera ordenada y lógica.

El objetivo de la lista de chequeo para la recolección de datos es determinar el grado de cumplimiento por parte de AEROINDUSTRIA de los requisitos necesarios para un sistema de gestión de Eficiencia Energética, es decir, si en AEROINDUSTRIA ya hay una Sistema de Gestión o al menos tienen medidas o políticas que coadyuven a la implementación en el futuro de dicho sistema de gestión.

Se ha diseñado esta lista de chequeo siguiendo el mismo orden de los requisitos del Capítulo 4 de la ISO 50001:

1. Requisitos generales
2. Responsabilidad de la Dirección
3. Política Energética
4. Planificación Energética
5. Implementación y operación
6. Verificación
7. Revisión por la Dirección

Punto de Norma	Descripción del punto de Norma	Cumple	No Cumple	Observaciones
<b>1.1</b>	<b>Requisitos del Sistema de Gestión de la Energía</b>			
<b>1.1.1</b>	<b>Requisitos generales</b>			
	¿Se cuenta con el alcance definido y documentado del sistema de gestión energética establecida?		✓	
	¿Se tiene establecido como se cumplirán los requisitos de la Norma?		✓	
<b>1.2</b>	<b>Responsabilidad de la dirección</b>			
<b>1.2.1</b>	<b>Alta dirección</b>			
	¿Se cuenta con una política energética apropiada para la empresa?		✓	
	¿Se cuenta con un representante designado por la alta dirección y un equipo de gestión de la energía?		✓	
	¿Se cuenta con el apoyo en suministros y recursos necesarios para establecer, implementar, mantener y mejorar el SGEN y el desempeño energético resultante?		✓	
	¿Se cuenta con una comunicación sobre la importancia de la gestión energética dentro de la empresa?		✓	
	¿Se cuenta con objetivos definidos de la gestión energética?		✓	
	¿Se cuenta con metas energéticas establecidas?		✓	
	¿Se cuenta con una planificación de desempeño energético a largo plazo?		✓	
	¿Se informa de alguna forma sobre los resultados obtenidos a largo plazo?		✓	
	¿Se cuenta con una medición adecuada de los resultados y una información sobre los mismos intervalos determinados?		✓	
	¿Se llevan a cabo revisiones por la alta dirección de los resultados obtenidos del SGEN?		✓	
<b>1.2.2</b>	<b>Representante de la dirección</b>			

	¿Se cuenta con un perfil adecuado para designar al representante por la dirección, asegurando de que este cumpla con las habilidades y competencias adecuadas y sus responsabilidades?	✓		
<b>1.3</b>	<b>Política energética</b>			
	¿La política energética es apropiada a la naturaleza y magnitud del uso y del consumo de energía de la organización?		✓	
	¿La política incluye el compromiso de mejora continua del desempeño energético?		✓	
	¿La política incluye el compromiso para asegurar la disponibilidad de información y de los recursos necesarios para alcanzar los objetivos y metas?		✓	
	¿La política incluye el compromiso para cumplir con los requisitos legales a los que la empresa esté sujeta?		✓	
	¿La política contiene el apoyo en la adquisición de productos y servicios energéticamente eficientes y el diseño para mejorar el desempeño energético?		✓	
	¿La política energética se encuentra documentada y establecida?		✓	
	¿Se mantiene una revisión regular de la política y si es necesario se realizan actualizaciones de la misma?		✓	
<b>1.4</b>	<b>Planificación energética</b>			
<b>1.4.1</b>	<b>Generalidades</b>			
	¿Se tiene documentada y establecida la planificación energética?		✓	
	¿La planificación energética es coherente con la política energética?		✓	
	¿Se cuenta con una revisión de la planificación energética para detectar actividades de la empresa que puedan afectar el desempeño energético?		✓	
<b>1.4.2</b>	<b>Requisitos legales y otros requisitos</b>			
	¿Se cuenta con una metodología y el criterio establecido y documentado para la revisión energética?		✓	

	¿Se cuenta con el análisis de uso y consumo basado en mediciones y datos que puedan brindar este tipo de resultados?		✓	
	¿Se encuentran identificadas las áreas de uso significativo de la energía?	✓		
	¿Se encuentran identificadas las oportunidades de mejora?	✓		
	¿Se tiene una planificación de revisión a intervalos definidos?		✓	
<b>1.4.3</b>	<b>Línea de base energética</b>			
	¿Basado en la revisión energética, se cuenta con líneas de base energética establecidas y registradas?		✓	
<b>1.4.4</b>	<b>Indicadores de desempeño energético</b>			
	¿Se tienen identificados los IDEns apropiados para realizar el seguimiento y la medición de su desempeño energético?	✓		
<b>1.4.5</b>	<b>Objetivos energéticos, metas energéticas y planes de acción para la gestión de la energía</b>			
	¿Los objetivos son coherentes con la política energética?		✓	
	¿Las metas son coherentes con la política energética?		✓	
	¿Los objetivos y las metas se encuentran establecidos e implementados?		✓	
	¿Los planes de acción cuentan con la designación de responsabilidades?		✓	
	¿Dentro de los planes de acción se cuenta con los medios y plazos previstos para lograr metas individuales?		✓	
	¿Dentro de los planes de acción se cuenta con una declaración del método mediante el cual debe verificarse la mejora del desempeño energético?		✓	
	¿Dentro de los planes de acción de tiene definida una declaración del método para verificar los resultados?		✓	
<b>1.5</b>	<b>Implementación y operación</b>			
<b>1.5.1</b>	<b>Competencia, formación y toma de conciencia</b>			

	¿La empresa se asegura de que el personal sepa la importancia de la conformidad con la política energética, los procedimientos y los requisitos del SGen?		✓	
	¿El personal de la empresa es consciente de los beneficios de la mejora del desempeño energético?	✓		
	¿Se demuestra que el personal es consciente del impacto, real o potencial, con respecto al uso y consumo de la energía, de sus actividades y cómo sus actividades y su comportamiento contribuyen a alcanzar los objetivos energéticos y las metas energéticas y las consecuencias potenciales de desviarse de los procedimientos específicos?		✓	
<b>1.6</b>	<b>Comunicación</b>			
	¿Se tiene un proceso definido y documentado de comunicación hacia el personal interno de la empresa, sobre información relacionada con su desempeño energético y a su SGen de manera apropiado?		✓	
	¿Se tiene un proceso definido para que los trabajadores de la empresa puedan hacer sus comentarios o sugerencias para mejorar el SGen?		✓	
	¿Se comunica o no externamente la política energética, el desempeño de su SGen y el desempeño energético?		✓	
<b>1.7</b>	<b>Documentación</b>			
<b>1.7.1</b>	<b>Requisitos de la documentación</b>			
	¿Se tiene definido el tipo de documentación para describir los principales elementos del SGen y su interacción?		✓	
	¿Los procedimientos contienen alcance y límite del SGen?		✓	
	¿Se tiene documentación importante para la empresa según sea necesario por las operaciones de la misma?		✓	
	¿Se cuenta con los objetivos, metas energéticas y planes de acción?		✓	

	¿Se cuenta con registros requeridos por la Norma?	✓		
<b>1.7.2</b>	<b>Control de los documentos</b>			
	¿Se cuenta con un procedimiento establecido de control de documentos?	✓		
	¿Se tiene establecido quien debe aprobar los documentos en relación a su adecuación antes de su emisión?	✓		
	¿Se tienen identificados los cambios y el estado de revisión actual de los documentos?	✓		
	¿Las versiones son pertinentes de los documentos aplicables y se encuentran disponibles en los puntos de uso?		✓	
	¿Los documentos permanecen legibles y fácilmente identificables?		✓	
	¿Se asegura, identifica y controla la distribución de los documentos de origen externo que la organización determina que son necesarios para la planificación y la operación del SGEN?		✓	
	¿Se tiene definido como prevenir el uso de documentos obsoletos?		✓	
<b>1.8</b>	<b>Control Operacional</b>			
	¿Se tiene identificadas las operaciones y actividades de mantenimiento que estén relacionadas con el uso significativo de la energía y son coherentes con la política energética, objetivos, metas y planes de acción?	✓		
	¿Se cuenta con el establecimiento y fijación de criterios para la eficaz operación y mantenimiento de los usos significativos de la energía, cuando su ausencia pueda llevar a decisiones significativas de un eficaz desempeño energético?		✓	
	¿Se realiza la operación y mantenimiento de instalaciones, procesos, sistemas y equipos de acuerdo con los criterios operacionales?	✓		

	¿Se tiene la comunicación apropiada de los controles operacionales al personal que trabaja para la empresa?	✓		
<b>1.9</b>	<b>Diseño</b>			
	¿Se tiene considerados los puntos de oportunidad de mejora del desempeño energético y del control operacional cuando se realizan instalaciones nuevas, modificaciones o renovación de equipos, sistemas procesos, los cuales pueden tener un impacto significativo en su desempeño energético?	✓		
	¿Los resultados de la evaluación del desempeño energético se incorporan, cuando es apropiado al diseño, a la especificación y a las actividades de compras de los proyectos pertinentes?		✓	
	¿Se mantienen registros de las actividades de diseño?	✓		
<b>1.10</b>	<b>Adquisición de servicios de energía, productos, equipo y energía.</b>			
	¿La empresa considera al adquirir productos y equipos que tengan o puedan tener un impacto en el uso significativo de la energía?		✓	
	¿La empresa informa a los proveedores que las compras serán en parte evaluadas sobre la base del desempeño energético?		✓	
	¿Se cuenta con criterios establecidos e implementados para evaluar el uso y consumo de la energía, así como la eficiencia de la energía durante la vida útil planificada o esperada al adquirir productos, equipos y servicios que usen energía que puedan tener un impacto significativo en el desempeño energético de la empresa?	✓		
	¿Se mantiene la documentación de las especificaciones de adquisición de energía, cuando sea aplicable, para el uso eficaz de la energía?	✓		
<b>1.11</b>	<b>Verificación</b>			
<b>1.11.1</b>	<b>Seguimiento, medición y análisis</b>			

	¿Se tiene seguimiento de los usos significativos de la energía y otros elementos resultantes de la revisión energética?		✓	
	¿Se tienen identificados los indicadores de Desempeño Energético?		✓	
	¿Se mantienen evaluaciones del consumo energético real contra el esperado?		✓	
	¿Se mantiene registro de las mediciones realizadas?		✓	
<b>1.11.2</b>	<b>Evaluación del cumplimiento de los requisitos legales y de otros requisitos.</b>			
	¿Se realizan evaluaciones del cumplimiento de requisitos legales o cualquier requisito que este relacionado con el uso y consumo de energía?		✓	
	¿Se mantienen registros de las evaluaciones?		✓	
<b>1.12</b>	<b>Auditoría interna del sistema de gestión de la energía</b>			
	¿Se cuenta con un programa de auditorías?		✓	
	¿Se cuenta con el plan de auditorías?		✓	
	¿Se cuenta con el perfil de los auditores internos?		✓	
	¿Cómo se aseguran de que los auditores son imparciales?		✓	
<b>1.13</b>	<b>No conformidades, corrección, acción correctiva y acción preventiva</b>			
	¿Se mantiene una revisión de no conformidades reales o potenciales?		✓	
	¿Se realiza un análisis para determinación de las causas de las no conformidades reales o potenciales?		✓	
	¿Se realiza evaluaciones para determinar la necesidad de acciones para asegurar que las no conformidades no ocurran o no vuelvan a ocurrir?		✓	
	¿Cómo se realiza la determinación de la implementación de acciones correctivas o de las acciones preventivas tomadas?		✓	
<b>1.14</b>	<b>Control de los registros</b>			

	¿Se mantiene registro de las acciones correctivas y preventivas implementadas?		✓	
<b>1.15</b>	<b>Revisión por la dirección</b>			
	¿Se asegura el seguimiento de las revisiones que se realizaron previamente por la alta dirección?		✓	
	¿Se realiza una revisión periódica de la política energética?		✓	
	¿Se determinan los parámetros necesarios para observar que el sistema de gestión energética está funcionando de buena forma?		✓	

Table 3. Implementación ISO 50001

De acuerdo con los datos obtenidos de la lista de chequeo, se observan los siguientes porcentajes de cumplimiento o incumplimiento de los puntos de la Norma. Cabe mencionar que los puntos evaluados son únicamente del capítulo “Requisitos del Sistema de Gestión de la Energía”



Figure 7. Resultados implementación ISO 50001

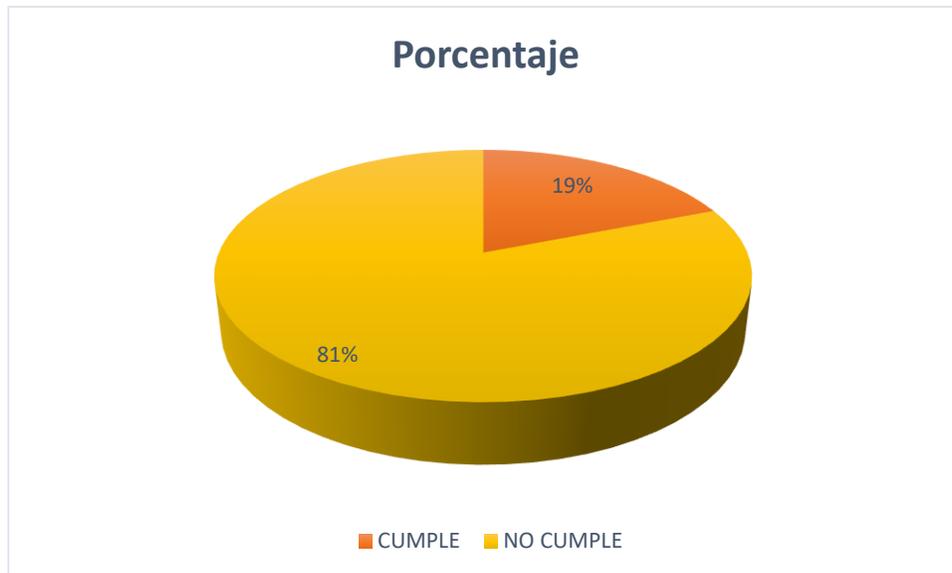


Figure 8. Porcentajes de cumplimiento ISO 50001

AEROINDUSTRIA está lejos de cumplir con los requisitos de la ISO 50001. Sin embargo, las bases para lograrlo existen, ya que cuenta con una dirección sólida que puede desempeñar perfectamente las obligaciones que la norma solicita.

Tanto el SGEEn como las auditorías energéticas se realizan para que las organizaciones hagan un buen uso de la energía, fomenten la eficiencia energética, fomenten el ahorro energético, mejoren el desempeño energético, disminuyan las emisiones de CO<sub>2</sub> que afecta el cambio climático y garanticen la legislación en materia energética.

## CAPÍTULO IV. MODELADO Y SIMULACIÓN DEL HANGAR 6

### 4.1 Software eQuest

eQuest es una herramienta sofisticada, pero de fácil utilización, herramienta de software para el análisis del desempeño energético de edificaciones que proporciona resultados a nivel profesional. Es una herramienta de uso gratuito que fue diseñada para permitir llevar a cabo un análisis detallado de las tecnologías y sistemas energéticos en edificios. Está basado en DOE-2 como motor de cálculo. El motor DOE-2 es la herramienta de software para el análisis energético de edificios más ampliamente reconocida y respaldada.

#### 4.1.1 Funcionalidad y limitaciones

A través de sus archivos, patrones dinámicos, gráficos interactivos, análisis paramétrico y rápida implementación, es capaz de realizar análisis en varias etapas del proyecto. Tiene tres niveles de entrada que se pueden definir como: Asistente de diseño esquemático, Asistente de desarrollo de diseño e interfaz detallada.

La salida del software contiene informes gráficos que proporcionan un resumen de los resultados de una sola ejecución, un resumen de resultados comparativos (compara los resultados de múltiples ejecuciones de simulación de edificios independientes) e informes tabulares paramétricos.

Adicionalmente, los resultados incluyen simulaciones por hora. Calcula el consumo energético de un edificio durante todo el año (8760 horas) utilizando datos climáticos de archivos meteorológicos que pueden ser de diferentes formatos.

#### 4.1.2 Simulación eQuest

La entrada del programa consiste en una descripción detallada de la edificación a ser analizada, incluyendo: horarios de ocupación del personal, luces, equipos y niveles de los termostatos de los equipos de aire acondicionado.

El programa provee una muy precisa simulación de las características de las edificaciones, tales como: sombras, ventanas, masas térmicas, envolvente y lo más importante, la respuesta dinámica de diferentes sistemas de aire acondicionado y calefacción. También cuenta con un modelo dinámico de iluminación natural para simular el efecto de la misma en las demandas de aire e iluminación.

El programa calcula el desempeño energético de la edificación basado en estándares internacionales la cual es tomada como base por medio de la cual los potenciales de ahorro pueden ser estimados.

#### 4.2 Situación actual de la empresa

AEROINDUSTRIA está ubicado en los terrenos extraportuarios del Aeropuerto Internacional Monseñor Óscar Arnulfo Romero y Galdámez, en el departamento de La Paz.

Es el líder de la industria en el suministro de mantenimiento mayor, modificación y pintura de aeronaves para algunos de los principales propietarios y operadores de estas a nivel mundial. Con más de 35 años en la industria.

AEROINDUSTRIA inauguró el Hangar 6 en junio 2019, cuenta con un área de 33,500 metros cuadrados, con 120 metros de ancho y 128 metros de profundidad. Dimensiones que le dan capacidad para reparar o dar mantenimiento a 14 aeronaves simultáneamente.

AEROINDUSTRIA fue fundada en 1983 como el departamento de mantenimiento de Transporte Aéreos de Centroamérica (TACA). En 1996 se construyó el hangar 1 de la compañía para dar servicio a cuatro líneas de producción.

A continuación, se muestra en la tabla la evolución de la construcción en AEROINDUSTRIA

<b>Construcción</b>	<b>Año</b>
<b>Hangar 1</b>	1996
<b>Hangar 2-3</b>	2008
<b>Hangar 4</b>	2012
<b>Hangar 5</b>	2015
<b>Hangar 6</b>	2018

*Table 4. Año de construcción de hangares AEROINDUSTRIA*

Desde la construcción del Hangar 1 la tecnología en los siguientes hangares ha mejorado de manera notoria. AEROINDUSTRIA ha realizado distintos intentos para llegar a tener ahorro energético dentro de la misma, como, por ejemplo:

- Sistema de ventilación en el hangar eficiente. Asegurándose de la calidad del aire como de una ventilación natural. Ayudando a compensar la falta de aire acondicionado en esta zona.
- En el Hangar 6 las únicas áreas que tienen aire acondicionado son las oficinas, ya que la construcción de estas fue recientemente, poseen sistemas de aire acondicionado muy eficientes. Modelos de aires muy recientes y a los cuales se les da mantenimiento preventivo de manera rutinario.
- En el Hangar 6 se han adaptado sistemas de iluminación LED, con el cual se ahorran hasta el 80% en el consumo de energía. Esto es muy importante ya que en el hangar hay más de 200 luminarias.
- En el último año, por parte de Recursos Humanos se han publicado comunicados que invitan a los empleados a ser conscientes del ahorro de energía.

#### 4.2.1 Descripción del edificio

El Hangar 6 de AEROINDUSTRIA es un edificio construido en 2018-2019 que se encuentra en Aeropuerto de El Salvador “Monseñor Oscar Arnulfo Romero y Galdámez”, Acceso #6, San Luis Talpa. Cuenta con capacidad de albergar 12 aviones de cabina angosta. Ofrece servicios de aeromantenimiento, modificaciones y pintura.

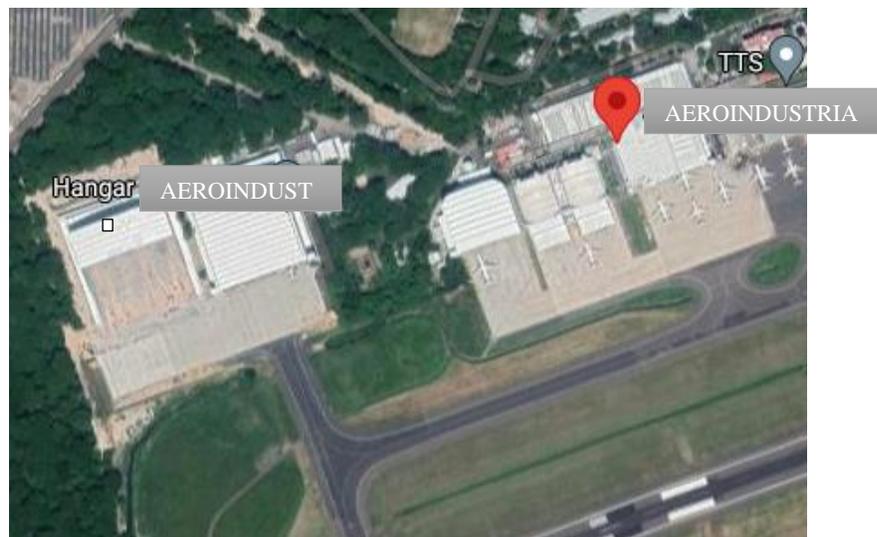


Figure 10. Vista AEROINDUSTRIA Google Maps

#### 4.2.2 Descripción física de las zonas

El edificio tiene una distribución rectangular, con 1 planta. El edificio se divide en 4 zonas:

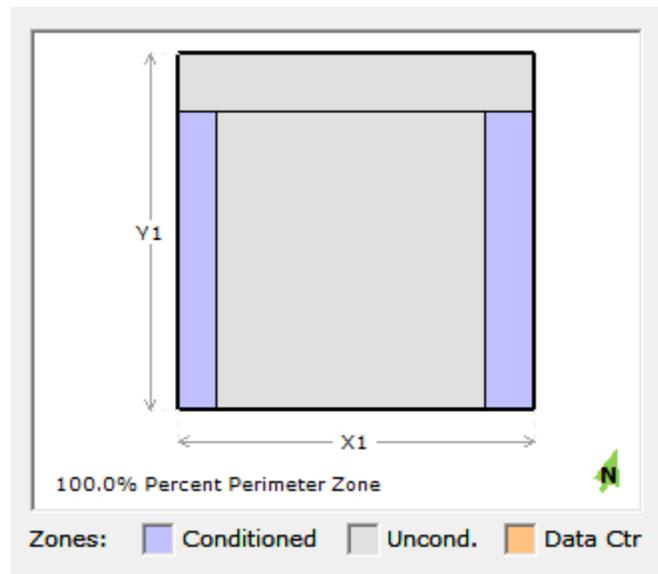


Figure 11. Distribución del edificio en eQuest

- Oficinas: A cada lado del hangar se encuentran las oficinas administrativas
- Bodega: Se encuentra en la parte trasera del hangar, se utiliza para resguardar partes de aviones y compuestos.
- Taller: Área principal donde se le da mantenimiento a las aeronaves

#### 4.2.3 Horario de funcionamiento

En AEROINDUSTRIA existen dos turnos de trabajo:

- Turno B: 7:00 a.m – 4:15 p.m
- Turno C: 4:15 p.m – 3:15 a.m (con extensión)

Incluyendo días feriados, y fin de semana.

## 4.3 Equipos

### 4.3.1 Aire acondicionado

El modelo que se utiliza en aire acondicionado en el hangar 6 DAIKIN, VRV *Ceiling Mounted Cassette*. Los productos Daikin tienen las etiquetas de eficiencia energética más altas del mercado. Cuentan con tecnologías novedosas como la invertir (bomba de calor) y la de recuperación de calor. Estos equipos son sostenibles con el medio ambiente.

Además, cuenta con asesoramiento personalizado para el mantenimiento preventivo adecuado. Por lo que se puede decir que en estos equipos no se necesita mucha mejora ya que si son eficientes energéticamente.



Figure 12. Equipos de aires acondicionados en oficinas Hangar 6

### 4.3.2 Iluminación

El modelo de lámparas en el hangar 6 es High Bay 72 W. Estos equipos LED son la solución ideal cuando se busca la Eficiencia energética. Las características de estos equipos superan con creces a los modelos halógenos o incandescentes en muchos factores, siendo el principal el ahorro energético.



Figure 13. Iluminarias en Hangar 6

### 4.3.3 GPU

Las maniobras de naturaleza eléctrica que se llevan a cabo en los aeródromos para el arranque y mantenimiento de aeronaves requieren de fuentes de alimentación estables, reguladas y fiables, que además cumplan con las necesidades de portabilidad y accesibilidad requeridas en un entorno tan extenso y a la vez tan delicado.

Para estas tareas, uno de los equipos de soporte de tierra más utilizados es la unidad de potencia (GPU, *Ground Power Unit*). Este generador de corriente continua es capaz de arrancar turbinas y de poner en marcha cuadros de mando eléctricos en aeronaves, liberando a los equipos de a bordo de dicha tarea y quedando la potencia de éstos reservada para otros momentos críticos de mayor necesidad cuando el apoyo desde equipos de tierra no es posible o éstos no están disponibles.

Algunas características importantes son:

- Diseño ultra compacto
- Proceso de carga controlado para maximizar la vida útil de las baterías internas
- Desconexión automática para evitar sobrecargas
- Disponible en 28V, 26V, 24V o diseño bajo demanda.
- Presentado en maletín robusto, ligero y fácil de transportar.



Figure 14. GPU

#### 4.3.4 Carro hidráulico

El banco de pruebas TMH 3000 está diseñado para uso en cualquier tipo de instalación comercial o aviones militares Airbus, Boeing y otros, con un circuito hidráulico de 3000 PSI. Ocupa el lugar de la generación hidráulica de aeronaves y suministra la potencia necesaria para los ensayos en tierra y las comprobaciones de diversas aeronaves.



Figure 15. ASU instalado

#### 4.3.5 Planta de aire

Conocidos también como Unidades Centrales, toman su nombre del término UP o RTU (*Unit Package o Roof Top Unit*). Son unidades que contienen los 4 elementos del circuito básico de refrigeración en un solo gabinete (Condensador, Evaporador, Compresor y Elemento Expansor). Provee confort al pasajero o al técnico que se encuentra trabajando dentro del avión. Estas unidades están equipadas con una descarga vertical de aire condensador, el cual tiene como función principal atenuar el ruido y eliminar el calor sin importar cuáles sean las condiciones del viento. Requiere un tomacorriente de 115V.



Figure 16. Planta de Aire

#### 4.3.6 Ventiladores

Los equipos de ventilación que se encuentran instalados en el hangar 6 son de la marca *Big Ass Fans*, utilizan motores de bajo consumo para hacer circular grandes volúmenes de aire, proporcionando comodidad a los ocupantes y ahorro de energía durante todo el año. En el hangar brindan comodidad al empleado, reducen sustancialmente el tiempo de recalentamiento, mitigan la condensación y desalientan a las aves que pudieran molestar.



Figure 17. Ventilador de techo en Hangar 6

#### 4.4 Consumo de equipos

Como se definió en la descripción de cada equipo, en la siguiente tabla se colocan especificaciones técnicas, como el consumo en W (watts). Como se identificó en la recopilación de datos, los equipos de ventilación, luces y aires acondicionados en oficinas son bastante eficientes. En los demás equipos si existe oportunidad de mejora en cuanto a la eficiencia energética.

Para calcular el consumo de cada equipo, tenemos que saber cuántos watts de potencia tiene el equipo. En este caso se necesita conocer el consumo diario, así que se multiplica por las horas de uso diario.

Nombre del equipo	Marca	Modelo	Cantidad	Capacidad	Potencia (W)	Potencia Total (W)	Consumo diario (kWh)
Ventilador techo	Big Ass Fan	PFX3-24	12	2 HP	1500	18000	432
GPU	Hobart	90SX240	5	90 KVA	15163.2	75816	1516320
Carro hidraulico	TMH	TMH3000	2	126 KVA	38400	1600	800
Plantas de aire	Carrier	38AUZA25A 0A6-0A0A0	5	20 TONS	21800	109000	2180000
AC Oficinas	Daikin	VRV	70	2 TONS	7033.71	492359.7	9847194
Luces	DLC	UL Ce SAA	300	72 W	72	21600	518400

Table 5. Consumos de equipos

Nombre del equipo	Horas de uso al día
Ventilador techo	24
GPU	20
Carro hidraulico	0.5
Plantas de aire	20
AC Oficinas	20
Luces	24

Table 6. Horas de uso de equipos

#### 4.5 Simulación eQuest.

El programa de simulación energética eQuest, requiere información del comportamiento del edificio, como:

- Horarios de trabajo.
- Actividad a la que se dedica la organización.
- Equipo y tiempo de utilización.
- Características energéticas como potencia del equipo.
- Características propias de la edificación:
  - (a) Material de construcción.
  - (b) Tipo de ventanas.
  - (c) Ubicación.
  - (d) Material de techos, pisos y puertas exteriores, etc.

eQuest muestra un modelo tridimensional de la edificación mostrando sus características externas. Como se muestra a continuación:

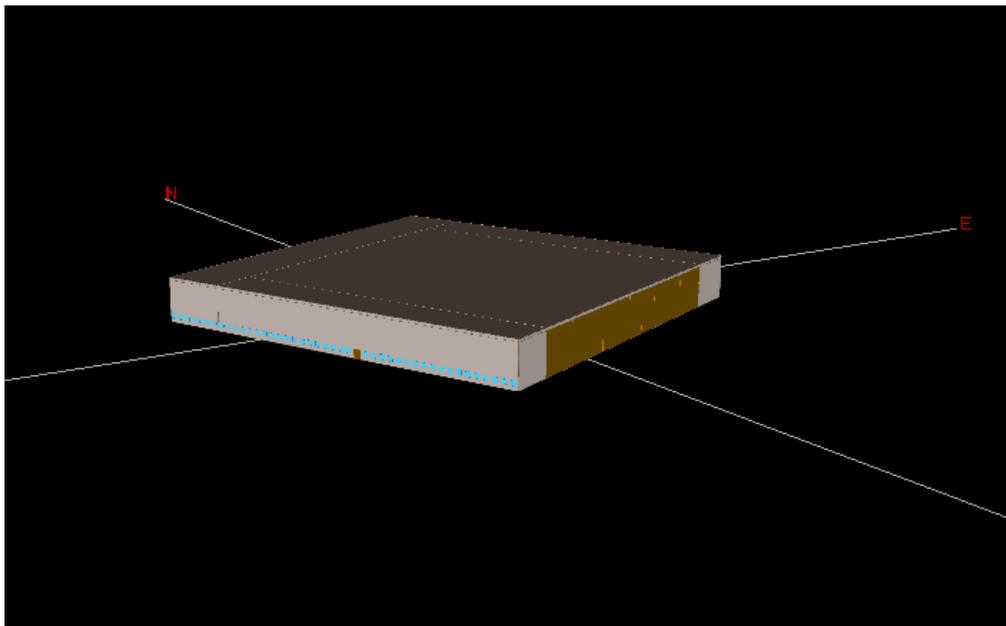


Figure 18. Modelado 3D hangar 6, eQuest

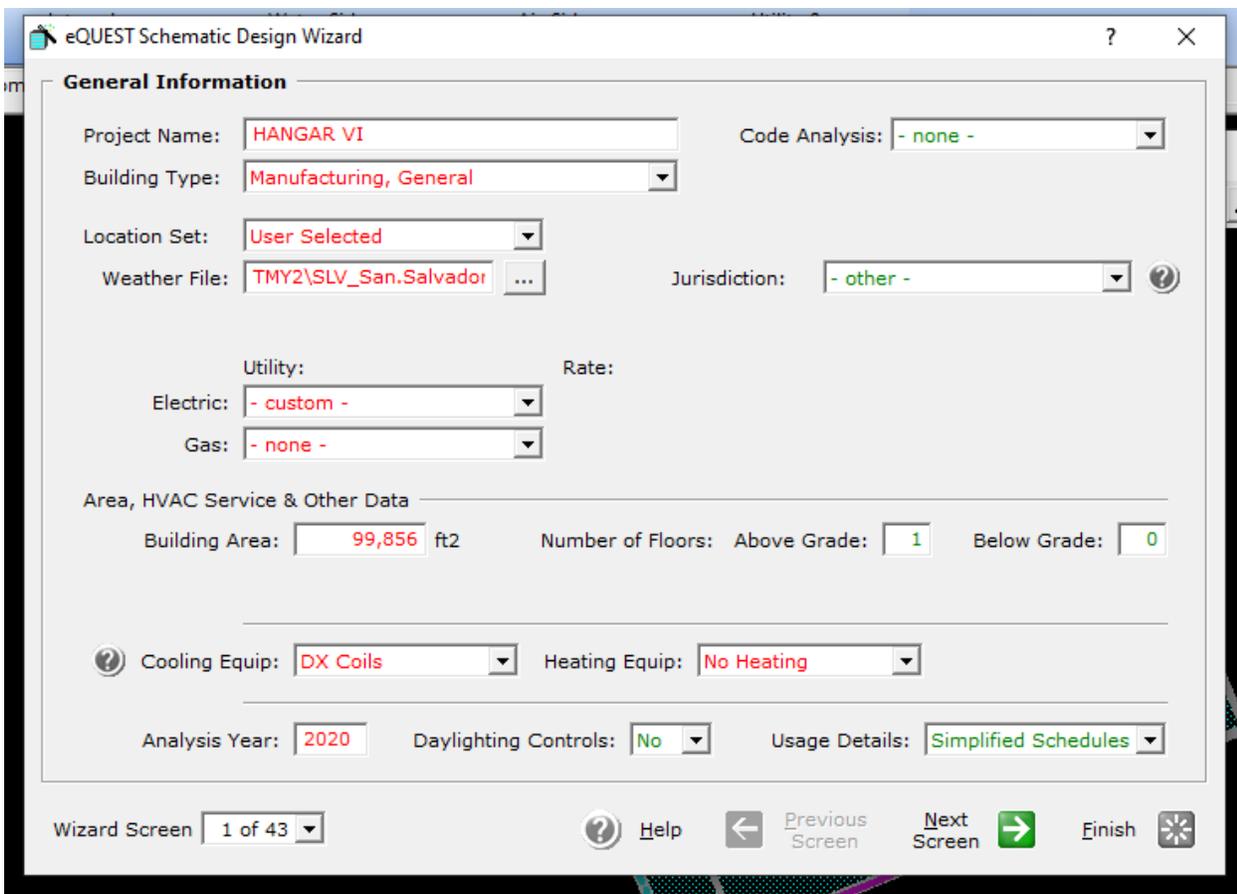
En cuanto el programa pide más información, se muestran otras ventanas.

#### 4.5.1 Información general del edificio

Se establece el nombre designado a la envolvente a simular, es decir, la estructura física del edificio. Se selecciona el tipo de edificio que se quiere simular, en este caso se eligió el tipo de edificio “fabricación, general”.

Luego se introduce el archivo de los datos climáticos, que para este caso se utilizó el de San Salvador, debido a que es el único que se encontró disponible y que es bastante aproximado al de la zona de ubicación del edificio.

Especificamos utilidades de electricidad y de gas. Número de pisos en el edificio, que en nuestro caso solo es de uno.



The screenshot shows the 'General Information' window of the eQUEST Schematic Design Wizard. The window is titled 'eQUEST Schematic Design Wizard' and contains the following fields and options:

- Project Name:** HANGAR VI
- Building Type:** Manufacturing, General
- Location Set:** User Selected
- Weather File:** TMY2\SLV\_San.Salvador
- Code Analysis:** - none -
- Jurisdiction:** - other -
- Utility:** Electric: - custom -; Gas: - none -
- Area, HVAC Service & Other Data:** Building Area: 99,856 ft2; Number of Floors: Above Grade: 1; Below Grade: 0
- Cooling Equip:** DX Coils; **Heating Equip:** No Heating
- Analysis Year:** 2020; **Daylighting Controls:** No; **Usage Details:** Simplified Schedules

At the bottom of the window, there is a 'Wizard Screen' dropdown set to '1 of 43', and navigation buttons for 'Help', 'Previous Screen', 'Next Screen', and 'Finish'.

Figure 19 información general

#### 4.5.2 Definición de la huella del edificio.

En esta opción podemos elegir una forma básica de construcción para el edificio. Para simular el Hangar 6 se eligió la forma de rectángulo. Se separaron las áreas: taller, oficinas y almacén.

Como se puede ver en la figura 20, solo se definen con aire acondicionado las áreas que corresponden a oficinas. Se define también, la cantidad de pies que hay entre el suelo y el techo y la orientación del edificio según información obtenida de google maps.

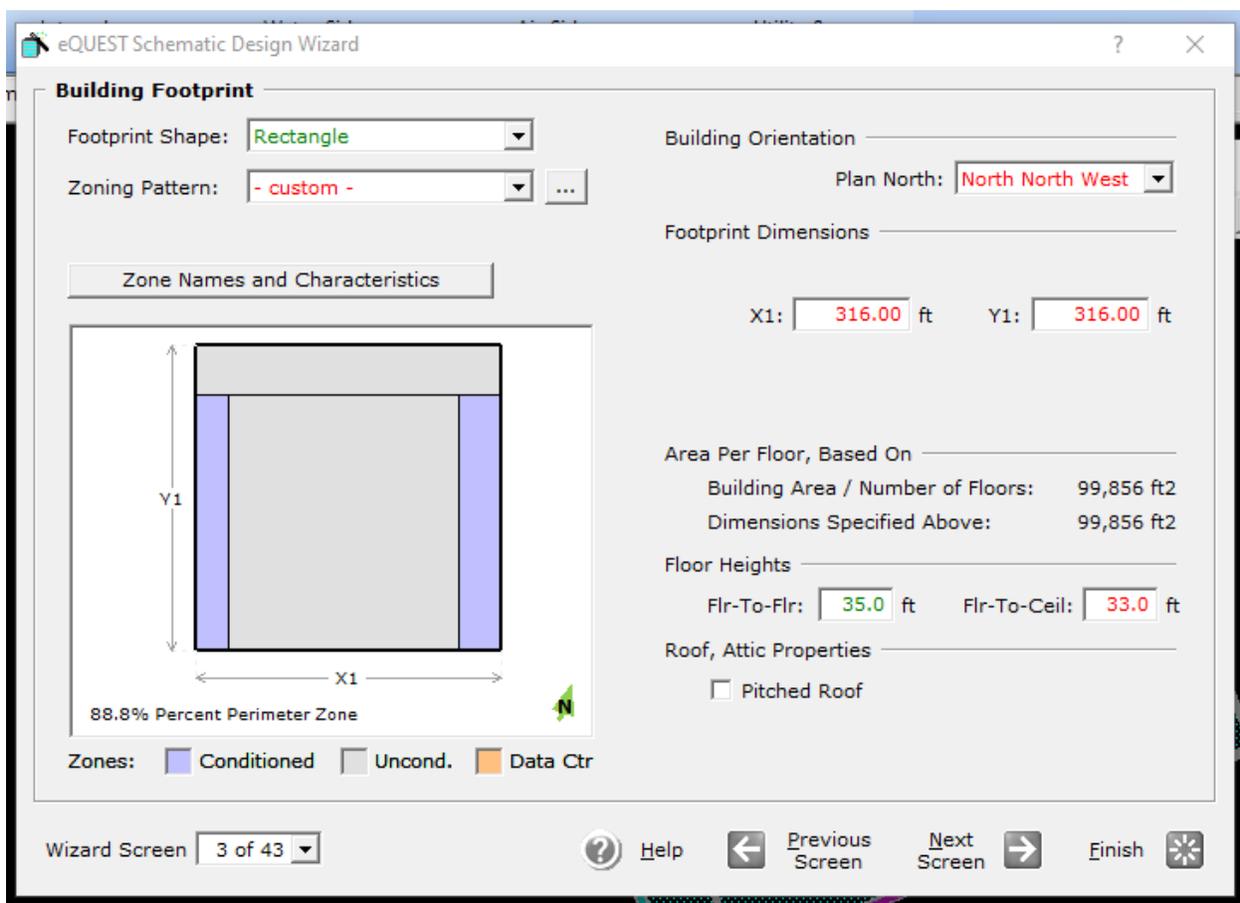


Figure 20 huella del edificio

#### 4.5.3 Definición de materiales.

eQuest permite ajustar las opciones de la construcción del edificio, tanto del exterior como del interior. En este caso el edificio cuenta con marcos de metal y concreto, con aislamiento de poliuretano en las paredes y suelo de concreto con piso de cerámica.

**eQUEST Schematic Design Wizard**

**Building Envelope Constructions**

**Roof Surfaces**

Construction: Metal Frame, > 24 in. o.c.

Ext Finish / Color: Roof, built-up 'Medium' (abs)

Exterior Insulation: 3 in. polyurethane (R-18)

Add'l Insulation: - no batt or rad barrier -

Interior Insulation:

**Above Grade Walls**

Construction: Metal Frame, 2x6, 24 in. o.c.

Ext Finish / Color: Steel, galvanized (bri) Aluminum pa

Exterior Insulation: - no ext board insulation -

Add'l Insulation: - no batt -

Interior Insulation: - no board insulation -

**Ground Floor**

Exposure: Earth Contact Interior Finish: Ceramic/Stone Tile

Construction: 12 in. Concrete

Ext/Cav Insul.: - no perimeter insulation -

Infiltration (Shell Tightness): Perim: 0.038 CFM/ft2 (ext wall area) | Core: 0.001 CFM/ft2 (floor area)

Wizard Screen 4 of 43

Help Previous Screen Next Screen Finish

Figure 21. Materiales de construcción

#### 4.5.4 Puertas y ventanas.

Se establecen los tipos de puertas con que cuenta el edificio y los materiales con los que están hechas. Para el proyecto las puertas son de metal; una en cada zona norte, este y oeste del edificio y en la zona sur se encuentran diez, en las cuales entran y salen las aeronaves para su respectivo mantenimiento. Las paredes poseen pintura metálica opaca.

Se definen también en la figura 23 los tipos de ventanas, dimensiones, características y ubicación. En el edificio se cuentan con un tipo de ventanas: fijas.

**Exterior Doors**

Describe Up To 3 Door Types

Door Type	# Doors by Orientation:			
	North	South	East	West
1: Opaque	1	0	1	1
2: Opaque	0	10	0	0
3: - select another -				

Door Dimensions and Construction / Glass Definitions

Ht (ft)	Wd (ft)	Construction -or- Glass Category and Glass Type
1: 7.0	6.0	Steel Hollow core w/o Brk
2: 33.0	20.0	Steel Hollow core w/o Brk

Wizard Screen 6 of 43

Help Previous Screen Next Screen Finish

Figure 22 Definición de puertas

La ubicación y dimensiones de ventana, se hace de manera manual, tratando de que su ubicación sea lo más próximo posible a su ubicación real, para no alterar el comportamiento térmico de la envolvente.

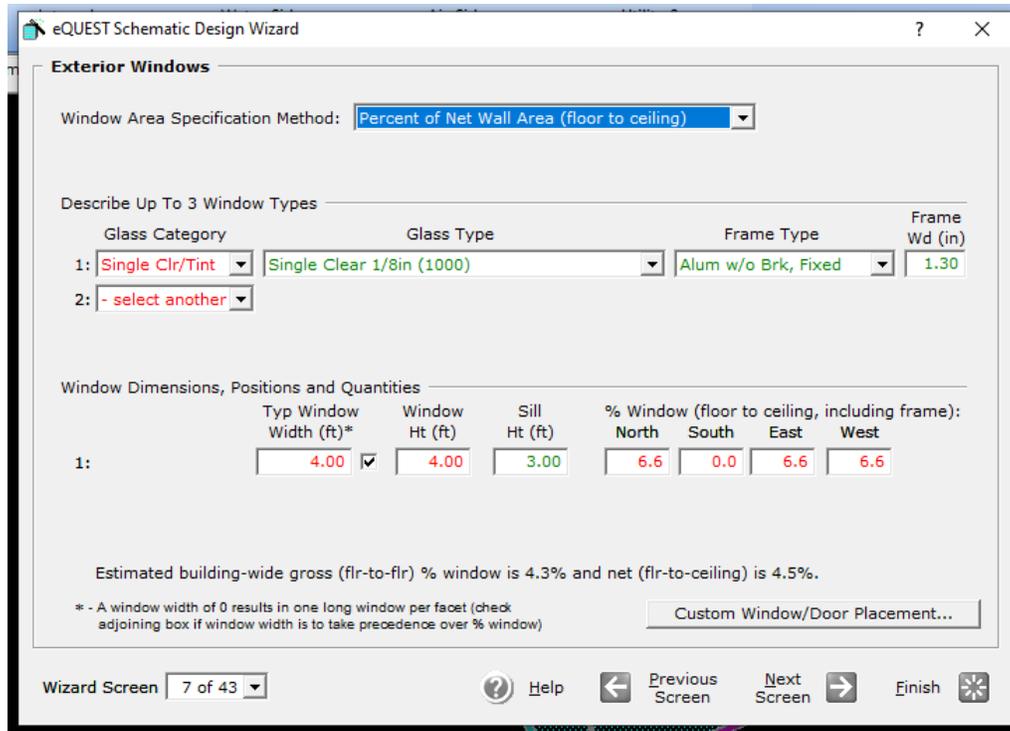


Figure 23 Definición de ventanas

#### 4.5.5 Asignación de áreas y horarios.

En la siguiente figura se logra observar una de las herramientas más importantes de eQuest en términos de definición de información basado en un tipo de construcción. Cuando se selecciona un tipo de edificio en la pantalla 1. eQuest incorpora detalles específicos acerca del edificio en particular al modelo energético.

En la pantalla de la figura 24, se hace la definición de áreas en base a la actividad que se realiza en cada una.

LUGAR	AREA (m <sup>2</sup> )	%
Hangar	23313.95	100
Oficinas	2638.3	11.3164
Bodegas	3262.13	13.99218
Baños	634.916	2.723331
Taller	16778.61	71.96811

Table 7. Porcentajes de área Hangar 6

**Activity Areas Allocation**

Area Type	Percent Area (%)	Design Max Occup (sf/person)	Design Ventilation (CFM/per)	Assign First To:	
				Core	Perim
1: Auto Repair Workshop	72.0	150.0	225.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2: Storage (Unconditioned)	14.0	450.0	67.50	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3: Office (General)	10.3	150.0	20.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4: Restrooms	2.7	52.5	50.00	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5: Mechanical/Electrical Room	1.0	450.0	22.50	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6: - select another -					

Percent Area Sum: 100.0

Show/Enable Zone Group Definitions

Wizard Screen 13 of 43

Help Previous Screen Next Screen Finish

Figure 24. Definición de áreas

#### 4.5.6 Definición de aire acondicionado por zonas.

Dependiendo del tipo de sistema HVAC que se tenga en el edificio, se asigna a cada zona del plano, en donde sí hay equipos de aire acondicionado y en donde no. Para el Hangar 6, las únicas zonas que poseen equipos de aires acondicionados son las oficinas.

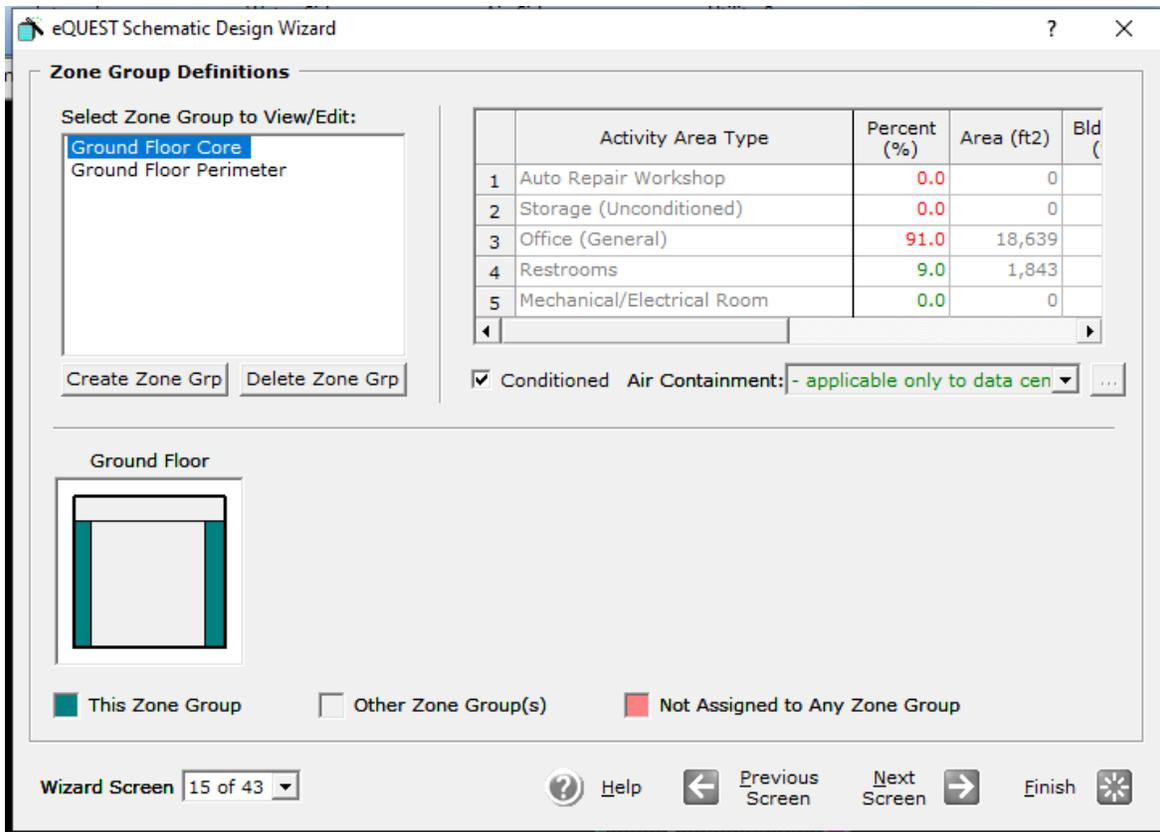


Figure 25. Definición de zonas con equipos de aires acondicionados

#### 4.5.7 Cargas por área.

Indica el nivel de las cargas durante las horas en que se ocupa la zona.

Area Type	Percent Area (%)	Lighting (W/SqFt)	Task Lt (W/SqFt)	Plug Lds (W/SqFt)	Schedule Main	Schedule Alt
1: Auto Repair Workshop	72.0	0.20	0.01	2.84	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
2: Storage (Unconditioned)	14.0	0.20	0.00	1.00	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
3: Office (General)	10.3	0.21	0.01	1.50	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
4: Restrooms	2.7	0.20	0.00	0.20	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>
5: Mechanical/Electrical Room	1.0	0.20	0.00	0.20	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figure 26. Cargas por área

#### 4.5.8 Información principal para horarios.

Para el Hangar 6 solo se utilizará un tipo de horario, que como se observa en la imagen 6 el edificio está en uso los siete días de la semana, incluso los días feriados.

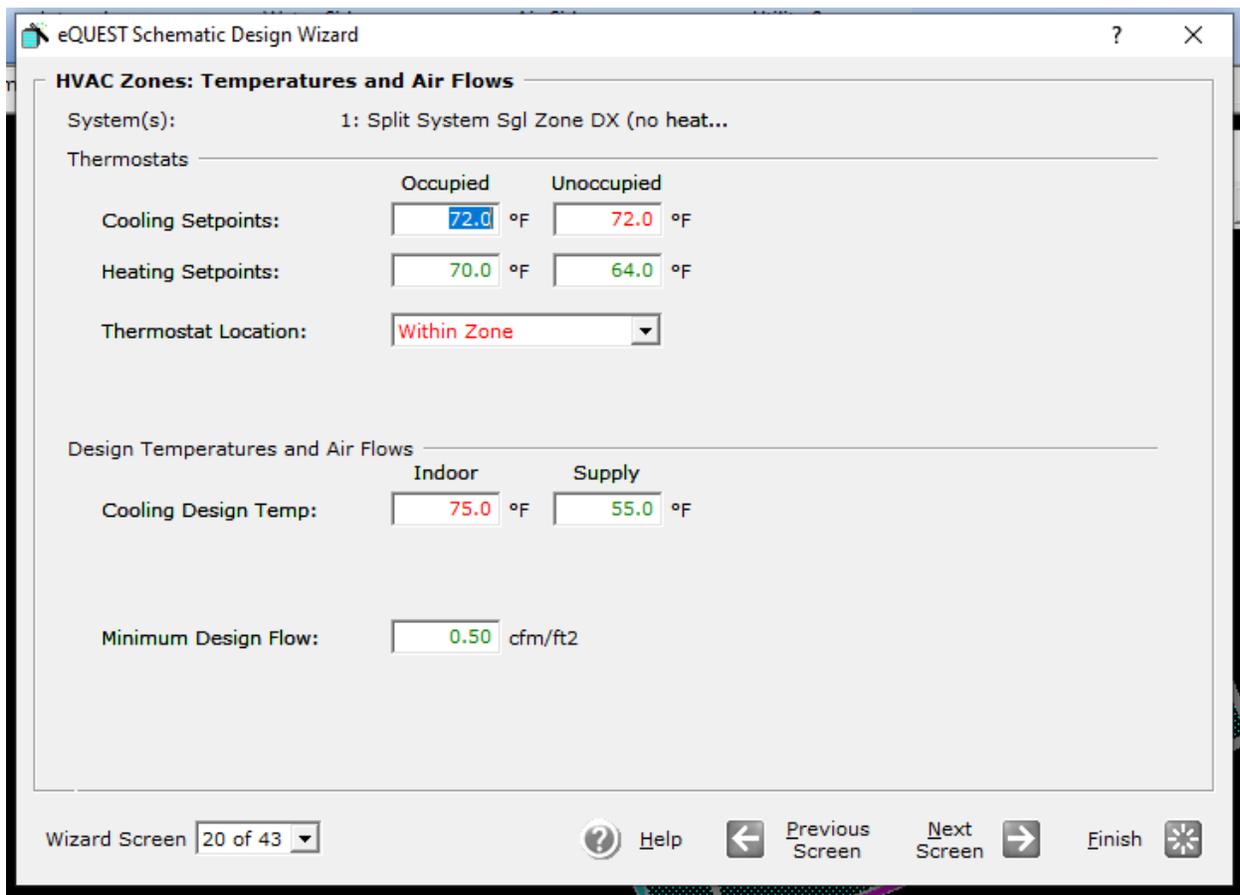
The screenshot displays the 'Main Schedule Information' window in the eQUEST Schematic Design Wizard. The window title is 'eQUEST Schematic Design Wizard'. The main content area is titled 'Main Schedule Information'. It includes a section for 'First (& Last) Season' with the date range '01/01/20 - 12/31/20'. There is a checkbox for 'Has Second Season' which is currently unchecked. Below this is a weekly schedule grid with columns for days of the week (Mo, Tu, We, Th, Fr, Sa, Su, Hol, CD, HD) and rows for 'Day 1' and 'Day 2'. The 'Day 1' row has clock icons for all days, while 'Day 2' is unchecked. Underneath the grid, the 'Day 1' settings are detailed: 'Opens at:' is set to 'Midnt', 'Closes at:' is set to 'Midnt', 'Occup %:' is '80.0 %', 'Lites Ld %:' is '80.0 %', and 'Equip Ld %:' is '80.0 %'. At the bottom of the window, there is a 'Wizard Screen' dropdown showing '17 of 43', and navigation buttons for 'Help', 'Previous Screen', 'Next Screen', and 'Finish'.

Figure 27. Información de horarios

Los campos de *Occup %* / *Lites %* / *Equip Ld %* indican el nivel de carga por persona, luces y equipos durante horas ocupadas. Es un porcentaje de la carga instalada definida previamente.

#### 4.5.9 Zonas HVAC: temperaturas y flujos de aire.

Las temperaturas que se definen en esta ventana son para las horas que se definieron previamente. Tanto las ocupadas como las desocupadas.



The screenshot shows the 'eQUEST Schematic Design Wizard' window, specifically the 'HVAC Zones: Temperatures and Air Flows' screen. The window title is 'eQUEST Schematic Design Wizard' and it has standard window controls (minimize, maximize, close) in the top right corner. The main content area is divided into several sections:

- System(s):** 1: Split System Sgl Zone DX (no heat...)
- Thermostats:**
  - Cooling Setpoints:** Occupied: 72.0 °F, Unoccupied: 72.0 °F
  - Heating Setpoints:** Occupied: 70.0 °F, Unoccupied: 64.0 °F
  - Thermostat Location:** Within Zone (dropdown menu)
- Design Temperatures and Air Flows:**
  - Cooling Design Temp:** Indoor: 75.0 °F, Supply: 55.0 °F
  - Minimum Design Flow:** 0.50 cfm/ft2

At the bottom of the window, there is a 'Wizard Screen' dropdown menu showing '20 of 43', a 'Help' button with a question mark icon, and navigation buttons for 'Previous Screen', 'Next Screen', and 'Finish' with a star icon.

Figure 28. Temperatura y flujos de aire

Esta ventana es parte del proceso para definir todos los parámetros de entrada requeridos para generar un sistema HVAC, los cuales varían de acuerdo al sistema que se está generando.

#### 4.5.10 Definición de Tarifas de servicio eléctrico.

Las tarifas bajo las cuales se realiza el cobro de la electricidad a AEROINDUSTRIA por parte de la distribuidora Del Sur. Ahí se pudo observar que el cobro se realiza por bloques, es decir se cobra de acuerdo al horario de uso ya sea este punta, resto o valle, las horas que corresponden a cada período de cobro.

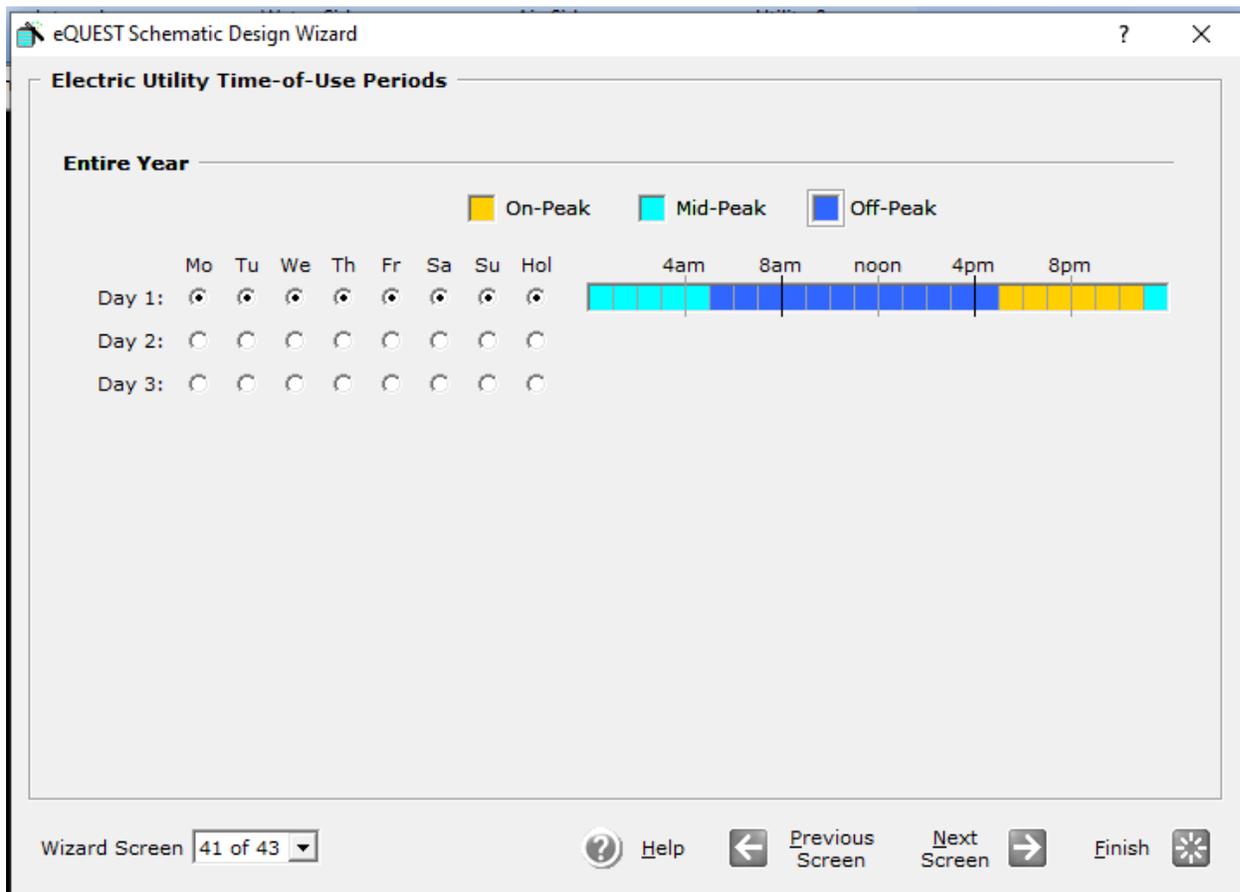


Figure 29. Distribución de acuerdo con los horarios de uso

**Electric Utility Charges**

Rate Name:  Type:

Second Season: \_\_\_\_\_

Entire Year

Customer Charge:  \$ / Month

Uniform Charges:  \$ / kW  \$ / kWh

		TOU Period	\$ / kW	\$ / kWh
1	<input type="checkbox"/>	Super On-Peak		
2	<input checked="" type="checkbox"/>	On-Peak	6.791	0.132114
3	<input checked="" type="checkbox"/>	Mid-Peak	6.791	0.114296
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Off-Peak	6.791	0.131046
5	<input type="checkbox"/>	Super Off-Peak		

Wizard Screen

Figure 30. Cargos de servicio eléctrico

#### 4.6 Análisis del consumo de energía.

Se creó un modelo energético del Hangar 6 de AEROINDUSTRIA, con el software de simulación energética eQuest. Con los datos reales previamente ingresados al software permitió calcular el consumo energético de la instalación, para cada día del año. Tomando en cuenta las condiciones ambientales del lugar, tipo de construcción, horarios de ocupación y equipos usados. Tomando en cuenta que el año que se está analizando es 2020, se tienen los siguientes resultados.

- **Consumo real – Consumo simulado**

El consumo eléctrico anual previsto por eQuest es de 1929.8 kWh, mientras que el actual fue de 1815.39 kWh.

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Run 1.	163.3	147.9	165.0	160.2	164.9	158.3	163.8	164.1	158.0	163.9	157.9	162.5	1.929.6

Figure 31. Consumo eléctrico eQuest

Mes	Consumo H6(kWh)	Consumo eQuest (kWh)
Enero	156.21	163.3
Febrero	164.592	147.9
Marzo	159.5628	165.0
Abril	151.3332	160.2
Mayo	126.1872	164.9
Junio	126.3396	158.3
Julio	144.6276	163.8
Agosto	148.59	164.1
Septiembre	160.9344	158.0
Octubre	156.21	163.9
Noviembre	165.9636	157.9
Diciembre	154.8384	162.5

Table 8. Consumos tabulados

En la tabla 8, se puede observar como el modelo eQuest posee mucha coincidencia con el consumo real de electricidad. En los únicos meses que se presenta una notoria diferencia son: Mayo, Junio, Julio, Agosto. Probablemente, esto pudo darse debido a que la compañía se vio impactada por la pandemia de COVID-19.

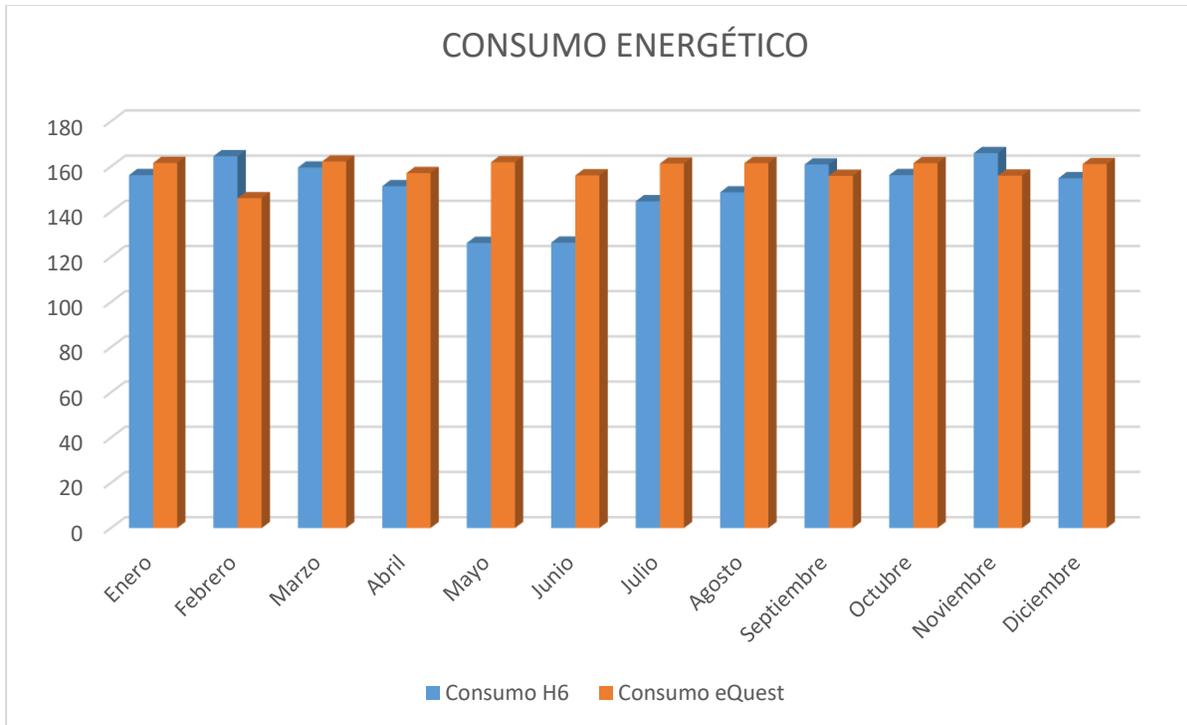


Figure 32. Consumo real VS Consumo eQuest

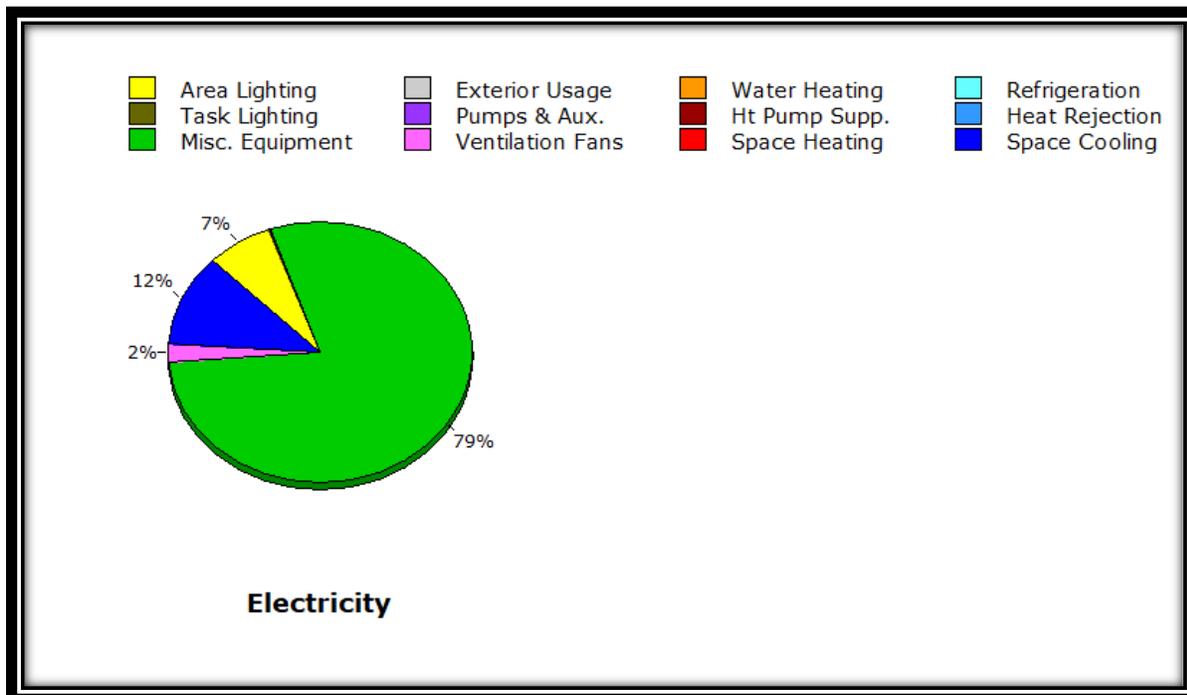


Figure 33. Distribución del consumo eléctrico Hangar 6

## CAPÍTULO V. PROPUESTAS DE AHORRO ENERGÉTICO

### 5.1 Configuración de termostatos.

La temperatura de confort en la oficina está enmarcada en el campo de la ergonomía en prevención de riesgos laborales. Hay confort térmico cuando las personas no sienten calor ni frío, se encuentran en una temperatura favorable para la actividad que están realizando. Dentro de las sensaciones térmicas de cada trabajador hay un grado relevante de subjetividad. Por ello, el bienestar térmico total no puede lograrse, pero debe alcanzarse el máximo punto de comodidad teniendo en cuenta que siempre existe un porcentaje de personas que estarán insatisfechas.

En el Hangar 6 se mantiene una temperatura de 21 °C a 21.5 °C. Se sugiere elevar esta temperatura 2.5 °C hasta 3 °C, es decir de 23 °C a 24.5 °C cuando las zonas se encuentran ocupadas.

Las temperaturas recomendadas anteriormente son sustentadas o apoyadas por la información obtenida de las siguientes referencias normativas:

- “Lineamientos de buenas prácticas para el ahorro y uso eficiente de la energía”. Documento publicado por la unidad ambiental del Ministerio de Economía, vigente a partir de febrero de 2019.
- “Uso eficiente de aires acondicionados y ventiladores”. Documento publicado por la dirección de eficiencia energética del Consejo Nacional de Energía (CNE).

Estos documentos sugieren que la programación de los equipos de aire acondicionado en un rango de temperatura de 23 °C – 24 °C (73 °F - 75 °F ), es un rango suficiente para un confort óptimo.

La configuración de termostatos no tiene costo alguno, pues únicamente requiere el ajuste de los termostatos a la temperatura indicada.

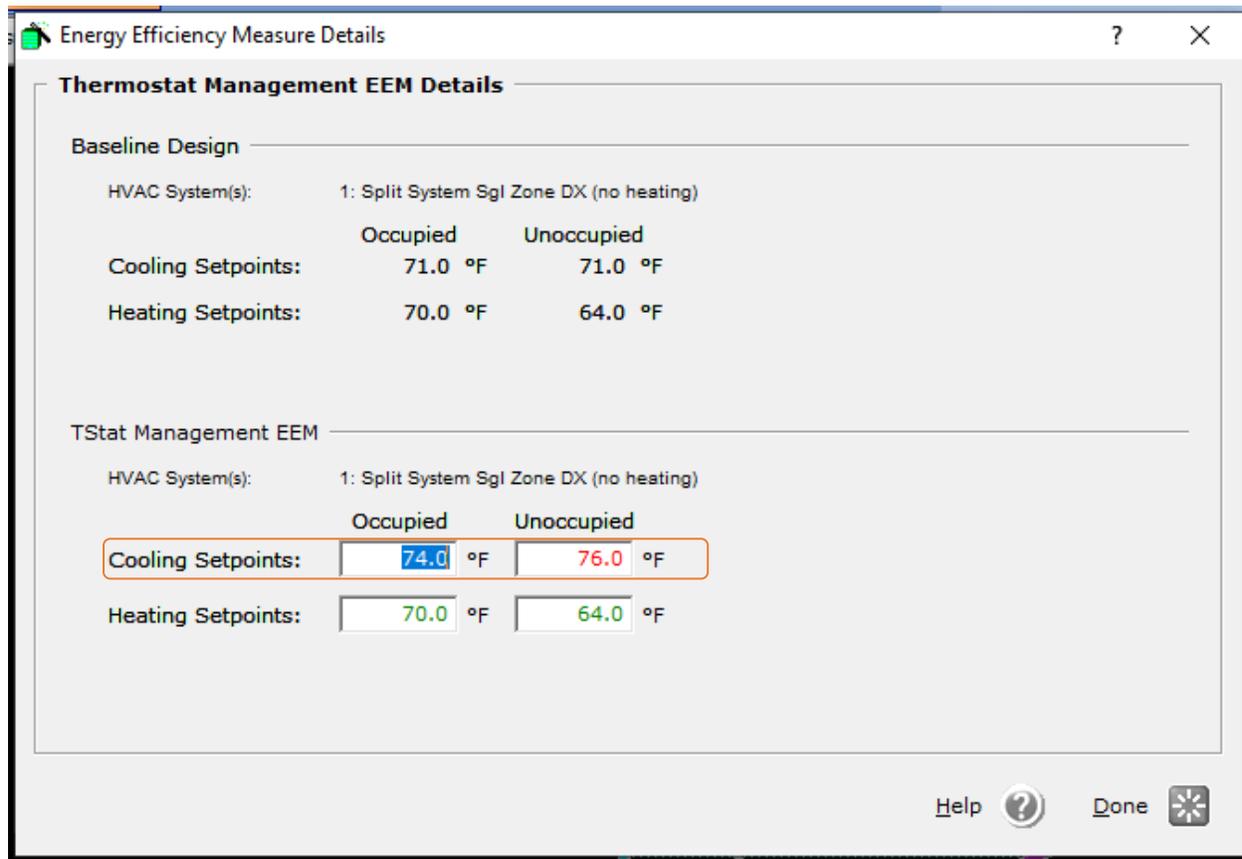


Figure 34. Nueva temperatura en aires acondicionados, eQuest

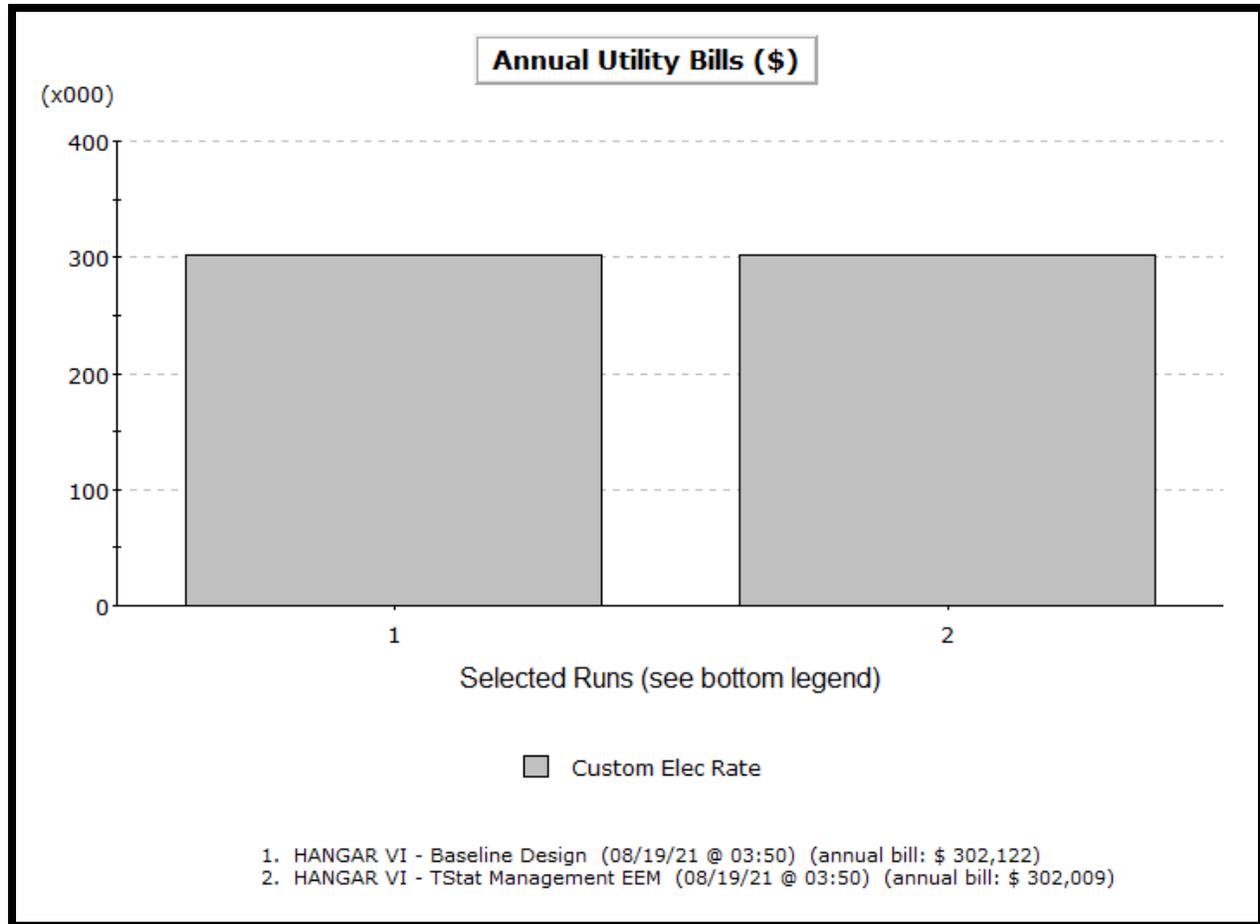


Figure 35. Comparación costo energético anual aplicando mejora.

eQuest fue utilizado para estimar los ahorros. Como resultado de ellos, la medida podría reducir el costo del consumo eléctrico anual a \$302,009 tal como se muestra en la imagen. Lo que representa un ahorro anual de \$113.00, y ya que no se necesita ningún tipo de inversión para implementar la medida, en 10 años serán \$1,130.00 recuperados.

## 5.2 Instalación de láminas de control solar (Window film).

En el Hangar 6 se cuenta con 86.4 m<sup>2</sup> de ventanas, las cuales están ubicadas en su mayoría en las fachadas este y oeste. Debido a que el edificio no está alineado al norte sino que se encuentra orientado aproximadamente 35° al oeste, se presentan problemas como la excesiva radiación solar en las zonas acondicionadas y la carga de iluminación.

El vidrio permite que el calor y la luz natural accedan al interior, Sin embargo, tiende a no proteger frente al exceso de estos factores.

Para solucionar esta limitación, se encontró que instalando láminas de control solar se crea un ambiente más agradable en el interior de los edificios, especialmente en días calurosos. Además, reducen la luz visible y los rayos ultravioleta.

El modelo de lámina de control solar que se propone es el Solar Silver 20 de Johnson Window Films cuyo costo es de \$29.83 por m<sup>2</sup> instalado. La inversión inicial es de \$2,452.03.

Como segunda opción evaluamos la Scenic View 10%. Que tiene un costo de por \$32.77 por m<sup>2</sup> instalado. La inversión inicial es de \$2,831.33.

Especificaciones generales:

		SOLAR SILVER 20% (PLATA)	SCENIC VIEW 10%
Transmisión de Luz	Porcentaje de luminosidad interna que permite la película aún en días nublados.	<b>19%</b>	<b>10%</b>
Energía Solar Rechazada	Porcentaje de Energía Solar que la película rechaza, no permitiendo que esta transmita sus molestias conocidas a las personas que laboran o permanecen dentro de las oficinas	<b>78%</b>	<b>82%</b>

Reducción de Rayos Ultravioleta	Porcentaje de Rayos Ultravioletas rechazados para proteger mobiliario y equipo en oficinas	<b>99%</b>	<b>99%</b>
Reflexión de Luz	Porcentaje de reflexión en forma brillo de espejo que la película aparenta al exterior	<b>58%</b>	<b>57%</b>
Absorción Solar	Porcentaje de energía solar que la película absorbe y distribuye para evitar el calor interno en las oficinas, favoreciendo el ahorro de consumo de energía eléctrica general y del aire acondicionado.	<b>28%</b>	<b>35%</b>
Reflexión Solar	Porcentaje de energía solar reflejada por la película.	<b>57%</b>	<b>57%</b>
Coefficiente de Calor	Coefficiente de contenido calorífico guardado por la película a temperaturas críticas y de intensa actividad solar.	<b>0.22</b>	<b>0.18</b>

Table 9. Especificaciones técnicas de láminas de control solar

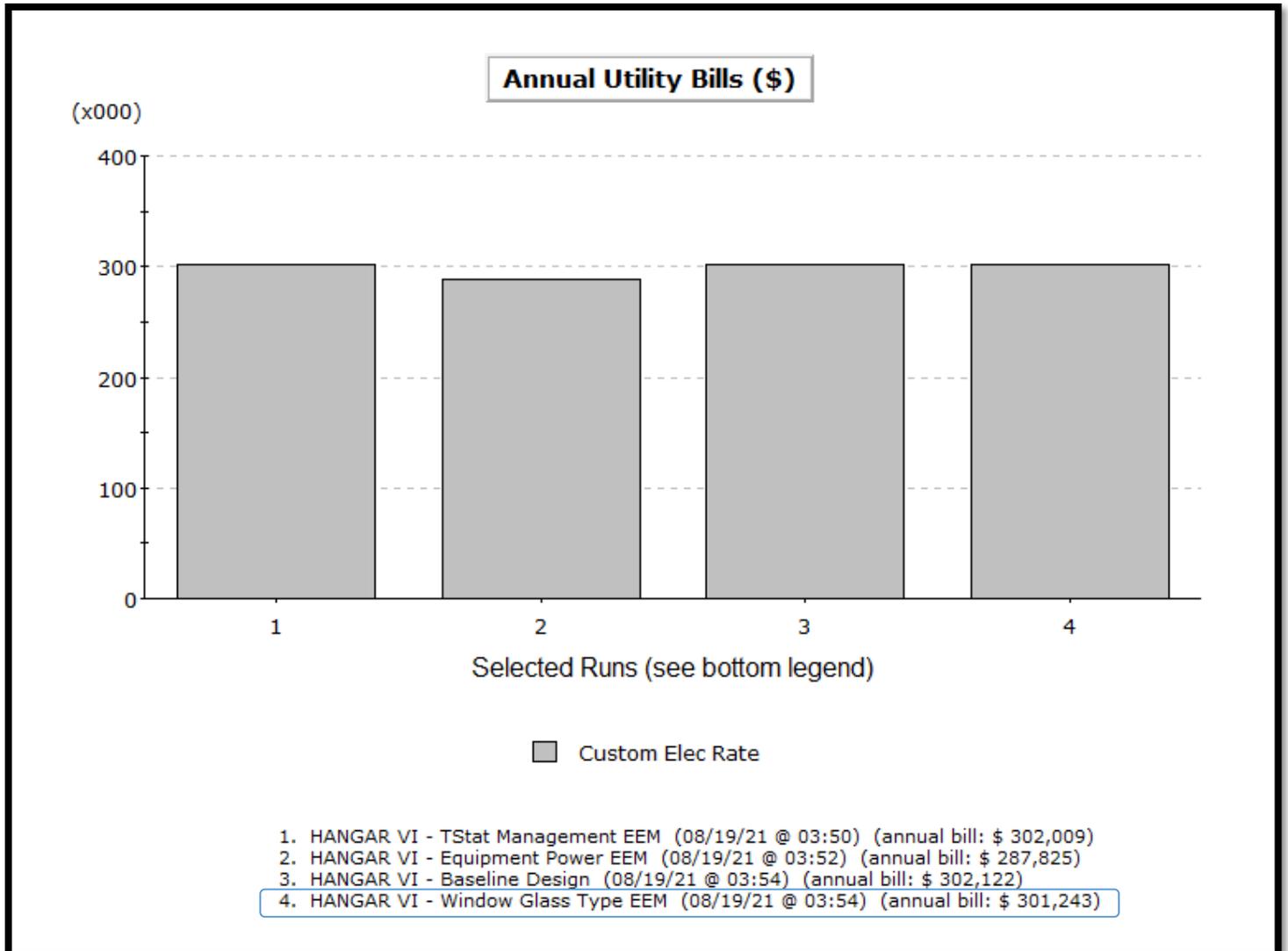


Figure 36. Ahorro con Filme para ventanas, eQuest

Se ha propuesto una lámina de control solar para ventanas así evitar estos problemas y ahorrar energía disminuyendo la carga térmica en aires acondicionados y la carga de iluminación al aprovecharse la luz natural. El ahorro anual del consumo energético es de \$766.00.

En la siguiente tabla se presentan las dos propuestas que se han descrito, el costo, inversión inicial y años de recuperación.

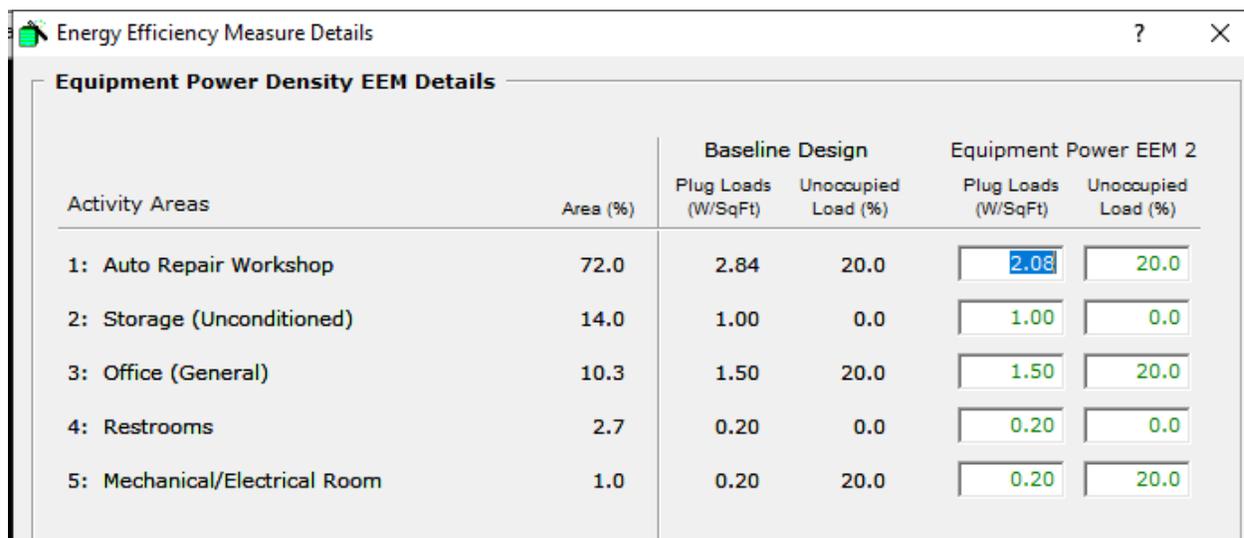
Tipo	Costo \$/m <sup>2</sup>	Área Ventanas	Inversión inicial	Años de recuperación.
Solar Silver	29.38	86.4	2538.43	3.31
Scenic View	32.77	86.4	2831.33	3.70

Table 10. Resumen de inversión de láminas de control solar

### 5.3 Renovación de equipos.

En el hangar 6 se cuentan con 5 equipos de plantas de aire, las cuales tienen una capacidad de 20 toneladas, que representan 109 kW en el consumo energético. Ya que el uso de las plantas de aire es de 20 horas, el consumo diario es de 2,180 kWh.

Se cotizó un modelo de planta de aire de la marca YORK, el cual tiene capacidad de 10 toneladas, pero al estudiar las especificaciones se observa que posee el mismo rendimiento de las que ya existen.



Activity Areas	Area (%)	Baseline Design		Equipment Power EEM 2	
		Plug Loads (W/SqFt)	Unoccupied Load (%)	Plug Loads (W/SqFt)	Unoccupied Load (%)
1: Auto Repair Workshop	72.0	2.84	20.0	2.08	20.0
2: Storage (Unconditioned)	14.0	1.00	0.0	1.00	0.0
3: Office (General)	10.3	1.50	20.0	1.50	20.0
4: Restrooms	2.7	0.20	0.0	0.20	0.0
5: Mechanical/Electrical Room	1.0	0.20	20.0	0.20	20.0

Figure 37. Cambio de carga de equipos para simulación

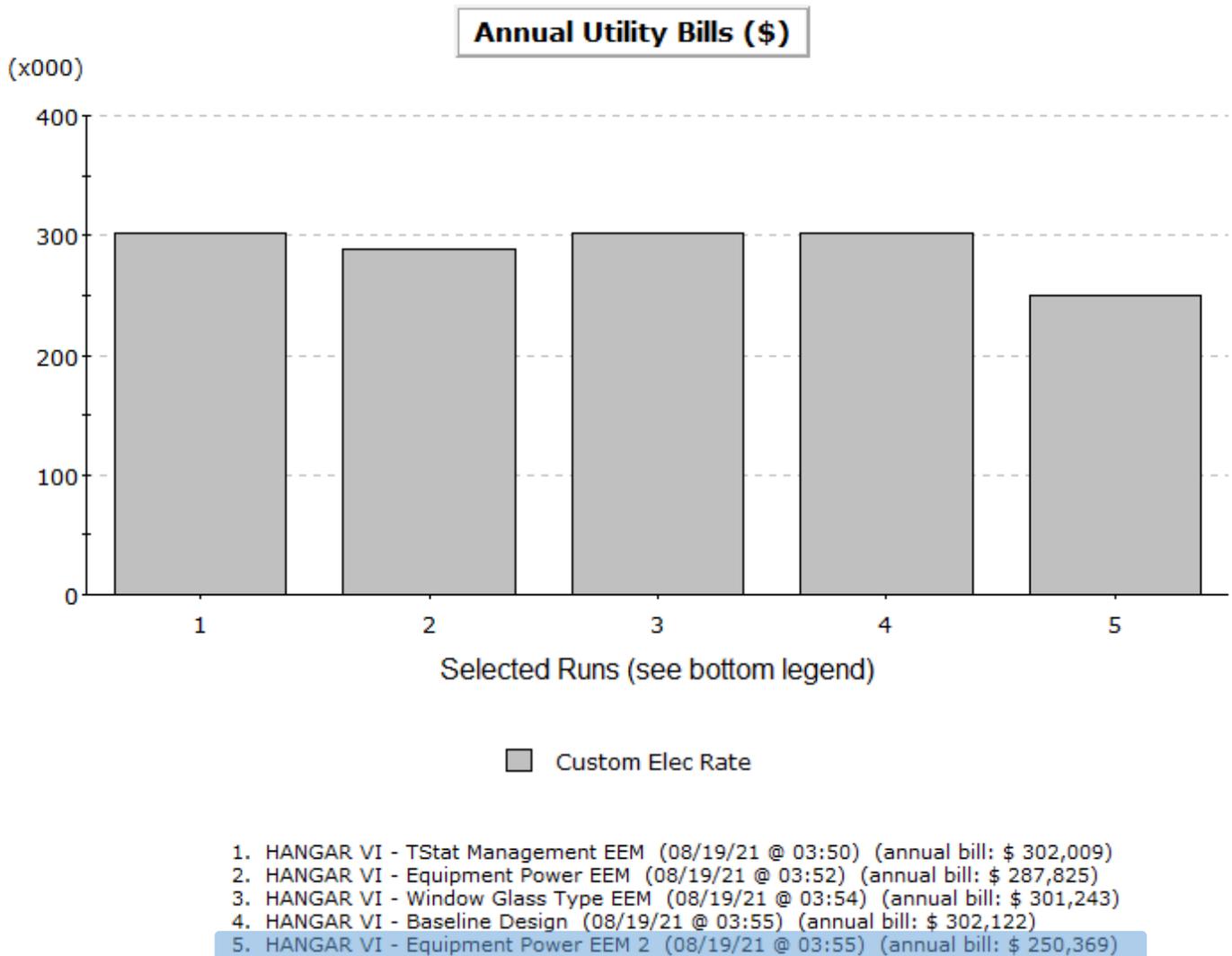


Figure 38. Simulación eQuest de renovación de equipos.

Para tomar la decisión de hacer el cambio se debe tomar en cuenta el Índice de eficiencia energética EER (Energy Efficiency Ratio) que mide la relación entre la energía eléctrica consumida y la potencia total que genera, pero solo en las instalaciones frigoríficas. EER es el cociente entre la potencia que entrega en refrigeración y la potencia eléctrica que consume en unas determinadas condiciones y a plena carga de funcionamiento.

$$EER = \frac{\text{Potencia frigorífica}}{\text{Potencia eléctrica que se consume en calefacción}}$$

MODELO	EER
Carrier	10.6
York	11.2

Table 11. EER Modelos

De acuerdo a los datos del fabricante, tenemos en la tabla 11 los índices correspondientes a cada uno de los modelos mencionados. El modelo Carrier es el que actualmente se encuentre en existencia en el Hangar 6. Y el modelo York es por el cual se pretende sustituir.

A mayor EER tenga el aparato de aire acondicionado más eficiente en refrigeración será, es decir, menos consumo energético en electricidad para entregar más frío a la estancia que esté climatizando.

El equipo de la marca York tiene 0.6 de mejora con respecto al EER y haciendo un análisis de disminución de consumo y costo que representará en la factura eléctrica, se puede recomendar hacer el cambio de equipo.

El modelo en eQuest fue utilizado para estimar los ahorros. Como resultado de ello, la medida podría tener un ahorro de \$51,640.00



Figure 39. Equipo York JROA. Precio \$14,000

El precio del equipo es de \$13,500 + \$500 de la configuración de la conexión y la fabricación del carrito.

Renovando los 5 equipos el precio es de: \$70,000. Esta inversión se puede recuperar en 1.36 años = 16.3 meses.

#### 5.4 Establecer horarios para el GPU.

Actualmente no se tiene ninguna restricción para hacer uso del GPU por el departamento de operaciones. El Hangar 6 cuenta con 5 equipos de estos.

Al ingresar los datos a eQuest se tomó en cuenta que al día se hace uso de este equipo por 20 horas. Ya que se da el caso que estén varios equipos conectados simultáneamente.

Para la mejora se toma en cuenta una reducción de 2 horas al uso del GPU, por lo que se obtiene:

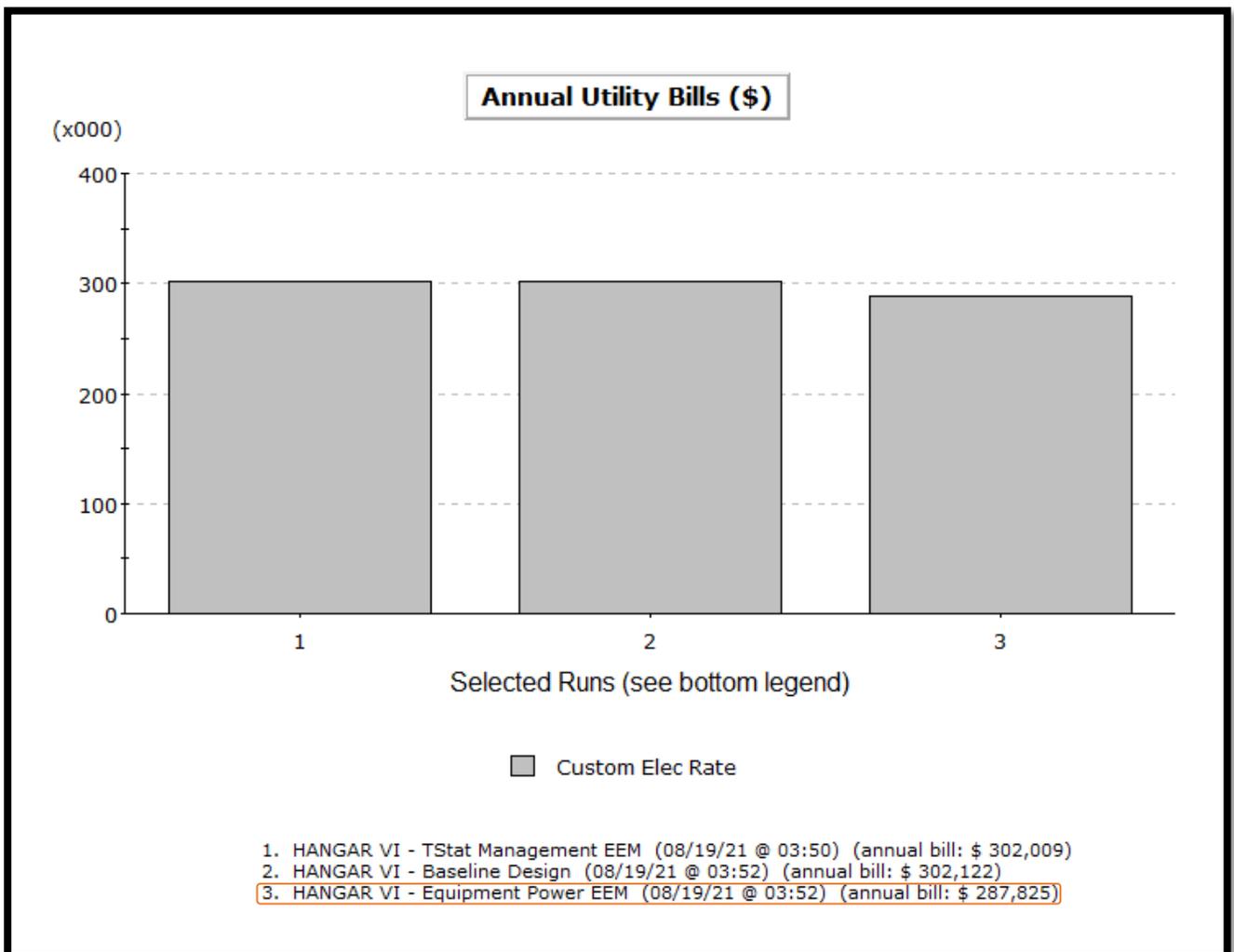


Figure 40. Ahorro por establecimiento de horarios para GPU

El ahorro para esta medida es de \$14,184.00 anual. Esta medida no requiere inversión ya que se buscará el apoyo de los jefes de proyecto para la realización de un horario de uso del GPU. Ya que ellos conocen la programación de las actividades a realizar en el avión y determinar para que actividades se requiere verdaderamente la utilización del GPU.

Al mismo tiempo, se sugiere que la gerencia de instalaciones eléctricas de AEROINDUSTRIA, en conjunto con Recursos Humanos, puedan hacer campañas de

concientización del uso del equipo. Ya que se ha observado que se deja encendido sin que se tenga un propósito de uso.

### 5.5 Resumen de propuestas.

A continuación, como se observa el ahorro anual al implementar todas las medidas sería de \$ 66,703.00. Y la inversión de todo el proyecto es de \$ 72,831.33 lo que se estima recuperar en 1 año 1 mes.

Propuesta	Ahorro/anual	Inversión
Configuración de termostatos	\$ 113.00	\$ -
Instalación de Láminas de Control Solar (window film)	\$ 766.00	\$ 2,831.33
Renovación de equipos	\$ 51,640.00	\$ 70,000.00
Establecimiento de horarios para GPU	\$ 14,184.00	\$ -
TOTAL	\$ 66,703.00	\$ 72,831.33

Tabla 11. Resumen de propuestas.

A continuación, se muestra el consumo eléctrico del diseño base, y de cada una de las medidas implementadas.

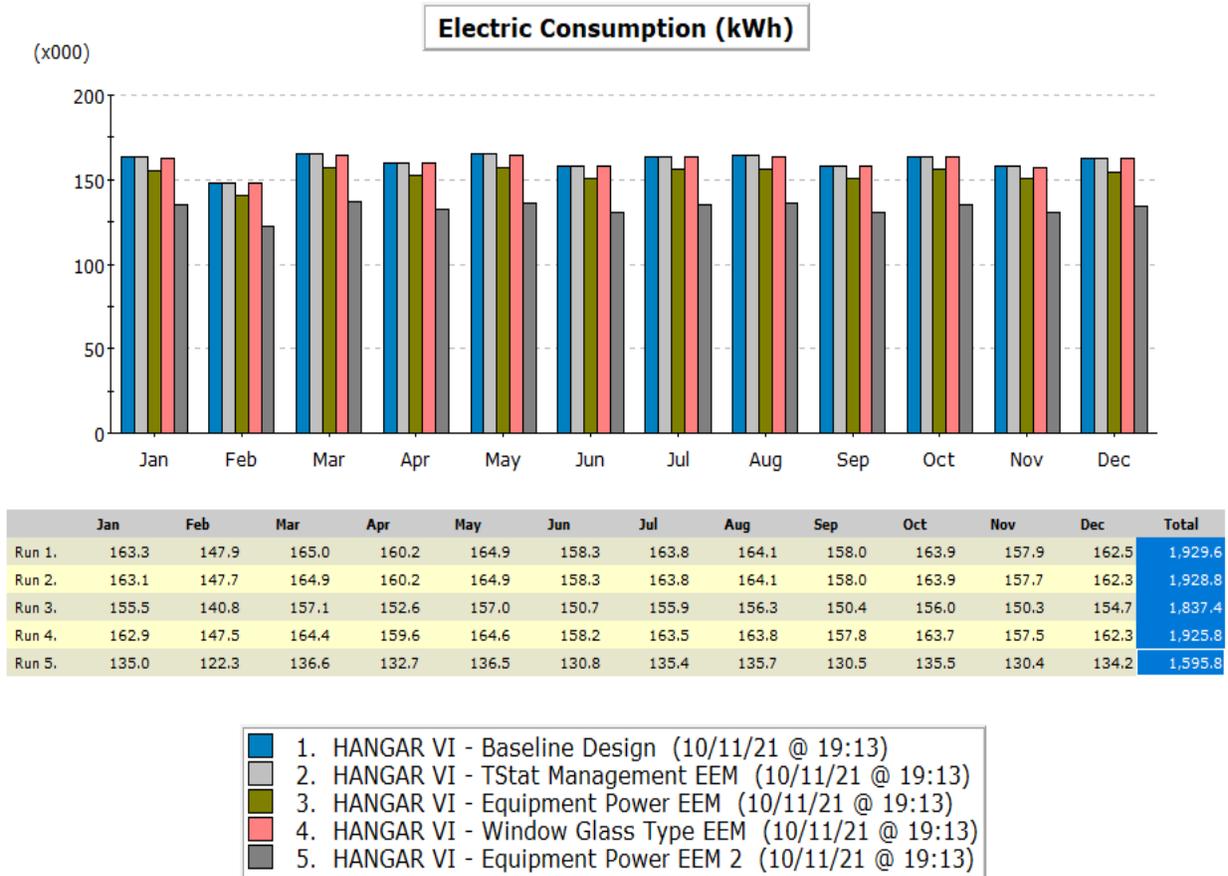


Figure 41. Resumen de consumos eléctricos eQuest.

Haciendo la comparación con el diseño base, se obtiene como resultado que la mejora 3 y la mejora 4 representan menos consumo energético, por ende se tiene menos demanda aplicando esas mejoras.

Mes	Consumo H6 (kwh)	Consumo eQuest (kwh)	Propuesta 1 (kwh)	Propuesta 2 (kwh)	Propuesta 3 (kwh)	Propuesta 4 (kwh)
Enero	156.21	163.3	163.1	162.9	135	155.5
Febrero	164.592	147.9	147.7	147.5	122.3	140.8
Marzo	159.5628	165.0	164.9	164.4	136.6	157.1
Abril	151.3332	160.2	160.2	159.6	132.7	152.6
Mayo	126.1872	164.9	164.9	164.6	136.5	157
Junio	126.3396	158.3	158.3	158.2	130.8	150.7
Julio	144.6276	163.8	163.8	163.5	135.4	155.9
Agosto	148.59	164.1	164.1	163.8	135.7	156.3
Septiembre	160.9344	158.0	158	157.8	130.5	150.4
Octubre	156.21	163.9	163.9	163.7	135.5	156
Noviembre	165.9636	157.9	157.7	157.5	130.4	150.3
Diciembre	154.8384	162.5	162.3	162.3	134.2	154.7
TOTAL	1815.3888	1929.8	1928.9	1925.8	1595.6	1837.3

Tabla 12. Comparación de valores reales vs resultados del diseño base y resultados de la implementación de las mejoras propuestas.

## 5.6 Emisiones de CO<sub>2</sub>.

Para calcular las emisiones asociadas, a los kWh consumidos se les debe multiplicar un factor de emisión de CO<sub>2</sub> atribuible al suministro eléctrico también conocido como mix eléctrico (kg de CO<sub>2</sub>/kWh) que representa las emisiones asociadas a la generación eléctrica conectada a la red nacional necesaria para cubrir el consumo. Este factor depende de la región, estado o país que sea el caso de estudio. Por lo tanto, el mix a utilizar será el valor del mix para El Salvador, que refleje las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas para producir la electricidad de la red

El valor del mix eléctrico utilizado es de 0.68 kg CO<sub>2</sub>/kWh. Este factor fue obtenido del documento, “ENFRÍA EL PLANETA – IMPULSA TU ECONOMÍA, “El mejoramiento de la eficiencia energética de los equipos de enfriamiento”, el cual fue emitido para El Salvador por parte de *efficient appliances & equipment, Global Partnership Programme*.

El factor de emisión de carbono fue proporcionada por el PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y para siete pequeñas naciones insulares, CLASP hizo las extrapolaciones respectivas.

A continuación se muestra la tabla con los resultados de los cálculos para las emisiones de dióxido de carbono del consumo total del hangar .

<b>Emisiones de dióxido de carbono al año del edificio</b>		
<b>Energético (línea base)</b>	<b>kWh/año</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub>/año</b>
Energía eléctrica (consumo real)	1,815.39	1,234.47
Energía eléctrica (simulación)	1,929.80	1,312.26

Tabla 13. Emisiones de CO<sub>2</sub> anual del edificio

Luego se muestran las emisiones de las aplicaciones de las mejoras una por una y las reducciones proyectadas por estas.

<b>Propuesta de ahorro</b>	<b>Reducciones esperadas</b>		
	<b>Consumo de electricidad</b>	<b>Emisión anual proyectada de CO<sub>2</sub></b>	<b>Reducción proyectada de emisiones de CO<sub>2</sub></b>
<b>Unidades</b>	<b>kWh/año</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub>/año</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub>/año</b>
Configuración de termostatos	1,928.90	1,311.65	0.61
Instalación de láminas de control solar (window film)	1,925.80	1,309.54	2.72
Renovación de equipos de planta de aire	1,595.60	1,085.01	227.26
Establecimiento de horarios para los GPU	1,837.30	1,249.36	62.90
<b>TOTAL</b>			<b>293.49</b>

Tabla 14. Reducciones esperadas de emisión de CO<sub>2</sub> anual del edificio por cada propuesta implementada

### 5.7 Indicadores de desempeño energético

Un indicador de desempeño energético (IDEn) es un valor cuantitativo que pretende medir y aportar información sobre el desempeño energético de una organización.

En el sector servicios es difícil medir la cantidad de servicios realizados, por lo que los IDEn que se utilizan se basan en repercutir el consumo de energía en otras unidades medibles, como son la superficie del edificio en el que se realiza la actividad, el número de empleados que trabajan para la organización o las horas de trabajo realizadas.

A continuación se presentan los indicadores con mayor relevancia, actuales y los obtenidos con las propuestas implementadas. Para calcular estos se utilizaron datos proporcionados por la empresa, tales como:

- Horas de trabajo promedio al día: 20 horas
- Número promedio de empleados en el hangar: 400 empleados
- Área del hangar: 23,313.95 m<sup>2</sup>

	Consumo anual de energía kWh/año	Emisión anual de CO <sub>2</sub> kg CO <sub>2</sub> /año	Indicadores de desempeño energético actuales			
			Consumo energético/superficie del edificio	Consumo energético/número de empleados	Consumo energético/horas trabajadas	Emisión anual de CO <sub>2</sub> por empleado
			kWh/año/m <sup>2</sup>	kWh/año/empleado	kWh/año/h/año	kg CO <sub>2</sub> /año/empleado
<b>Consumo real</b>	1,815.39	1,234.47	0.0779	4.5385	0.2487	3.0862
<b>Consumo simulado</b>	1,929.80	1,312.26	0.0828	4.8245	0.2644	3.2807

Tabla 15. Indicadores de desempeño energético actuales real y simulado

Propuesta de ahorro	Consumo de electricidad kWh/año	Reducción del consumo eléctrico kWh/año	Emisión anual proyectada de CO <sub>2</sub> kg de CO <sub>2</sub> /año	Reducción proyectada de emisiones de CO <sub>2</sub> kg de CO <sub>2</sub> /año	Indicadores de desempeño energético			
					Consumo energético/superficie del edificio kWh/año/m <sup>2</sup>	Consumo energético/número de empleados kWh/año/empleado	Consumo energético/horas trabajadas kWh/año/h/año	Emisión anual de CO <sub>2</sub> por empleado kg CO <sub>2</sub> /año/empleado
Unidades	kWh/año	kWh/año	kg de CO <sub>2</sub> /año	kg de CO <sub>2</sub> /año	kWh/año/m <sup>2</sup>	kWh/año/empleado	kWh/año/h/año	kg CO <sub>2</sub> /año/empleado
Configuración de termostatos	1,928.90	0.90	1,311.65	0.61	0.0827	4.8223	0.2642	3.2791
Instalación de láminas de control solar (window film)	1,925.80	4.00	1,309.54	2.72	0.0826	4.8145	0.2638	3.2739
Renovación de equipos de planta de aire	1,595.60	334.20	1,085.01	227.26	0.0684	3.9890	0.2186	2.7125
Establecimiento de horarios para los GPU	1,837.30	92.50	1,249.36	62.90	0.0788	4.5933	0.2517	3.1234
<b>Total</b>		<b>431.60</b>		<b>293.49</b>				

Tabla 16. Indicadores de desempeño energético obtenidos al implementar cada propuesta de ahorro

Se puede observar que los indicadores proyectados disminuyen respecto a los indicadores simulados actuales. Esto se hace más evidente al aplicar la tercera y cuarta propuesta de mejora. Cabe recalcar que cuanto menores sean estos indicadores, mayor es el desempeño energético del sistema.

## CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN

- Los resultados presentados por el modelo eQuest poseen mucha coincidencia con el consumo real de electricidad. Durante los meses que se presenta una notoria diferencia son: Mayo, Junio, Julio, Agosto. Probablemente, esto pudo darse debido a que la compañía se vio impactada por la pandemia de COVID-19. Esto afecta a que el resultado total de kWh anuales simulados en comparación a los reales, presenten una considerable diferencia. Sin embargo esto no impide que sea un modelo aceptable para efectos de comparaciones.
- Los resultados obtenidos, demuestran la viabilidad de implementación de distintas medidas de ahorro del consumo energético para el Hangar 6. La implementación de las medidas ofrece fuertes beneficios económicos, una reducción significativa del impacto ambiental de la instalación, y contribuirá a mejorar el confort térmico del edificio en las respectivas áreas de trabajo.
- Al implementar todas las medidas que se han analizado en el Capítulo V: Propuestas de ahorro energético. Se obtiene un ahorro de 22.08% en el costo del consumo energético anual para la empresa.
- Luego de la realización del diagnóstico a AEROINDUSTRIA, los resultados indicaron que se cumple solamente con 19% de los requisitos de la norma ISO 50001 en las operaciones diarias, mientras que el 81% restante se debe implementar, documentar, registrar y monitorear para que el sistema de gestión energética pueda funcionar.
- La empresa AEROINDUSTRIA no cuenta con un sistema de auditorías energéticas. Por lo que no se cuenta con información esencial sobre el uso de energía y su rendimiento.
- Al observar los resultados de la implementación de la norma ISO 50001 se observa que se puede tener un mejor aprovechamiento de la alta gerencia en AEROINDUSTRIA para asegurar el éxito de la organización y que sea más efectiva.

- Dado que existe una política pública de austeridad en el sector público se recomienda realizar campañas de concientización a nivel del área de operaciones y administrativos sobre el uso adecuado de los recursos energéticos que dispone la organización.
- A través de la guía de implementación de la norma ISO 50001 aplicada en este trabajo de investigación, se observan los beneficios que poner en marcha el sistema de gestión energética proporcionará a la organización.
- De las propuestas que se ingresaron a eQuest, la que representa un mayor ahorro en el costo total del consumo energético anual, es la medida de cambiar las plantas de aire por equipos más eficientes. Ya que representan un ahorro de \$51,640.00.
- eQuest, por ser una tecnología que se aplica usualmente en regiones de Europa y EEUU, y no ha sido explotada en climas tropicales como nuestro país, posee una deficiente base de datos climatológicos ya que para El Salvador se cuenta con dos bases de datos: Ilopango y Acajutla.
- Tal como se demostró en el estudio, eQuest es fácil de usar y eficiente en la muestra de resultados que ayudan en la fase de diseño de una edificio. Si comparamos con otro software del cual investigamos como EnergyPlus que ayuda a modelar sistemas complejos pero la simulación consume más tiempo del usuario. La elección del software depende de la usabilidad y la aplicabilidad del programa.
- A diferencia de EnergyPlus, eQuest cuenta con una interfaz gráfica amigable que hace mucho más rápido y fácil la descripción del modelo, junto con la de los sistemas HVAC asociado al mismo.
- El término EER utilizado para determinar la eficiencia energética de los equipos de aire acondicionado o bombas de calor. En la medida de sustitución de equipo se recomienda tomar en cuenta que el EER del equipo nuevo es mayor que el equipo actual, se puede hacer un mayor gasto pero conlleva a un menor consumo que se traducirá en un ahorro año tras año.
- El siguiente cuadro muestra el Resumen del consumo energético comparando los datos reales contra los datos obtenidos mediante la simulación, el principal

problema de la diferencia es la base de datos del clima ya que se utilizó una que no corresponde al Departamento donde se ubica el hangar, y ya que no se puede ingresar al software eventos externos como lo fue la pandemia COVID-19 ya que debido a esto el servicio del hangar disminuyó por unos meses.

<b>Resumen del consumo de energéticos (datos de línea base, año 2020)</b>			
<b>Energético (línea base)</b>	<b>kWh/año</b>	<b>\$/año</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub>/año</b>
Energía eléctrica (consumo real)	1,815.39	\$ 286,768.14	1,234.47
Energía eléctrica (simulación)	1,929.80	\$ 302,122.00	1,312.26

- Luego de hacer las simulaciones en eQuest obtenemos los resultados de Consumo total de energía eléctrica en kWh/año y su respectivo costo. Podemos ver cuál será la inversión beneficios y retorno de las inversiones que se proponen,

<b>Propuesta de ahorro a implementar</b>	<b>Reducciones esperadas</b>				<b>Inversión, beneficios y retorno de la inversión</b>		
	<b>Consumo total de energía eléctrica</b>	<b>Costo total por energía eléctrica</b>	<b>Emisión anual proyectada de CO<sub>2</sub></b>	<b>Reducción proyectada de emisiones de CO<sub>2</sub></b>	<b>Inversión proyectada</b>	<b>Ahorro Proyectado</b>	<b>Recuperación de inversión</b>
<b>Unidades</b>	<b>kWh/año</b>	<b>\$/año</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub>/año</b>	<b>kg de CO<sub>2</sub>/año</b>	<b>\$</b>	<b>\$/año</b>	<b>años</b>
Configuración de termostatos	1,928.90	\$ 302,009.00	1311.652	0.61	\$ -	\$ 113.00	0.00
Instalación de láminas de control solar (window film)	1,925.80	\$ 301,243.00	1309.544	2.72	\$ 2,831.33	\$ 766.00	3.31
Renovación de equipos de planta de aire	1,595.60	\$ 250,369.00	1085.008	227.26	\$ 70,000.00	\$ 51,640.00	1.36
Establecimiento de horarios para los GPU	1,837.30	\$ 287,825.00	1249.364	62.90	\$ -	\$ 14,184.00	0.00
<b>TOTAL</b>				<b>293.49</b>	<b>\$72,831.33</b>	<b>\$ 66,703.00</b>	<b>1.09</b>

- Se puede observar que los indicadores proyectados disminuyen respecto a los indicadores simulados actuales. Esto se hace más evidente al aplicar la tercera y cuarta propuesta de mejora. Cabe recalcar que cuanto menores sean estos indicadores, mayor es el desempeño energético del sistema.

Propuesta de ahorro	Consumo de electricidad	Reducción del consumo eléctrico	Emisión anual proyectada de CO <sub>2</sub>	Reducción proyectada de emisiones de CO <sub>2</sub>	Indicadores de desempeño energético			
					Consumo energético/superficie del edificio	Consumo energético/número de empleados	Consumo energético/horas trabajadas	Emisión anual de CO <sub>2</sub> por empleado
Unidades	kWh/año	kWh/año	kg de CO <sub>2</sub> /año	kg de CO <sub>2</sub> /año	kWh/año/m <sup>2</sup>	kWh/año/empleador	kWh/año/h/año	CO <sub>2</sub> /año/empleador
Configuración de termostatos	1,928.90	0.90	1,311.65	0.61	0.0827	4.8223	0.2642	3.2791
Instalación de láminas de control solar (window film)	1,925.80	4.00	1,309.54	2.72	0.0826	4.8145	0.2638	3.2739
Renovación de equipos de planta de aire	1,595.60	334.20	1,085.01	227.26	0.0684	3.9890	0.2186	2.7125
Establecimiento de horarios para los GPU	1,837.30	92.50	1,249.36	62.90	0.0788	4.5933	0.2517	3.1234
<b>Total</b>		431.60		293.49				

- Mejorar la imagen de la organización y reputación corporativa implementando un Sistema de Gestión Energética, que implica, comunicación externa de su compromiso con la gestión de la energía.
- Dar a conocer las repercusiones del uso inadecuado de la energía tanto en el ámbito económico como en el medioambiental y los ahorros que se pueden obtener haciendo un buen uso de los recursos.

## BIBLIOGRAFÍA

- al Habibi, H. (2019). *ANALYSIS AND OPTIMIZATION OF ENERGY PERFORMANCE FOR A BUILDING IN CSUS CAMPUS*.  
<https://scholarworks.calstate.edu/downloads/8049g964r?locale=es>
- AZUCENA RAMÍREZ, J. J. A., CHICAS RIVAS, J. E., & ROMERO SARMIENTO, W. E. (2015). *Estudio para el Ahorro de energía eléctrica en el Campus Central de la Universidad de El Salvador, elaboración de proyectos de Eficiencia Energética*.  
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/7470/1/Estudio%20para%20el%20ahorro%20de%20energ%C3%ADa%20el%C3%A9ctrica%20en%20el%20Campus%20Central%20de%20la%20Universidad%20de%20El%20Salvador,%20elaboraci%C3%B3n%20de%20proyectos%20de%20eficiencia%20energ%C3%A9tica.pdf>
- Barrera, J. (2020). Demanda de energía recuperará niveles pre pandemia hasta 2023. *Diario.El mundo.Sv*. <https://diario.elmundo.sv/demanda-de-energia-recuperara-niveles-prepandemia-hasta-2023/>
- Campos, G. (Auditor de Calidad AEROMAN) (2021). *Aplicación de los Requisitos del Sistema de Gestión de la Energía según ISO 50001* [In person]. AEROMAN.
- Chavez , G.(Gerente de Operaciones) (2021). *¿La alta gerencia está al tanto de los consumos más significativos en el Hangar?* [In person]. AEROMAN.
- Consejo Nacional de Energía. (2010). *Política Energética Nacional de El Salvador 2010-2024*.
- Consejo Nacional de Energía. (2017a). *Manual de Recomendaciones para el uso eficiente de la energía en el gobierno central*. <https://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/manual-recomendaciones-para-el-uso-eficiente-de-la-energa-en-el-gobierno.pdf>
- Consejo Nacional de Energía. (2017b, September). *USO EFICIENTE DE AIRES ACONDICIONADOS Y VENTILADORES*. <https://estadisticas.cne.gob.sv/wp-content/uploads/2017/09/uso-eficiente-de-aires-acondicionados-y-ventiladores.pdf>
- Cortés Villagra, M. A. (n.d.). *Determinación del Consumo y Eficiencia Energética del inmueble: Edificio Pabellón de Anatomía Humana*. Retrieved October 23, 2021, from <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2015/bmfcic828d/doc/bmfcic828d.pdf>
- CORTEZ BONILLA, F. R., HERNÁNDEZ ALFARO, M. L., & MARTELL MARTÍNEZ, M. A. (2018). *DISEÑO DE UN SISTEMA DE GESTIÓN ENERGÉTICA BASADO EN LA NORMA ISO 50001 PARA LA FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*.

- DAIKIN. (2015, October). *VRV IV R-410A Heat Pump 60Hz*, DAIKIN.  
[https://daikinlatam.com/wp-content/uploads/2020/01/Daikin\\_vrv\\_indoor\\_units\\_brochure\\_eng.pdf](https://daikinlatam.com/wp-content/uploads/2020/01/Daikin_vrv_indoor_units_brochure_eng.pdf)
- DOE. (2015). *An assessment of energy technologies and research opportunities*.  
[https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/QuadrennialTechnology-Review-2015\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/QuadrennialTechnology-Review-2015_0.pdf)
- Eficiencia energética en la edificación*. (n.d.). Arquitecturaenacero.Org.  
<http://www.arquitecturaenacero.org/sustentable/eficiencia-energetica-en-la-edificacion>
- eficienciaenergetica.es*. (n.d.). Retrieved October 23, 2021, from  
<http://www.eficienciaenergetica.es/que-es-la-eficiencia-energetica/>
- eQuest. (2008). *eQUEST-The quick energy simulation tool, an overview*.  
<https://www.doe2.com/download/equest/eQUESTv3-Overview.pdf>
- Firstgreen. (2020, September 4). *Review of Building Energy Simulation Softwares*.  
<https://www.firstgreen.co/review-of-building-energy-simulation-softwares/>
- GALÁN PARRAS, R. B. (2014). *Estudio de demanda energética utilizando software y hardware libre en el Edificio de Ingeniería Industrial, UES*.  
<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6732/1/Estudio%20de%20demanda%20energética%20utilizand%20software%20y%20hardware%20libre%20en%20el%20edificio%20de%20Ingenier%C3%ADa%20Industrial,%20UES.pdf>
- Galdamez, C. (Jefe de Operaciones AEROMAN) (2021). *¿Cuáles son las actividades de mayor consumo energético en el Hangar?* [In person]. AEROMAN.
- Galdamez, I. C. (Jefe de Operaciones AEROMAN) (2021). *¿Existe Política energética en AEROMAN?* [In person]. AEROMAN.
- Gómez, J. (2013). *Informe de auditoría energética de la Facultad de Derecho (Donostia)*.  
<https://es.scribd.com/document/353619212/Informe-Auditoria-Energetica-Sematek>
- GREENPYME. (n.d.). *eficiencia energética*. Retrieved October 23, 2021, from  
<http://greenpyme.iic.org/es/>
- Hirsch, J. J. (n.d.). *eQUEST*. Retrieved October 23, 2021, from <https://www.doe2.com/equest/>
- Henriquez, C. (Gerente Instalaciones Eléctricas AEROMAN) (2021). *Viabilidad de implementación ISO 50001 en AEROMAN* [In person]. AEROMAN.
- HOBART, I. G. (n.d.). *HOBART POWERMASTER® 2400*. Retrieved October 23, 2021, from  
[https://itwgse.com/wp-content/uploads/old-files/214\\_ITW\\_GSE\\_Hobart\\_2400\\_30-90kVA\\_Sept\\_2016.pdf](https://itwgse.com/wp-content/uploads/old-files/214_ITW_GSE_Hobart_2400_30-90kVA_Sept_2016.pdf)

- Martínez de Carranza, M. S. (2019). *Lineamientos de buenas prácticas para el ahorro y uso eficiente de la energía*.  
<https://www.transparencia.gob.sv/institutions/minec/documents/370782/download>
- Maxoulis, C., Panayiotou, G., Neophytou, M., & Kalogirou, S. (2011). Comparison between measured and calculated energy performance for dwellings in a summer dominant environment. *Lancet*, 43, 3099–3105. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.08.005>
- Mehta, C. (2021). *A Case Study in Actual Building Performance and Energy Modeling with Real Weather Data*. <https://doi.org/10.32920/ryerson.14652525.v1>
- Montoya, A. (Técnico experto en electrónica AEROMAN) (2021). *Fuentes de energía en el Hangar* [In person]. AEROMAN.
- Naciones Unidas, & CEPAL. (2016). *Informe nacional de monitoreo de la eficiencia energética de El Salvador*.
- Organización Internacional de Normalización. (2011). *Gana el desafío de la energía con ISO 50001*. [www.iso.org](http://www.iso.org)
- PNUMA, REGATTA, & Sustainable Energy For All. (2013). *ENFRÍA EL PLANETA – IMPULSA TU ECONOMÍA “El mejoramiento de la eficiencia energética de los equipos de enfriamiento.”* [https://cambioclimatico-regatta.org/index.php/en/unfccc-negotiations?task=callelement&format=raw&item\\_id=2726&element=f5c6ae7f-9618-47fc-9807-b2da8f650778&method=download&args\[0\]=0](https://cambioclimatico-regatta.org/index.php/en/unfccc-negotiations?task=callelement&format=raw&item_id=2726&element=f5c6ae7f-9618-47fc-9807-b2da8f650778&method=download&args[0]=0)
- POWERFOIL® 8 DIAMETER INDUSTRIAL GRADE WITH DOUBLE LIP-SEALED GEARBOX*. (2018). <https://www.bigassfans.com/docs/powerfoil8/cutsheet-powerfoil8.pdf>
- Rallapalli, H. S. (2010). *A Comparison of EnergyPlus and eQUEST Whole Building Energy Simulation Results for a Medium Sized Office Building*.  
<https://core.ac.uk/download/pdf/79559397.pdf>
- ROMERO ARGUETA, C. M. (2014). *ESTUDIO DE ADAPTACION DE LAS BOMBAS DE CALOR GEOTERMICAS DE BAJA ENTALPIA, A LAS CONDICIONES DE MEDIO AMBIENTE DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR*.  
<http://opac.fmoues.edu.sv/infolib/tesis/50107999.pdf>
- Saravia, I. R. (2017). *Introducción a los sistemas de simulación energética como herramienta para la eficiencia en las edificaciones*.
- Serrano Yuste, P. (2015, January 13). *¿Sabemos definir la envolvente térmica de los edificios y su eficiencia energética?* [Certificadosenergeticos.Com](http://Certificadosenergeticos.Com).  
<https://www.certificadosenergeticos.com/sabemos-definir-envolvente-termica-edificios-eficiencia-energetica>

Song, J., Zhang, X., & Meng, X. (2015). Simulation and Analysis of a University Library Energy Consumption based on EQUEST. *Procedia Engineering*, 121, 1382–1388.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.09.028>

Sosa, D. (Supervisor de Operaciones AEROMAN) (2021). *¿Considera usted que el personal tiene un manejo consciente al momento de utilizar los equipos asignados en el hangar?* [In person]. AEROMAN.

*Unidad Condensadora Comercial Gemini™ Solo frio 20 Ton 440/3/60 - Condensadoras Comerciales - Divididos Comerciales - Equipo Comercial | CARRIER.* (n.d.). Retrieved October 23, 2021, from <https://www.carrierb2b.com/carrier-gemini-20-ton-commercial-air-cooled-condensing-unit-460-3-60-38auza25a0a6-0a0a0>

Vicente, J. (2014). *Eficiencia energética parte I: antecedentes históricos.* Espaciomasabierto.Com. <https://www.espaciomasabierto.com/eficiencia-energetica-parte-i-antecedentes-historicos/>

York International Corporation. (2018). *TECHNICAL GUIDE R-410A ZF SERIES 6.5 - 12.5 TON 60 Hertz.* [http://clipartes.com.mx/wp-content/uploads/2019/07/ZF-6-12-CP\\_compressed.pdf](http://clipartes.com.mx/wp-content/uploads/2019/07/ZF-6-12-CP_compressed.pdf)