

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



**ANÁLISIS Y ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO  
DE LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE  
EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**ARTURO JOSÉ MARTÍNEZ MEDRANO**

**HENRY ALFREDO CORTEZ HIDALGO**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO ELECTRICISTA**

CIUDAD UNIVERSITARIA, DICIEMBRE 2023

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. JUAN ROSA QUINTANILLA QUINTANILLA**

SECRETARIO GENERAL:

**LIC. PEDRO ROSALÍO ESCOBAR CASTANEDA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. LUIS SALVADOR BARRERA MANCÍA**

SECRETARIO:

**ARQ. RAUL ALEXANDER FABIÁN ORELLANA**

**ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

DIRECTOR INTERINO:

**ING. WERNER DAVID MELENDEZ VALLE**

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:

**ANÁLISIS Y ESTUDIO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA  
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

Presentado por:

**ARTURO JOSÉ MARTÍNEZ MEDRANO  
HENRY ALFREDO CORTEZ HIDALGO**

Trabajo de graduación aprobado por:

Docente Asesor:

**ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ.**

SAN SALVADOR, DICIEMBRE 2023

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

**DOCENTE ASESOR:**

ING. JOSÉ MIGUEL HERNANDEZ.


## NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, sábado 9 de diciembre de 2023, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 8:00 a.m. horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. Werner David Meléndez Valle  
Director Interino

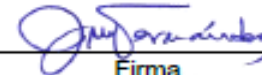
  
\_\_\_\_\_  
Firma 

2. MSc. José Wilber Calderón Urrutia  
Secretario

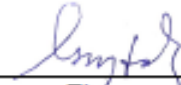
  
\_\_\_\_\_  
Firma

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

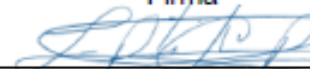
- ING. JOSÉ MIGUEL HERNÁNDEZ  
(Docente Asesor)

  
\_\_\_\_\_  
Firma

- ING. GERARDO MARVIN JORGE HERNÁNDEZ

  
\_\_\_\_\_  
Firma

- MSC. LUIS ROBERTO CHÉVEZ PAZ

  
\_\_\_\_\_  
Firma

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

ANÁLISIS Y ESTUDIO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA DE ORIENTE DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

A cargo de los Bachilleres:

- CORTEZ HIDALGO HENRY ALFREDO
- MARTÍNEZ MEDRANO ARTURO JOSÉ

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final: 8.4  
( OCHO PUNTO CUATRO )

## **AGRADECIMIENTOS**

En este día tan especial quiero darle gracias primeramente a Dios porque desde el principio de la carrera hasta el final ha estado presente ayudándome y dándome fuerzas en los momentos más complicados, por eso en este triunfo la gloria y la honra sean para él.

Muchas gracias a mis padres Ruth Elizabeth Hidalgo de Cortez y Héctor Alfredo Cortez Cortez por estar siempre apoyándome tanto económicamente como anímicamente, porque sé el esfuerzo que han puesto para poder llegar a este día y sé que se siente muy orgullosos de este logro, gracias sobre todo por inculcar valores en mí que jamás se me olvidarán y que les prometo trataré de ponerlos siempre en práctica, estoy seguro que jamás hubiese logrado llegar a la meta sin ustedes y es por eso que en este día les dedico este momento. No quiero olvidarme también de mis hermanos Katherine Elena Cortez de Flores, primeramente, gracias por ser un ejemplo de que cuando uno se propone algo con esfuerzo se logra, gracias también por ser un apoyo para mi familia en los momentos en que más hemos necesitado y sé que Dios te va a recompensar siempre y dedicar este triunfo a mi sobrino Christian Eduardo a quien amo mucho.

A mi hermano Héctor Alexis Cortez Hidalgo ha sido un placer y un honor compartir esta carrera contigo nadie más que nosotros sabe lo que hemos pasado, lo que hemos sufrido y lo que hemos reído juntos, me alegro mucho de que tú también hayas llegado a la meta jamás voy a olvidar ese primer día de clases cuando estábamos muertos de nervios porque no sabíamos lo que nos esperaba, ahora viendo hacia atrás todo eso nos ayudó para cumplir el objetivo, por eso también te quiero dedicar este título porque sé que estás feliz y orgulloso de mí, así como yo lo estoy de ti. Un abrazo mi hermano, mi amigo, mi colega.

También recordar en este momento a todos y cada una de las personas que logré conocer en estos años, hice muchas amistades con las cuales compartí momentos muy agradables sobre todo a los colegas de Ingeniería Eléctrica porque sé que los momentos de estrés son muchos pero sentarnos en las mesitas de la escuela, en el redondel de la facultad o en cualquier otro lugar y platicar y reírnos era como un alivio a toda la carga que llevábamos por eso también quiero agradecerles a ustedes que no podría mencionarlos porque son muchos pero siempre los llevaré en mi corazón.

Y por último, pero no menos importante muchas gracias a todos los docentes que formaron parte de mi carrera porque gracias a ustedes he logrado obtener el conocimiento que ahora como profesional debo poner en práctica, gracias por formar carácter en mí, por exigirme y sobre todo por hacerme entender que las cosas difíciles son las que más se valoran al final. Un reconocimiento especial para el Ing. José Hernández, nuestro docente asesor que nos acompañó en todo el trabajo de graduación y a Reinita por toda la atención brindada en este proceso y porque siempre que hemos necesitado de su ayuda ha estado pendiente muchas gracias y que Dios la bendiga.

**HENRY ALFREDO CORTEZ HIDALGO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco a Dios Todopoderoso por bendecirme todo el tiempo y a la Virgen María por interceder con su hijo amado Jesucristo y permitir que culmine la carrera profesional.

A mi madre Sandra Marina Medrano Serpas por ser el apoyo incondicional y confiar en mí durante todo este camino, que a pesar de las dificultades siempre ha sido el pilar fundamental en mi vida. A mi abuela Blanca Lidia Serpas Solorzano quien me ha brindado todo para estar estable y el apoyo que me ha dado. A Erick Eduardo Martínez Medrano por ser un buen hermano durante todo este proceso. Y a mis tías que están lejos, Sonia, Yesenia, Marina, Orbelina, Carmen, Lilian, Guillerma, Candelaria, Vicente, Roberto y algunos que ya partieron de esta vida.

Agradezco al sacerdote Fabricio Torres Escolán quien ha orado por mí y mi familia, su motivación y apoyo han sido importantes durante este proceso de mi carrera como ingeniero electricista utilizando sus dones para ayudar a los demás, que Dios lo bendiga y lo proteja.

Agradezco al asesor Ing. Miguel Hernández por su apoyo y su guía durante este proceso, y a todos los ingenieros que fueron parte del aprendizaje y conocimientos que he adquirido durante este camino profesional.

Agradezco a la niña Reina Vides por su sencillez y humildad que ha mostrado a nosotros como estudiantes y el apoyo que brinda al estar pendiente de los procesos que toca realizar durante toda la carrera lo que demuestra que tiene un corazón bondadoso.

**ARTURO JOSÉ MARTÍNEZ MEDRANO**

## ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.....	X
ÍNDICE DE GRAFICOS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIV
LISTA DE NOMENCLATURA.....	16
1. GENERALIDADES.....	17
1.1 RESUMEN .....	17
1.2 OBJETIVOS .....	17
1.3 ALCANCES.....	17
1.4 ANTECEDENTES .....	18
1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	18
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	18
2. MARCO TEÓRICO.....	19
2.1 ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SALVADOR.....	19
2.2 ¿QUE ES LA EFICIENCIA ENERGÉTICA? .....	20
2.2.1 Importancia de la eficiencia energética .....	20
2.2.2 Eficiencia energética en El Salvador .....	21
2.3 NORMA ISO 50001. ....	22
2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS .....	24
2.5 NORMA ISO 50002. ....	26
2.5.1 Acciones en el desarrollo de una auditoría energética de edificio. ....	26
2.6 NORMA ISO 50006. LA LÍNEA BASE Y LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGETICO. ....	28
2.7 SIMULACIÓN ENERGÉTICA. ....	29
2.7.1 Beneficios de la simulación energética. ....	30
2.7.2 Simuladores de Energía.....	31
2.7.3 Energy Plus. ....	32
2.8 INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE UTILIZADO.....	33
2.8.1 eQuest .....	33
2.8.2 Limitaciones de eQUEST:.....	34
Capacidad de modelado eficaz de eQUEST.....	34



2.8.3	Uso de herramienta Wizard y la interfaz de trabajo.....	34
2.8.4	Uso de herramienta de medidas de eficiencia energética.....	43
3.	METODOLOGÍA DE CONDICIONES DEL EDIFICIO Y DESCRIPCIONES DE LAS INSTALACIONES. .	46
3.1	EDIFICIOS DE LAS INSTALACIONES EN LA FMO .....	46
3.2	UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD Y DATOS CLIMÁTICOS.....	48
3.2.1	Datos climáticos. ....	49
3.3	ORIENTACIÓN DE LOS EDIFICIOS Y TAMAÑO .....	50
3.4	ENVOLVENTE DEL EDIFICIO .....	51
3.5	TECHO Y TRAGALUCES .....	51
3.6	PRINCIPALES FUENTES DE CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS EDIFICIOS.....	52
3.6.1	Sistema de Iluminación .....	52
3.6.2	Sistemas de aire acondicionado y controles de la instalación .....	53
3.6.3	Consumo de eléctrico del edificio existente .....	55
3.7	ZONAS DE OCUPACIÓN Y HORARIOS .....	56
3.8	CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TARIFAS DE SERVICIOS ELÉCTRICO.....	57
3.9	VALIDACION DE DATOS DEL MODELO DE EQUEST .....	60
3.10	DATOS RECOPIADOS DE LOS EDIFICIOS RESTANTES .....	61
4.	MODELADO Y SIMULACIÓN EN EQUEST. ....	63
4.1	Información general del edificio de estudio .....	63
4.2	Definir horarios de trabajo y ocupación de las instalaciones .....	64
4.3	Tarifas de electricidad .....	65
4.4	Selección, creación y edición de los niveles.....	66
4.5	Tipo del edificio e información general del piso. ....	67
4.6	Zona perimetral del edificio .....	68
4.7	Elementos de la envolvente de la construcción.....	68
4.8	Elementos al interior del Edificio .....	69
4.9	Definición de puertas exteriores.....	69
4.10	Definición de Ventanas Exteriores. ....	70
4.11	Definición de tragaluces (Roof Skylights).....	71
4.12	Definición de Horarios de Ocupación.....	71
4.13	DEFINICIÓN DE ÁREAS DEL EDIFICIO.....	72
4.13.1	Actividades por zonas.....	72
4.14	Asignación de iluminación de zonas .....	73

4.15	DEFINICIÓN DE EQUIPOS MISCELÁNEOS.....	74
4.15.1	Densidad de potencia de equipos varios (durante horas de ocupación).....	74
4.16	Definición de equipos de aire Acondicionado.....	76
4.17	Diseño final de los Edificios en eQuest .....	77
5.	ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	79
5.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MODELO LÍNEA BASE .....	79
5.2	PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	81
5.2.1	PRIMERA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: ILUMINACIÓN LED .....	82
5.2.1	SEGUNDA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: RENOVACIÓN DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO POR MODELOS MAS EFICIENTES.....	85
5.2.2	TERCERA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: VENTANAS DOBLES REFLECTIVAS	88
5.2.3	CUARTA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: VENTILADORES EFICIENTES.....	90
5.2.4	Emisiones de <b>CO2</b> del Edificio 1 de Medicina .....	92
5.2.5	Resumen de Medidas de Eficiencia Energética.....	93
5.3	INDICADORES DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO.....	93
5.4	PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICO EN BASE A LA NORMA ISO 50001.....	94
5.4.1	ILUMINACIÓN.....	94
5.4.2	EQUIPOS ELÉCTRICOS.....	97
5.4.3	EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO.....	98
6.	CONCLUSIONES .....	100
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	102
8.	ANEXOS .....	103

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1	Capacidad Total Instalada en El Salvador, año 2019 y 2020, Fuente Unidad de Transacciones y SIGET.....	17
Figura 2.2	Energía consumida por sector económico, año 2019, Fuente CNE.....	18
Figura 2.3	Gráfica de Matriz energética nacional 2022.....	20
Figura 2.4	Sencillo esquema de ventilación de un hogar mediante convección natural.....	23
Figura 2.5.	Diagrama de acciones que se deben seguir en una auditoria energética.....	25

Figura 2.6 Se crea un nuevo proyecto con la opción Wizard.....	31
Figura 2.7 Dos tipos de “Wizard” .....	32
Figura 2.8 Cuadro que contiene las 41 pantallas de entrada de datos.....	32
Figura 2.9 Wizard de diseño esquemático.....	33
Figura 2.10 Pantalla 3 de huella del edificio.....	34
Figura 2.11. Pantalla de materiales de construcción.....	35
Figura 2.12. Puertas exteriores.....	35
Figura 2.13. Pantalla para seleccionar ventanería.....	36
Figura 2.14 Sombra de ventanas exteriores.....	37
Figura 2.15. Claraboyas en el último piso.....	37
Figura 2.16. Asignación de áreas de actividades.....	38
Figura 2.17 Cargas de ocupación por áreas de actividades.....	38
Figura 2.18. Cargas cuando no hay ocupación.....	39
Figura 2.19. Información del calendario principal.....	40
Figura 2.20. Botón para seleccionar eficiencia energética.....	40
Figura 2.21 Cuadro de creación de medida de eficiencia.....	41
Figura 2.22. Subcategorías de envolvente de fachada.....	41
Figura 2.23. Información de la medida de eficiencia energética.....	42
Figura 2.24. Detalles de la medida de eficiencia energética.....	42
Figura 3.1 Edificio de Medicina 1.....	44
Figura 3.2 Edificio de Medicina 2.....	44
Figura 3.3 Edificio Ex Administrativo o Riñón.....	44
Figura 3.4 Edificio Biblioteca Universitaria.....	44
Figura 3.5 Plano Autocad de la Facultad Multidisciplinaria Oriental.....	45
Figura 3.6 Vista aérea del edificio 1 y 2 del departamento de medicina de la FMO. GOOGLE EARTH.....	47
Figura 3.7 Tragaluz de techo de edificio del departamento de medicina.....	48
Figura 3.8 Lámpara Fluorescente 3x32 W con las que cuenta el edificio de medicina 1.....	50
Figura 3.9 Sistemas HVAC en el edificio medicina 1.....	51

Figura 3.10 Cubilo de docentes en el edificio 1.....	51
Figura 3.11 Secretaria en el edificio 1.....	51
Figura 3.12 Flujograma que muestra el horario anual de clases impartidas.....	53
Figura 3.13 Pliego tarifario SIGET del año 2022.....	55
Figura 4.1 Selección General Information y carga de datos meteorológicos, Project Site Data.....	60
Figura 4.2: Información del proyecto, Project Site Data.....	61
Figura 4.3: Definición de temporadas del edificio o proyecto, Project Site Data.....	62
Figura 4.4: Definición de precios en cargos de servicios eléctricos, Project Site Data.....	62
Figura 4.5: Definición de horarios en cargos de servicios eléctricos, Project Site Data.....	63
Figura 4.6 El diseño esquemático DDW nos permite hacer modificaciones en cada nivel.....	63
Figura 4.7: Navegador de las partes que conforma el Edificio simulado, Project Navigator.....	64
Figura 4.8: Definición del nombre, del tipo de Edificio y área de la construcción, Nivel 1.....	64
Figura 4.9: Definición del nombre, del tipo de Edificio y área de la construcción, Nivel 1.....	65
Figura 4.10 Selección de los elementos exteriores del Edificio 1, Nivel 1.....	65
Figura 4.11 Selección de los elementos del interior del Edificio 1, Nivel 1.....	66
Figura 4.12 Selección de las características de las puertas del Edificio 1, Nivel 1.....	67
Figura 4.13 Selección del tamaño de las ventanas y su dirección del Edificio 1, Nivel 1.....	67
Figura 4.14 Selección de las cortinas y su tiempo que permanecen cerradas, edificio 1.....	68
Figura 4.15 Selección si posee o no tragaluz y su tamaño que abarca del Edificio 1, Nivel 1.....	68
Figura 4.16 Selección de los horarios de las oficinas del Edificio 1, Nivel 1.....	69
Figura 4.17 Asignación de areas de actividades del Nivel 1.....	70
Figura 4.18 Asignación de areas de actividades del Nivel 2.....	70
Figura 4.19 Carga de Iluminación interior del Nivel 1.....	71
Figura 4.20 Carga de iluminación interior del Nivel 2.....	71
Figura 4.21 Carga de equipos misceláneos al interior del Nivel 1.....	72
Figura 4.22 Carga de equipos misceláneos al interior del Nivel 2.....	73
Figura 4.23 Sistemas de HVAC creados dentro del edificio.....	73
Figura 4.24 configuración para el sistema HVAC para la zona cubículos.....	74

Figura 4.25 Definición de tamaño y eficiencia del sistema HVAC para la zona cubículos.....	74
Figura 4.26 Configuración de los termostatos para los sistemas HVAC.....	74
Figura 4.27 Edificio 1 de medicina fachada lateral y fachada principal.....	75
Figura 4.28 Edificio 2 de medicina fachada principal creada por eQuest.....	75
Figura 4.29 Fachada principal Edificio de Biblioteca simulada en eQuest .....	75
Figura 4.30 Fachada principal del Edificio “Riñon” creada por eQuest.....	76
Figura 5.1 Modificaciones hechas en las luminarias del primer piso.....	79
Figura 5.2 Modificaciones hechas en las luminarias del segundo piso.....	79
Figura 5.3. Simulación en eQuest de cambio SEER 10 a SEER 18.....	82
Figura 5.4 Ventana doble de vidrio DHV. Fuente DVH.....	85
Figura 5.5 Consumo Línea Base vs Consumo Ventanas Dobles Reflectivas .....	86
Figura 5.6 Consumo Línea Base vs Ventiladores eficientes de EDIFICIO MEDICINA 1 .....	88

### ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Velocidad del viento del año 2022.....	47
Tabla 3.2 Información de los equipos existentes de AC del edificio 1.....	52
Tabla 3.3. Uso de equipos y luminaria del edificio 1 de medicina.....	52
Tabla 3.4 Días festivos, calendario de actividades de la UES 2022.....	54
Tabla 3.5 Consumo de Energía mensual y facturación.....	55
Tabla 3.6 Información General del Edificio 2 de Medicina.....	58
Tabla 3.7: Información General del Edificio Biblioteca.....	59
Tabla 3.8 Información General del Edificio Ex Administrativo “Riñon”.....	59
Tabla 5.1 Consumo de energía en kWh generado por el simulador de energía eQuest.....	77
Tabla 5.2 Comparación de las características de luminarias fluorescentes vs LED.....	81
Tabla 5.3 Escala SEER en eficiencia energética de equipos HVAC.....	84
Tabla 5.4 Comparación entre ventilador de 3 aspas y de pedestal.....	87
Tabla 5.5 Factores de emisión de kgCO <sub>2</sub> .....	88
Tabla 5.6 Emisión de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) del Edificio de Medicina 1.....	88

Tabla 5.7 Resumen de Medidas de Eficiencia Energética aplicada al Edificio de Medicina 1.....	89
Tabla 5.8 Indicadores de rendimiento energético aplicados a los edificios de la FMO.....	90
Tabla 5.9 Indicadores de rendimiento energéticos en el Edificio 1 de Medicina.....	91

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 Datos meteorológicos en San Miguel El Salvador 2022, weatherspark.....	46
Gráfico 3.2 Zonas de paso: pasillos, escaleras, corredor y vestíbulo.....	53
Gráfico 3.3 Consumo de energía mensual en punta.....	56
Gráfico 3.4 Consumo de energía mensual en resto.....	56
Gráfico 3.5 Consumo de energía mensual valle.....	57
Gráfico 3.6 Resultados obtenidos de los kW medidos vs simulados.....	58
Gráfico 5.1 Consumo de energía en kWh generado por el simulador de energía eQuest.....	76
Gráfico 5.2 Distribución del consumo eléctrico del Edificio de Medicina 1.....	77
Gráfico 5.3 Costo monetario asociado al consumo anual del Edificio 1 de Medicina.....	78
Gráfico 5.4 Comparación mensual entre el consumo con lámparas fluorescentes y luminarias LED.....	80
Gráfico 5.5 Comparación del costo anual en energía para los distintos tipos de luminarias.....	80
Gráfico 5.6 Energía consumida Línea Base vs Iluminación LED medida de EE.....	81
Gráfico 5.7 Comparación del consumo eléctrico en el modelo línea base vs uso de SEER 18.....	83
Gráfico 5.8. Resultados anuales de consumo en eQuest aplicando un equipo HVAC más eficiente.....	83
Gráfico 5.9 Consumo Anual de Energía por uso final Línea Base vs HVAC SEER 18.....	84
Gráfico 5.10 Consumo mensual del modelo línea base comparado con el uso de ventanas dobles.....	85
Gráfico 5.11 Comparación del consumo anual entre el modelo base vs usando ventanas dobles.....	86
Gráfico 5.12 Consumo mensual modelo línea base vs ventiladores eficientes.....	87
Gráfico 5.13 Comparación del consumo anual entre el modelo base vs ventiladores eficientes.....	88

Gráfico 5.14 Consumo Anual de Energía por uso final Línea Base vs Ventiladores Eficientes.....	89
Gráfico 8.1: Resultados de la simulación de eQuest del edificio de la BIBLIOTECA del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.....	101
Gráfico 8.2: Resultados de la simulación de eQuest del EDIFICIO 2 DE MEDICINA del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.....	101
Gráfico 8.3: Resultados de la simulación de eQuest del EDIFICIO 1 DE MEDICINA del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.....	102
Gráfico 8.4: Resultados de la simulación de eQuest del “Riñon” del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.....	102
Gráfico 8.5: Resultados de la simulación de eQuest del “Riñon” del gasto anual del consumo eléctrico del año 2022.....	103

## Lista de Nomenclatura

**AC Aire Acondicionado**

**ACM:** Alta Calidad Medioambiental.

**ASHRAE** Sociedad Americana de Ingenieria para Aire Acondicionado, Calefacción y Refrigeración

**BREEAM** Building Research Establishment Enviromental Assesment Methodology

**BEM** Modelado Energetico de Edificios

**CNE** Consejo Nacional de la Energía

**CO<sub>2</sub>:** Dióxido de Carbono.

**DOE** Departamento de Energía

**DVH** Doble Vidriado Hermético

**EE** Eficiencia Energética

**EEM** Medida de Eficiencia Energética

**EEO** Empresa Eléctrica de Oriente

**EER** Ratio de Eficiencia Energética

**EE. UU.** Estados Unidos

**eQuest** Quick Energy Simulation Tool/Herramienta de Simulación Rapida de Energía

**FMO** Facultad Multidisciplinaria Oriental

**GLP:** Gas licuado de petróleo.

**GEI** Gas de efecto invernadero

**GWh** Gigavatio-hora

**HVAC** Calefacción, ventilación y aire acondicionado

**kW** kilovatio

**kWh** Kilovatio-hora

**LED** Diodo Emisor de Luz/ Ligth Emitting Diodo

**LEED** Liderazgo en Energía y Diseño Ambiental / Leadership in Energy & Envirometal design

**SEER** Relación de Eficiencia Energética Estacional

**SGE** Sistema de Gestión de la Energía

**SIGET** Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones.



## **1. GENERALIDADES**

### **1.1 RESUMEN**

A lo largo de los años la Facultad Multidisciplinaria de Oriente de la Universidad de El Salvador ha sido de gran ayuda en la formación de profesionales, ya no es necesario mudarse a la zona central del país para estudiar porque se cuenta con un lugar si se desea desarrollar una carrera y cada vez son más los jóvenes y adultos que ingresan a esta institución, por ese motivo un estudio de eficiencia energética es importante por lo cual en este trabajo se llevara a cabo. En el primer capítulo se concentra el marco teórico, donde se muestra en que consiste la eficiencia energética y su importancia, la historia de la energía eléctrica en el país, la norma ISO 50001, norma ISO 50002, una explicación breve pero concisa del uso de eQuest, el software que utilizamos. En el capítulo dos se muestran los resultados de la recolección de información que se obtuvo con la visita a las instalaciones de la facultad, se hace una descripción del lugar, de los edificios y el equipo con el que cuentan. Para el tercer capítulo con los datos organizados en el capítulo anterior se lleva a cabo la modelación en eQuest de cada uno de los edificios y se obtiene el modelo línea base que nos servirá de referencia a la hora de llevar a cabo modificaciones para obtener beneficios de eficiencia energética. En los capítulos finales se realiza el análisis de los resultados y se brindan las recomendaciones.

### **1.2 OBJETIVOS**

#### **General:**

- Elaborar el balance energético e implementar alternativas de eficiencia energética en el sistema eléctrico de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente.

#### **Específicos:**

- Proponer un plan de gestión energética.
- Determinar cuáles son los sistemas de mayor consumo energético.
- Formular modelos de comportamiento del sistema eléctrico utilizando la herramienta eQuest.
- Proponer medidas que vayan de la mano con el medio ambiente y de esta manera aprovechar los recursos renovables que existen en la zona.

### **1.3 ALCANCES**

- Realizar toma de datos de medición en los edificios de la Facultad.
- Simular los datos obtenidos en la medición utilizando el software eQuest.
- Identificar su potencial de ahorro energético y recomendar soluciones.
- Generar una propuesta de gestión energética con la entrega de un plan de eficiencia energética.

#### **1.4 ANTECEDENTES**

En los últimos años se ha tenido una disminución en el crecimiento del PIB de El Salvador, especialmente en el año 2008 que fue el de mayor dificultad debido a la crisis económica mundial. En el caso del consumo primario y final la tendencia es constante, esto debido a que muchos factores como por ejemplo la utilización de otros combustibles para suplir las necesidades, el caso más sobresaliente es la cocción de alimentos, donde se utilizó gas licuado de petróleo (GLP) en lugar de la leña. La política energética, se presenta como un componente esencial dentro de la visión energética de cambio y política socio-económica con equidad y desarrollo auténtico que impulsa el nuevo gobierno. En ella se encuentran los lineamientos claves para su formulación y concepción general, para la definición de sus objetivos y principios, y para la articulación de un marco de implementación de acciones y proyectos fundamentales a corto, medio y largo plazo.

#### **1.5 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Una de los principales fundamentos para el cambio en la matriz energética y productiva es incrementar el uso de energías renovables e implementar planes de eficiencia energética en instituciones públicas y privadas. En la Facultad Multidisciplinaria de Oriente no se ha hecho una evaluación del uso de la energía en la prestación de servicios, por lo tanto, no se dispone de información del correcto funcionamiento de los sistemas energéticos que la componen. Para ello se plantea crear un plan de eficiencia energética para la Facultad, en los sistemas de mayor relevancia.

#### **1.6 JUSTIFICACIÓN**

En la Facultad Multidisciplinaria de Oriente no se ha realizado un análisis del uso de energía, por ello es necesario empezar por una evaluación de los sistemas energéticos que la componen. El propósito es establecer indicadores de uso eficiente de energía y hacer propuestas de mejora, que se traducen en posibles beneficios como:

- Reducir los costos de energía, ya que los centros de estudio universitario consumen una importante cantidad de energía eléctrica (iluminación, ventilación, equipo electrónico etc). Reduciendo estos costos se puede disponer de mejor modo los ingresos económicos.
- Mejorar la confiabilidad de suministro de energía eléctrica a través de un estudio de calidad de energía.
- Obtener beneficios como una reducción en el costo de mantenimiento y la seguridad de los trabajadores ya que las tecnologías eficientes son más fiables.
- Reducción de la contaminación, preservando de esta manera el medio ambiente y conservando los recursos naturales para futuras generaciones.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL SALVADOR

La electricidad se le suministra a El Salvador mediante el Sistema de Interconexión Eléctrica de los Países de América Central (SIEPAC), que también conecta con Honduras y Guatemala a través de una línea central de 230 kV.

En 2020, la capacidad eléctrica instalada total de El Salvador fue de 2360 MW, alimentada por una combinación de combustibles fósiles (32.67%), energía hidroeléctrica (24.31%), solar (20.10%), biomasa (12.44%), geotérmica (8.66%), eólica (1.53%) y biogás (0.29%).

Generadoras	Capacidad Instalada				Variación	
	2019		2020			
	(MW)	(%)	(MW)	(%)		
Hidráulica	573.79	25.4%	573.79	24.3%	⇒	0.00%
Geotérmica	204.40	9.1%	204.40	8.7%	⇒	0.00%
Combustible Fósil	771.11	34.2%	771.11	32.7%	⇒	0.00%
Biomasa	293.60	13.0%	293.60	12.4%	⇒	0.00%
Solar	406.33	18.0%	474.46	20.1%	↑	16.77%
Biogás	6.85	0.3%	6.85	0.3%	⇒	0.00%
Eólica	-	0.0%	36.00	1.5%	↑	100.00%
<b>Total:</b>	<b>2,256.08</b>	<b>100%</b>	<b>2,360.21</b>	<b>100%</b>	↑	<b>4.62%</b>

Figura 2.1 Capacidad Total Instalada en El Salvador, año 2019 y 2020, Fuente Unidad de Transacciones y SIGET.

El Salvador produjo 5895 GWh de electricidad en 2020. Aproximadamente el 85% de la energía generada provino de energías renovables, incluida la hidroeléctrica (35.05%), la geotérmica (24.60%), la solar (15.26%), la biomasa (9.33%), el biogás (0.45%) y eólica (0.24%), mientras que el 15% restante provino de combustibles fósiles.

En el 2018, el 97% de la población de El Salvador tenía acceso a la electricidad. La demanda anual máxima aumentó de 666 MW en 1997 a 1072 MW en 2018.

La demanda de electricidad en El Salvador ha crecido junto con la introducción de la criptomoneda como moneda de curso legal; esto debido a que la energía geotérmica cerca de los volcanes impulsará la minería de Bitcoin. El consumo eléctrico total de El Salvador durante 2019 fue de 22833 TJ (terajulios), lo que convirtió al sector industrial en el mayor consumo.

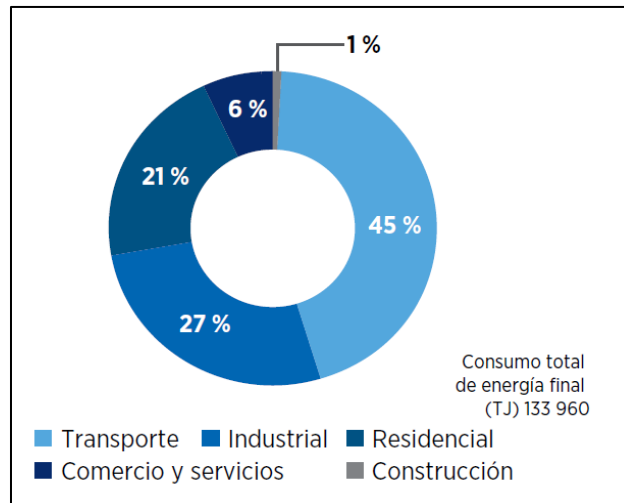


Figura 2.2 Energía consumida por sector económico, año 2019, Fuente CNE.

## 2.2 ¿QUE ES LA EFICIENCIA ENERGÉTICA?

La eficiencia energética tiene como principal objetivo producir más con menos energía sin afectar nuestro confort, esto quiere decir que se debe llevar a cabo, pero sin renunciar a la calidad de vida, sencillamente utilizar solo aquella energía que realmente necesitamos. Para poder decir que una persona, servicio o producto es eficiente y comprometido con el medio ambiente, además de necesitar menos energía para realizar el mismo trabajo también busca proveerse de la mayor cantidad de energías renovables.

En los últimos años las emisiones de dióxido de carbono que enviamos a la atmosfera son mayores, es por esta razón que la eficiencia energética se ha convertido en una forma de cuidar el planeta ya que no solo nos inculca a reducir el consumo de los electrodomésticos, sino que nos impulsa a que nosotros mismos consumamos menos energía y de una manera amigable con el medio ambiente.

### 2.2.1 Importancia de la eficiencia energética

La Comunidad Internacional ha establecido como uno de sus objetivos reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la manera más rentable es el uso de la eficiencia energética a nivel mundial. Entre los principales motivos del crecimiento en el uso de la eficiencia energética se encuentran:

- Las fuentes de energía tradicional más utilizadas a nivel mundial son limitadas. Se busca hacer uso de energías renovables ya que este tipo de fuentes se pueden encontrar de una manera casi ilimitada en el ambiente.
- El aumento en el precio de la energía debido a la crisis mundial. Especialmente en el año 2008 hubo una crisis económica a nivel mundial que aceleró la subida del precio de la energía.

- La dependencia energética del exterior que tienen los países menos desarrollados. Depender de otros países en cuanto al abastecimiento de la energía que consumen sus habitantes es una clara desventaja, por ese motivo los países en vías de desarrollo están implementando políticas de ahorro energético y creando sus propios proyectos con energías renovables.
- El impacto ambiental causado por los distintos procesos de producción de energías no renovables.

### 2.2.2 Eficiencia energética en El Salvador

En el año 2009 el Gobierno lanza una política nacional de energía en donde los dos pilares fundamentales fueron la eficiencia energética (EE) y el cambio en la matriz energética, desde ese momento El Consejo Nacional de Energía (CNE) tuvo la tarea de desarrollar nuevas fuentes renovables, principalmente los sistemas fotovoltaicos (energía solar), y promocionar la eficiencia energética. Estos temas no eran muy conocidos en el país en esos años.

En cuanto a la matriz energética de El Salvador ha sufrido un cambio positivo en los últimos años debido a los proyectos implementados con energías renovables. Por ejemplo, en el año 2022 estaba dividida en: Hidro (28.71%), Geo (23.77%), Gas Natural (15.98%), Bunker (10.70%), Biomasa (10.06%), Solar (8.68%), Eólico (2.09%), y Diesel (0.01%). Como se muestra en la siguiente grafica.

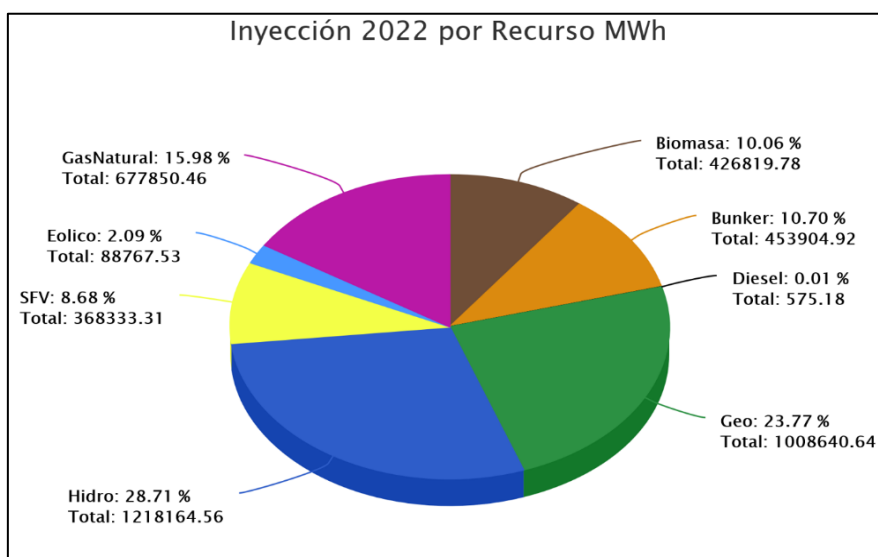


Figura 2.3 Gráfica de Matriz energética nacional 2022.

En el 2011 surge el Programa El Salvador Ahorra Energía (PESAE) conformado por instituciones del sector público, privado y cooperaciones internacionales, el cual es liderado por el CNE, el objetivo es desarrollar la eficiencia energética en el país con la ejecución de proyectos fotovoltaicos, programas de capacitación para micro, pequeña y mediana empresa (MIPYMES) y otros sectores. Cada institución que conforma el Programa, desde sus propios recursos e iniciativas implementa acciones y proyectos en pro de la eficiencia energética y cuidado del medio ambiente.

Se crea El Premio Nacional a la Eficiencia Energética, el cual reconoce las iniciativas y proyectos de pequeñas y grandes empresas, instituciones de Gobierno, financieras, distribuidoras de electricidad y otras.

Nace ese mismo año la Norma ISO 50001: Energy Management System, la cual estandariza la implantación de sistemas de gestión energética (SGEn), adoptada por El Salvador en la Norma Salvadoreña: NTS ISO 50001:2011. El propósito de los SGEn es establecer los métodos y procesos necesarios para mejorar el rendimiento energético, incluyendo la eficiencia, uso, consumo, suministro, generación, compras y cumplimiento de los requisitos legales. La aplicación de estos tiene la finalidad de conducir a reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero, el costo de la energía y otros impactos relacionados. En los últimos años estas medidas implementadas han traído resultados positivos en el país ya que hoy se cuenta con aparatos más eficientes, aires acondicionados, motores industriales, iluminación led, etc. Todo esto, además de generar un ahorro energético, ayuda al cuidado del medio ambiente.

Por otra parte, han surgido proyectos de cambio en los sistemas de alumbrado público como en Los Nonualcos, Zacatecoluca, y en Sonsonate.

### **2.3 NORMA ISO 50001.**

La energía juega un papel importante para el desarrollo de un país, de allí la importancia a nivel mundial de la implementación de la norma ISO 50001 “Sistema de Gestión de la Energía” emitida por ISO INTERNACIONAL en junio de 2011. Pretende facilitar a las organizaciones establecer sistemas y procesos necesarios para mejorar su desempeño energético, incluyendo la eficiencia energética y el uso y consumo de energía.

Un Sistema de Gestión de Energía (SGE) es un conjunto de prácticas, procedimientos y herramientas utilizados para gestionar el uso de la energía de manera más eficiente. Este tipo de soluciones permiten realizar un seguimiento del uso de la energía, identificando oportunidades de mejora, estableciendo objetivos y metas de ahorro energético. Instruir a los empleados en estos temas es de mucha importancia. Las empresas que utilizan estas prácticas además de reducir costos mejoran su reputación y cumplen con las normativas ISO 50001, BREEAM, LEED.

**BREEAM:** Este método es exclusivo para edificios y consiste en evaluar el rendimiento en diferentes categorías, como el uso de la energía, tratamiento del agua, materiales y residuos, calidad del aire interior, etc. y otorga una certificación de sostenibilidad ambiental. Fue creado en Reino Unido y es muy utilizado en Europa.

**LEED:** Tiene el mismo funcionamiento que la BREEAM solo que su origen y su mayor aplicación se encuentra en los Estados Unidos de América.

Para poder aplicar la norma ISO 50001 se deben de seguir cuatro pasos:

- 1) Diseñar el sistema de gestión: En este paso se diseña el plan de control y formación, así como también se diseñan sistemas que ayudan a controlar los procesos de control y se diseña el sistema de gestión de la energía.
- 2) Implantación del sistema de gestión: Aquí se busca determinar las oportunidades de mejora y desarrollar buenas prácticas.
- 3) Monitorización del sistema de gestión: Luego de implementar los sistemas de gestión, se debe realizar un seguimiento de estos tomando en cuenta el funcionamiento de los procesos energéticos.
- 4) Evaluación y ajustes del sistema de gestión: Finalmente en esta etapa del proceso se busca hacer ajustes del funcionamiento de gestión energética que lleven a obtener ahorros significativos y surgen nuevas propuestas para mejorar los procesos.

Entre las ventajas de la utilización de la Norma ISO 50001 se pueden mencionar las siguientes:

- Es una forma que tienen las organizaciones de incluir la eficiencia energética a las políticas de su gestión.
- Proporciona un método excelente para identificar y aplicar mejoras de eficiencia energética que contribuyan a aumentar su utilización en las instalaciones de las organizaciones.
- Nos ofrece una guía para poder medir los indicadores de desempeño energético de la organización y a partir de aquí documentar y crear informes de sus mejoras y su impacto en la reducción de las emisiones GEI.
- Crea transparencia y normalización en la gestión energética que por muchos años no ha existido, de esta manera es más fácil reconocer a las organizaciones que cumplen con las mejores prácticas.

En El Salvador existen diversos programas que apoyan a las empresas en la implementación de un Sistema de Gestión de Energía. En la certificación, hasta ahora la única Certificadora que cuenta con la debida experiencia en Centroamérica es la alemana DQS. Empresas líderes a nivel mundial, algunas incluso con presencia en la región, tales como Henkel, Siemens, Samsung, Porsche, Bayer, 3M, han preferido a DQS como su cuerpo certificador en este estándar.

## **2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS**

Cuando se habla de eficiencia energética en edificios se pretende buscar la mejor alternativa para obtener un ahorro energético utilizando métodos que involucran la energía disponible.

Entre algunos consejos para readecuar una edificación existente se encuentran:

- ✓ Cuidar el uso de la energía eléctrica, encender solo lo que utilizamos y apagar lo que no.
- ✓ Se recomienda instalar sensores de movimiento en diferentes zonas que apaguen las luminarias que no se utilizan.
- ✓ Sustituir las lámparas que se van quemando por lámparas ahorradoras fluorescentes o led.
- ✓ Cada equipo que se dañe debe ser sustituido por uno más eficiente, por ejemplo: aires acondicionados, ventiladores, refrigeradoras, lavadoras, etc.
- ✓ Instalar sistema de riego por goteo.
- ✓ Aprovechar las aguas lluvias para riego o agua de servicios sanitarios.
- ✓ Separar los desechos sólidos (basura) y aplicar las “3R”: reciclar, reducir y reutilizar.
- ✓ Aumentar el aislamiento térmico en las fachadas que reciban más sol, en su puesta. Entre las soluciones se encuentran: colocar cortinas gruesas, la creación de muros verdes es decir con vegetación y también utilizar mamparas solares.
- ✓ Aplicar la teoría de colores para confort visual. Usándolo con pintura, plantas, muebles, etc.



- ✓ Existe también un principio llamado **convección natural en espacios cerrados**, este consiste en que el aire se ordena, caliente arriba y frío abajo, permitiéndose un mayor grado de confort dentro de las instalaciones, se puede llevar a cabo mediante el movimiento del aire a través de un flujo natural.

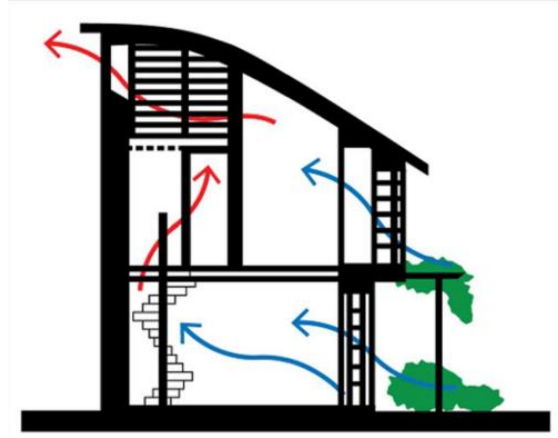


Figura 2.4 Sencillo esquema de ventilación de un hogar mediante convección natural.

En la figura anterior se puede apreciar que el aire frío entra a la casa, empujando al aire caliente hacia afuera, creando una corriente de ventilación que se renueva periódicamente.

Aparecen diferentes metodologías y criterios para la elaboración de un diseño ecológico. En Francia (1996) se establece la ACM (Alta Calidad Medioambiental), considerado uno de los protocolos más completos, con 14 objetivos que se agrupan en 4 categorías:

#### **Eco construcción:**

1. Relación armónica del edificio con su entorno inmediato.
2. Elección integrada de los procesos y materiales de construcción.
3. Obras de bajo impacto.

#### **Ecogestión:**

4. Gestión de la energía.
5. Gestión del agua.
6. Gestión de los residuos del espacio de trabajo.
7. Conservación y mantenimiento.

#### **Confort:**

8. Confort Higrotérmico.
9. Confort Acústico.
10. Confort Visual.
11. Confort Olfativo.

## **Salud:**

12. Condiciones Sanitarias.
13. Calidad de aire (ayuda a la renovación del aire dentro de la edificación).
14. Calidad de agua.

Con los primeros siete se pretende controlar los impactos de los edificios sobre el entorno exterior, con los restantes (del 8 al 10) crear un ambiente interior sano y cómodo.

### **2.5 NORMA ISO 50002.**

Cada vez existe más conciencia sobre la necesidad de utilizar la energía de manera más responsable, teniendo en cuenta que es un recurso que debe ser tratado con una alta eficiencia energética. La auditoría energética de edificios es una herramienta de gran utilidad, que permite analizar el comportamiento energético del edificio y sus consumos, así como también la detección de debilidades y descubrir el máximo ahorro que se puede alcanzar con la mejora de la eficiencia energética.

Mejorar la eficiencia energética es el objetivo principal en toda auditoría energética. Para un edificio consiste en un estudio integral que comienza por el análisis de la situación actual, respecto de su comportamiento energético. Para ello se evalúa los aspectos técnicos como económicos que afectan directa o indirectamente al consumo de energía del mismo. Después de este análisis se establecen propuestas de mejora que permiten alcanzar un uso racional de energía, sin que por esto se tenga que disminuir la productividad y el confort térmico interior, sino todo lo contrario.

Toda auditoría energética tiene que constar de dos fases fundamentales:

1. Análisis actual del edificio y de sus instalaciones desde el punto de vista de su eficiencia energética. Aquí se analiza el consumo, la eficiencia de las instalaciones y las contribuciones térmicas que ofrece su envolvente térmica, teniendo en cuenta factores como la zona climática, orientación, horarios, etc.
2. Se hace una propuesta de mejora a través de medidas correctoras que sean viables para alcanzar una mayor eficiencia energética, todo esto desde el punto de vista técnico y económico. Para lograrlo se comparan diferentes escenarios haciendo modificaciones de la situación actual y se elige aquel conjunto de acciones que impliquen un menor gasto energético en el comportamiento del edificio, además de una mejora en el confort térmico, productividad y durabilidad asociada a dichos cambios.

#### **2.5.1 Acciones en el desarrollo de una auditoría energética de edificio.**

Como cualquier tipo de estudio o proceso de análisis y mejora, es necesario establecer un protocolo que garantice el correcto desarrollo de una auditoría energética, por lo tanto, un

resultado exitoso. Para ello el equipo auditor deberá seguir una serie de fases en la ejecución de la auditoría energética:

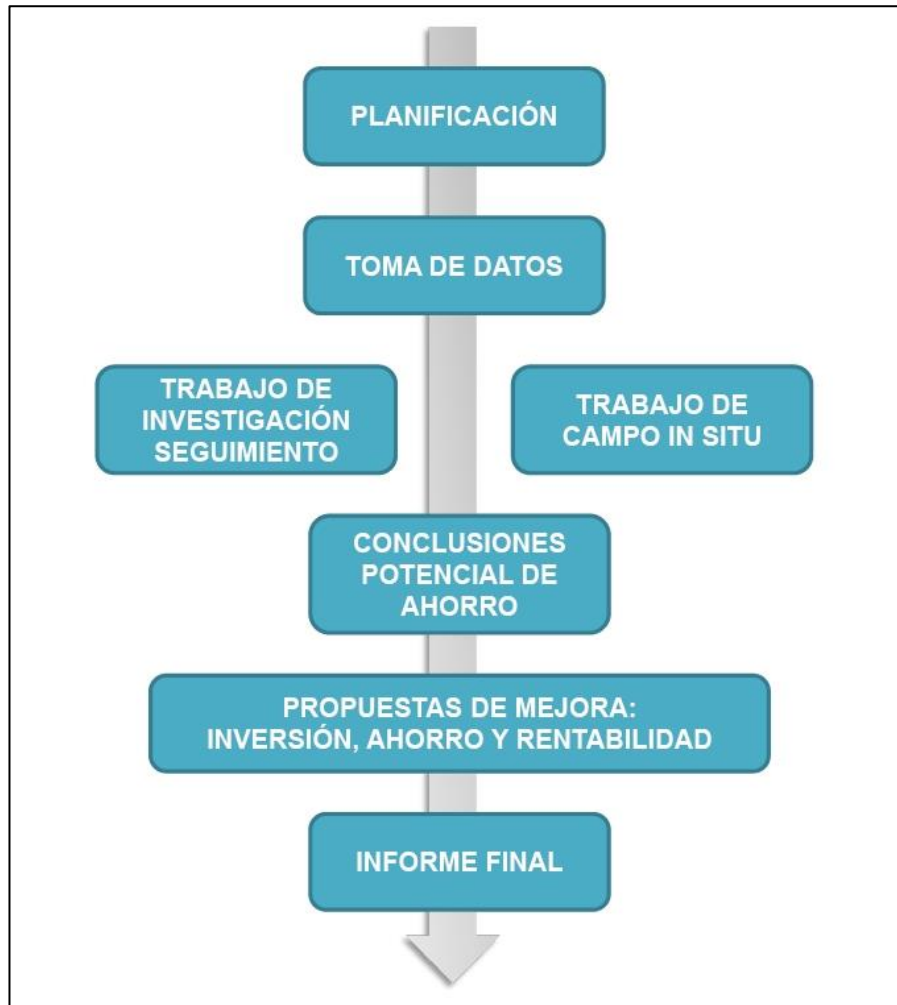


Figura 2.5. Diagrama de acciones que se deben seguir en una auditoría energética.

- Planificación de la auditoría energética.
- Toma de datos de todos los elementos y factores implicados: características constructivas de la envolvente térmica, instalaciones y equipos consumidores de energía, facturas energéticas, parámetros de confort térmico, contadores, potencias instaladas, etc.
- Análisis de datos anotados y cálculo de la demanda energética.
- Diagnostico respecto de las debilidades de la situación actual.
- Estudio de las diferentes propuestas de medidas de mejora que optimizan la eficiencia energética del edificio.

- Selección de las medidas de mejora viables desde el punto de vista técnico y económico. El análisis económico de dichas medidas de mejora propuestas tendrá en cuenta el coste y su rentabilidad.
  
- Redacción del informe final de la auditoria energética.

Para ser el auditor energético es necesario tener una experiencia práctica pero también una base teórica sólida y suficiente de todo tipo de instalaciones. Requiere de ciertas habilidades:

- Conocimiento profundo sobre instalaciones de los edificios.
- Conocimiento del manejo de herramientas y equipos de medición.
- Conocimiento para realizar cálculos y analizar resultados.

## **2.6 NORMA ISO 50006. LA LÍNEA BASE Y LOS INDICADORES DE DESEMPEÑO ENERGETICO.**

En el año 2014 fue publicada la Norma ISO 50006 sistemas de gestión de energía- medición del rendimiento energético utilizando líneas de base de energía y los indicadores de rendimiento energético. La cual proporciona orientación practica sobre como cumplir con los requisitos de la Norma ISO 50001, y por lo tanto gestionar su rendimiento energético.

La línea base seria la alusión para nuestro trabajo a la hora de comparar el rendimiento energético en un periodo de tiempo dado. Es un valor de referencia en comparación con los datos de energía que se obtienen al aplicar un cambio a futuro y de esta manera las instituciones puedan medir el impacto de las mejoras en la eficiencia energética de acuerdo con el plan de gestión de energía.

Pasos para crear una línea base:

1. Elaborar objetivos específicamente relacionados con los indicadores de desempeño energético.
2. Determinar el tiempo que será apropiado para la información.
3. Almacenar y recopilar la información.
4. Calcular y probar la línea base.

Esta norma establece a los indicadores energéticos como medida del desempeño energético, en donde cada institución tiene la alternativa de definirlos de acuerdo a su realidad con la que se cuenta, además de plantear el indicador que mejor se adecue a sus

condiciones. Los indicadores pueden expresarse en términos de: consumo versus personas (kWh/personas), consumo versus ocupación (kWh/m<sup>2</sup>), entre otros.

De acuerdo a la Norma ISO 50006 para obtener los ahorros energéticos, los indicadores se emplean comparándolos entre si de forma anual y posteriormente se comparan con la meta propuesta por la institución.

La determinación adecuada de un indicador energético suele ser muy compleja. El indicador energético debe cumplir los siguientes criterios:

- Permite una comparación objetiva del consumo de energía durante el periodo bajo revisión.
- Los datos de entrada para el indicador se obtienen usando medidores verificados o calibrados, los valores no son solo estimados.
- Es fácil de entender para el usuario (se pueden configurar diferentes indicadores para diferentes niveles de control de la institución).

Existen dos problemas fundamentales con el uso de indicadores de desempeño energético: muchas veces no se conoce como se mide y existe una cantidad de indicadores utilizados que no aportan información relevante.

Finalmente, el uso de los indicadores de desempeño energético es fundamental para alcanzar la optimización energética de la institución, sin ellos se vuelve imposible ser eficientes.

## **2.7 SIMULACIÓN ENERGÉTICA.**

Debido al desarrollo de la eficiencia energética y la tecnología a nivel mundial han surgido nuevas herramientas que nos ayudan a la hora de elaborar proyectos de gestión energética, uno de ellos es la simulación energética de edificios, el cual consiste en el análisis de una construcción empleando un software especializado para obtener los resultados de sus consumos energéticos y los gastos en equipos de regulación térmica como lo son aires acondicionados, los circuitos de agua caliente o las calderas.

Tomando como variables de entradas del software a: la distribución del edificio, la colocación de los equipos de aire acondicionados y eléctricos, y las condiciones climáticas externas, se pueden obtener unos resultados del programa pasado un año u otra cantidad de tiempo.

Uno de los objetivos que se busca cuando se realiza una simulación energética de un edificio es obtener la certificación de eficiencia energética. Con los resultados obtenidos en la simulación sobre el consumo energético estimado se pueden llevar a cabo comparaciones con los sistemas del edificio con otros edificios de similares características, a partir de aquí si se considera que la instalación energética permite un ahorro adecuado de materias primas y dinero, se otorga la correspondiente certificación energética.

### **2.7.1 Beneficios de la simulación energética.**

La principal ventaja de llevar a cabo una simulación energética consiste en que nos permite estimar el impacto económico, esto debido a que traduce los kWh de nuestro proyecto a pesos y centavos, de esta manera se puede implementar una táctica de ahorro de energía sin tener que aplicar la inversión a nuestro edificio de manera precipitada, el software nos permite evaluar y comparar diferentes estrategias para solamente seleccionar aquellas que nos resulten más rentables. A parte de este beneficio, también podemos mencionar las siguientes:

- Determinar cuál es la forma óptima de nuestro edificio. Hablando arquitectónicamente se puede conocer el mejor diseño para nuestra edificación.
- Se puede identificar cuáles son los elementos críticos de la envolvente del edificio, de esta manera se conocen los que dan una mayor ganancia o pérdida de calor.
- Nos permite colocar y dimensionar de una manera correcta los elementos de sombreado.
- Elegir dónde se debe colocar aislante térmico, además de esto nos da el dato de cuánto debemos utilizar.
- Dimensionar correctamente los equipos de calefacción y refrigeración, este punto es importante ya que se debe valorar mucho el confort térmico dentro de las instalaciones. Se puede evaluar el impacto que tendrán estos sistemas.
- Identificar el tipo de luminarias y distribución óptima para ahorrar energía.
- Determinar cuáles serán los sistemas y equipos que tendrán mayor consumo de energía en nuestro edificio.

El ahorro energético obtenido dependerá de la etapa del proyecto en la que se utilice la simulación energética, al emplearse en la etapa de prediseño se logran los mayores beneficios ya que las estrategias se pueden aplicar al diseño de la forma del edificio y los materiales de construcción y es aquí donde es mayor el impacto y se reducen los costos. En el caso de los edificios existentes también resulta útil para reducir el consumo de energía, en este tipo de proyectos la simulación va acompañada de una auditoria energética, la cual consiste en la toma de datos de los equipos que consumen energía, de la envolvente, y de los parámetros de operación del edificio ya que el software se alimentará de estos valores para llevar a cabo la simulación. De esta forma se puede evaluar el resultado de hacer

modificaciones a nuestro edificio y sus sistemas eléctricos, entre los que se pueden mencionar:

- Modificaciones en los horarios de operación del edificio.
- Modificación a los horarios de programación de los sistemas como iluminación, motores, aires acondicionados, etc.
- Cambio de equipos o componentes en los sistemas eléctricos.
- Modificaciones a la envolvente del edificio, se pueden agregar elementos de sombreado, cambio de ventanas, instalación de elementos térmicos, etc.

### **2.7.2 Simuladores de Energía.**

Entre los programas más utilizados para realizar las simulaciones energéticas de un edificio se encuentran: eQUEST, Open Studio y Energy Plus, los cuales se pueden utilizar de manera gratuita. Hay otros como DesingBuilder, IES-VE, Ttrace700 y HAP, los cuales tienen un costo.

Existen diferencias entre un simulador y otro generalmente son:

- La interface, hay programas más visuales y por lo tanto más intuitivos y fáciles de utilizar.
- La velocidad de procesamiento del software.
- Las actualizaciones continuas, que permitan que nuestro modelo computacional refleje las nuevas tecnologías que van saliendo al mercado.
- La precisión de los resultados proporcionados.

Se debe aclarar que independientemente del software que se utilice la confiabilidad de los resultados obtenidos dependerá de la habilidad y experiencia del simulador energético. Es necesario que la persona que haga la simulación tenga nociones sobre el funcionamiento de los distintos sistemas, esto debido a que estos modelos incorporan información sobre todos los sistemas energéticos que hay en el edificio (aire acondicionado, cargas conectadas, motores, luminarias, energías renovables). También es necesario que entienda el concepto de transferencia de calor a través de la envolvente y sobre todo ser capaz de interpretar los resultados para asegurarse que el consumo energético este dentro de los parámetros reales.

En este trabajo vamos a conocer sobre de dos simuladores de todos los antes mencionados, en el caso de Energy Plus será poco, ya que nuestro proyecto se basa en eQUEST nos centraremos más en describir este simulador energético, el cual se utilizará más adelante.

### **2.7.3 Energy Plus.**

Desarrollado por el DOE (Departamento de Energía de los Estados Unidos), es el motor de cálculo de Desing Builder y es uno de los software's de simulación energética para edificios utilizado por profesionales. Esta herramienta puede modelar tanto el consumo de energía (calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación y cargas de enchufes y procesos) como el uso de agua de los edificios. Lo interesante es que es un software gratuito, de código abierto y multiplataforma: Se ejecuta en los sistemas operativos Windows, Mac OS X y Linux. A continuación, detallamos algunas características y capacidades de Energy Plus.

- Solución integrada y simultanea de las condiciones de la zona térmica, y puede simular espacios acondicionados y no acondicionados.
- Solución basada en balance de calor de efectos radiantes y convectivos que producen temperaturas de superficie, comodidad térmica y cálculos de condensación.
- Modelo combinado de transferencia de calor y masa que da cuenta del movimiento de aire entre zonas.
- Cálculos de iluminación y deslumbramiento para informar sobre el confort visual y los controles de iluminación de conducción.
- Una gran cantidad de estrategias de control de iluminación y HVAC integradas y un sistema de secuencia de comandos de tiempo de ejecución extensible para el control definido por el usuario.
- Importación y exportación de interfaz de Mockup funcional para co-simulación con otros motores.
- Resumen estándar e informes de salida detallados, así como informes definibles por el usuario.



## **2.8 INTRODUCCIÓN AL SOFTWARE UTILIZADO**

Previamente al describir el procedimiento a seguir en el trabajo, se realizarán análisis previo del formato de trabajo de eQuest, que variables de entrada se necesita y cuales se obtienen en la salida. Se parte de un archivo en AutoCad para el diseño de sus plantas en planta sobre los pisos que sean necesarios. Se detallan partes del edificio de sus superficies interiores y exteriores, como variables anexas se detallan elementos estructurales como ventanas, puertas, tragaluces y puentes térmicos al detalle.

Por otro lado, el desarrollo de un edificio en eQuest necesita de la creación de zonas o secciones para su análisis térmico a partir de la construcción de su diseño inicial. También dentro de estos espacios aparecen las cargas térmicas en el edificio tales como sistemas de iluminación, aparatos eléctricos, y los horarios o rutinas del personal administrativo y estudiantil en la estructura, ya que una persona es también una carga térmica.

Ahora bien, el programa conserva estos detalles para generar una simulación adecuada como variables de salida nos ofrece el consumo generado en el edificio de manera mensual y anual, tanto como el gasto económico que genera en kWh, los resultados se pueden comparar con las medidas de eficiencia energética que se proponen como ahorro de consumo eléctrico. Todos estos datos nos ofrecen el programa para su uso y análisis con datos recopilados de la Facultad.

### **2.8.1 eQuest**

eQUEST (Quick Energy Simulation Tool) es un software de modelado de energía que utiliza la herramienta de simulación DOE-2 del US DOE. Se han desarrollado muchas versiones de eQUEST desde su creación, eQUEST 3.65 es la última versión desarrollada por el DOE en octubre de 2018. Gracias a su disponibilidad y que es completamente gratis se ha convertido en uno de los software's de modelado de energía más populares en uso en la actualidad.

eQUEST tiene tres asistentes de entrada diferentes donde los usuarios pueden ingresar varios parámetros del edificio, los cuales son: asistente de diseño esquemático, asistente de desarrollo de diseño y asistente de eficiencia energética.

El asistente de diseño esquemático se utiliza en las primeras etapas de diseño, donde se conoce poca información sobre los parámetros del edificio, solo solicita entradas simples del usuario. El asistente de desarrollo detallado, se necesita información más específica sobre los parámetros de construcción. El asistente de medida de eficiencia energética permite a los usuarios analizar múltiples escenarios para el modelo de diseño con la información de entrada necesaria para analizar el rendimiento energético del edificio.

Los resultados del software del modelado de energía de edificios como eQUEST dependerá de la precisión de la información ingresada al software, incluso las personas más experimentadas en simulación energética no obtienen el 100% de precisión en sus

resultados comparados con los resultados reales. Esto se debe a que todo el software de modelado de energía tiene algunas limitaciones.

### 2.8.2 Limitaciones de eQUEST:

Solo se permiten dos fotosensores por zona para iluminación natural, Solo se pueden asignar tres tipos de puertas y ventanas por capa, No tiene controles de respuesta a la demanda para iluminación y equipos, No puede modelar confort térmico zonal y visual, No puede modelar el enfriamiento o calentamiento radiante y la migración de la humedad, Los cálculos e informes por horas no están disponibles, No calcula el uso y los costos de agua y alcantarillado.

**Capacidad de modelado eficaz de eQUEST:** Es una herramienta excelente de modelado y simulación de energía para evaluar el rendimiento energético de varios tipos de edificios, sin embargo, no todas las características de los edificios se pueden modelar de manera efectiva en eQUEST. La precisión de simulación depende si eQUEST puede modelar efectivamente las características o no.

Vamos a describir a continuación dos características con las que se cuenta en eQUEST, de esta manera se busca familiarizarnos con el uso de este software.

### 2.8.3 Uso de herramienta Wizard y la interfaz de trabajo

Cuando el programa se abre, aparece un cuadro de eQUEST startup Options, en el cual se pregunta si se desea abrir un nuevo proyecto usando la opción “wizard”, o llamar un proyecto existente, o abrir el proyecto más reciente. Vamos a crear un nuevo proyecto usando la herramienta “wizard”, le damos OK con esta opción seleccionada.

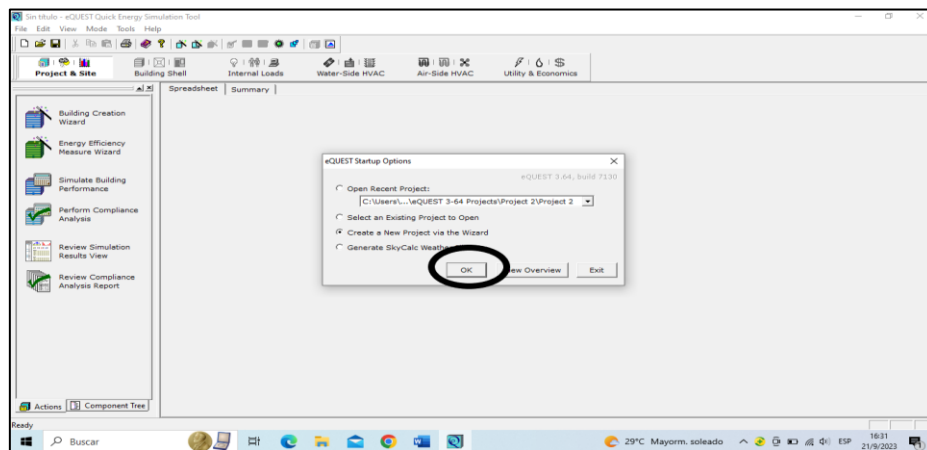


Figura 2.6 Se crea un nuevo proyecto con la opción Wizard.

Posteriormente encontramos un nuevo cuadro en donde se pregunta si se usara “wizard” de diseño esquemático o de desarrollo del diseño.

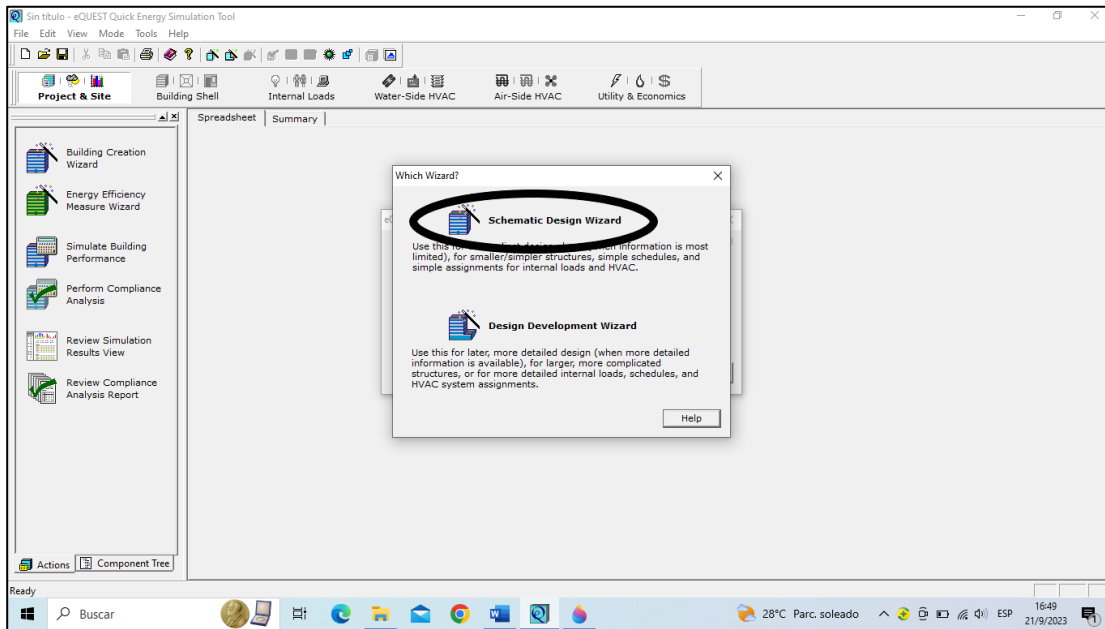


Figura 2.7 Dos tipos de “Wizard”

La diferencia consiste en que el primero tiene menos datos de entrada y más información por defecto, y se usa para las etapas tempranas en proyectos para hacer análisis de tipo sencillo. El segundo presenta más variables y por lo tanto se deben tener más información del proyecto. Como podemos ver en la figura 2.7 nosotros vamos a seleccionar la opción tipo esquemático.

Una vez se entra en el “wizard” esquemático, aparece un cuadro que está conformado con 41 pantallas de entrada de datos (wizard screen), no todas estas hojas son usadas en todos los proyectos, ya que estas se activan o desactivan de acuerdo con las funcionalidades que se estén definiendo al proyecto.

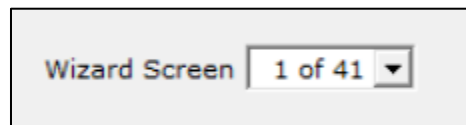


Figura 2.8 Cuadro que contiene las 41 pantallas de entrada de datos.

En la primera screen corresponde con la información general del proyecto. Los valores que aparecen en verde corresponden a los valores predefinidos, eQUEST siempre colocará valores predefinidos en todos los grupos de entrada del wizard. Si estos valores son sobrescritos su color tornará en rojo.

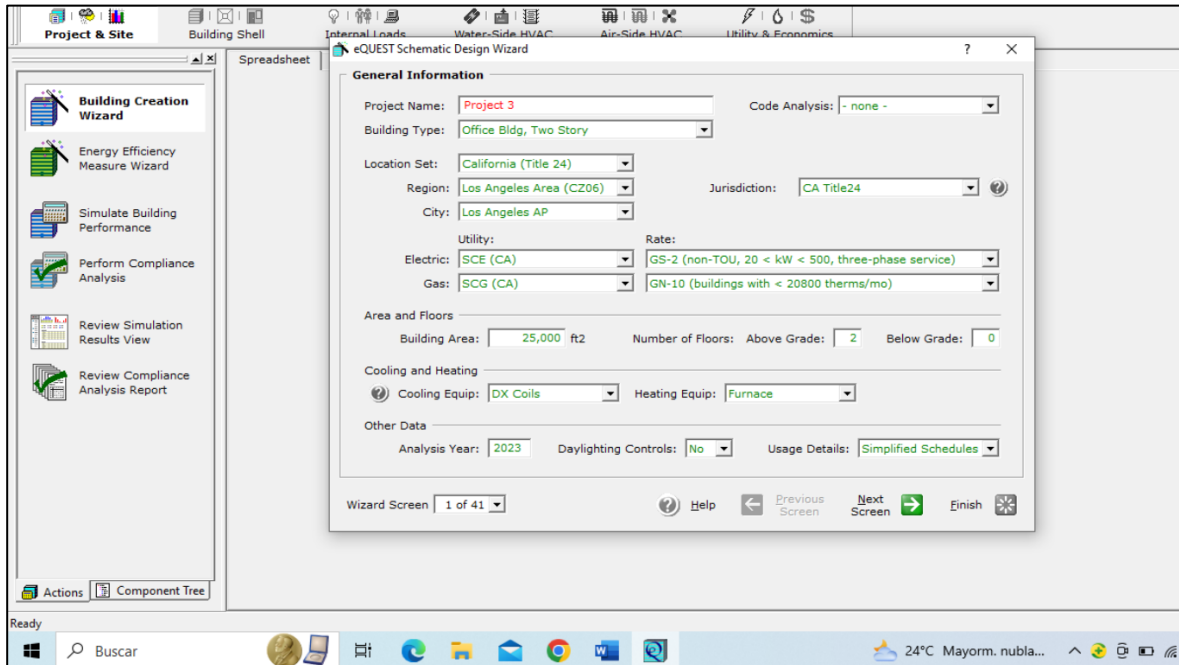


Figura 2.9 Wizard de diseño esquemático.

Como vemos en la figura 2.9 de datos generales, existen valores predefinidos para todas las entradas, menos para el nombre del proyecto. Es importante definir el tipo de proyecto, ya que este determinará muchos datos de entrada en screen sucesivos. La opción del tipo, así como muchos datos de entrada, vienen predeterminados para escoger el que mejor defina el proyecto.

En **location set** se coloca que esta variable definida por el usuario (user select), ya que las otras opciones son para estados de Norteamérica, lugar de donde es originario el software. Al colocar “user select”, se le pide que se dé la dirección en la computadora del archivo del clima a usar. eQuest usa archivos con extensión .bin.

En la casilla **jurisdiction** se pueden seleccionar códigos de energía que ayudan a seleccionar valores de defecto en futuras pantallas. Un código de energía para edificios nuevos que puede ser usado es el ASHRAE 90.1. En la casilla **utility** o servicios públicos de electricidad se selecciona la opción de custom, ya que las otras opciones corresponden a empresas de energía de diferentes estados de Norteamérica. Existen también datos geométricos del edificio que se tienen por defecto, pero se pueden modificar, estos datos son colocados de acuerdo con la tipología del edificio seleccionada. También se pregunta por el tipo de aire acondicionado y calefacción. El año de análisis, y si se tendrán en cuenta sensores

fotovoltaicos para luz natural. Finalmente se recomienda usar calendarios simplificados para **usage details**.

La siguiente pantalla es la numero 3(figura 2.10), en la cual se define la huella del edificio y la forma de las zonas térmicas. Por ser un edificio de oficinas de tipo oficina abierta y ser un análisis esquemático, se elige la forma core/ perimeter; no obstante, para análisis más detallado se pueden usar las otras opciones. En esta pantalla se coloca la altura de cada piso, y se define el techo si es inclinado o no, también es importante definir la orientación del edificio.

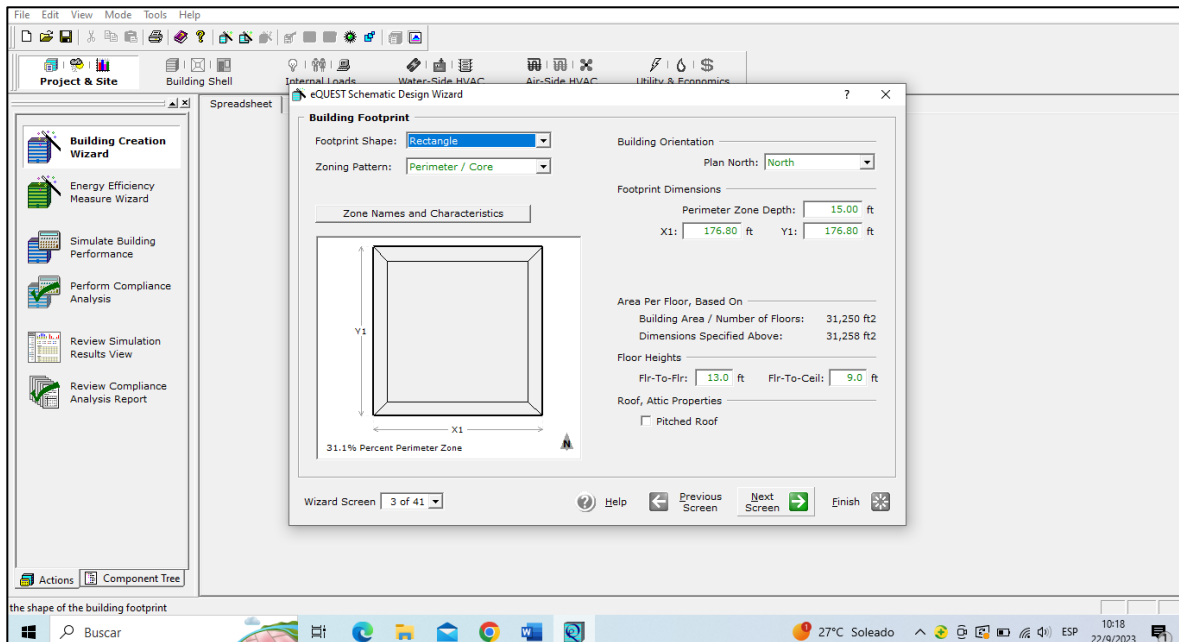


Figura 2.10 Pantalla 3 de huella del edificio.

En la pantalla número 4(figura 2.11), se definen los materiales de construcción opacos de la fachada del edificio. El wizard muestra algunos materiales con aislamiento predefinidos para el techo, paredes y para la placa del contrapiso. Estos pueden ser modificados usando la biblioteca de materiales del software. En esta pantalla también se define el grado de infiltración del edificio, para lo cual se usan tres opciones: la tasa de ACH (cambio de aire por hora del recinto), o el flujo de aire en CFM por área de piso, o el mismo por muro exterior. Se sugiere tomar valores dados por defecto.

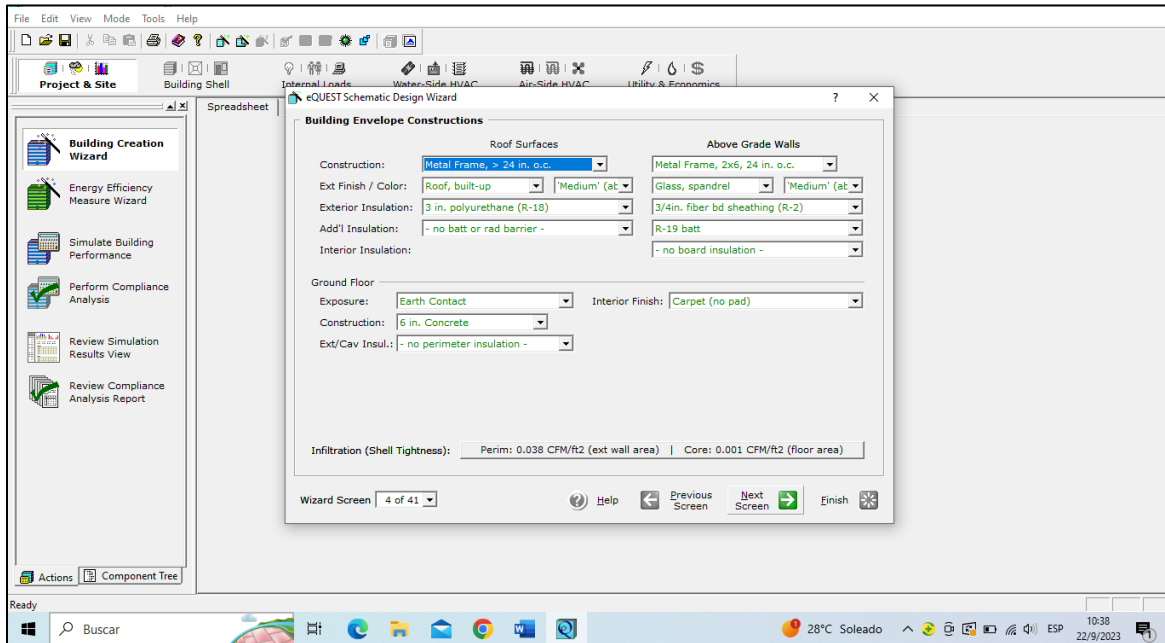


Figura 2.11. Pantalla de materiales de construcción.

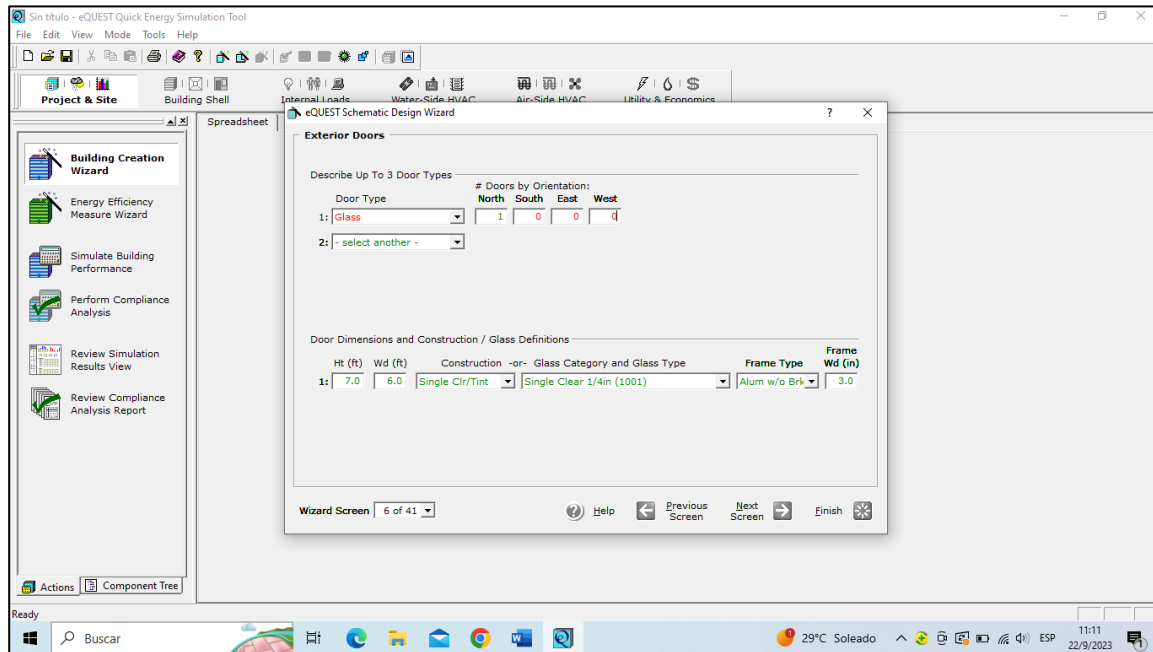


Figura 2.12. Puertas exteriores.

En la pantalla 6 y 7 se selecciona los materiales de las puertas y ventanas respectivamente. Para la puerta se selecciona el número de estas fachadas, al igual que su material, dimensiones, el tipo de marco y su dimensión (figura 2.12). Se puede escoger hasta dos tipos de puertas por proyectos.

En la pantalla 7 (figura 1.13) se escoge el tipo de ventanería que usa el proyecto. Se puede indicar hasta 3 tipos diferentes de ventanas por proyecto. En la primera instancia el software presenta una biblioteca con varias opciones de fabricantes, de las cuales se puede escoger uno en particular en **Glass Category** y luego en **Glass Type** se selecciona una ventana específica de dicho fabricante. Sin embargo, también se pueden dar las características de desempeño de forma directa sin seleccionar una marca de ventana, estas corresponden al valor U, SHCG Y VT, para ello se utiliza la opción de “especificar propiedades” en **Glass Category** y en **Glass Type** se modifican estos valores.

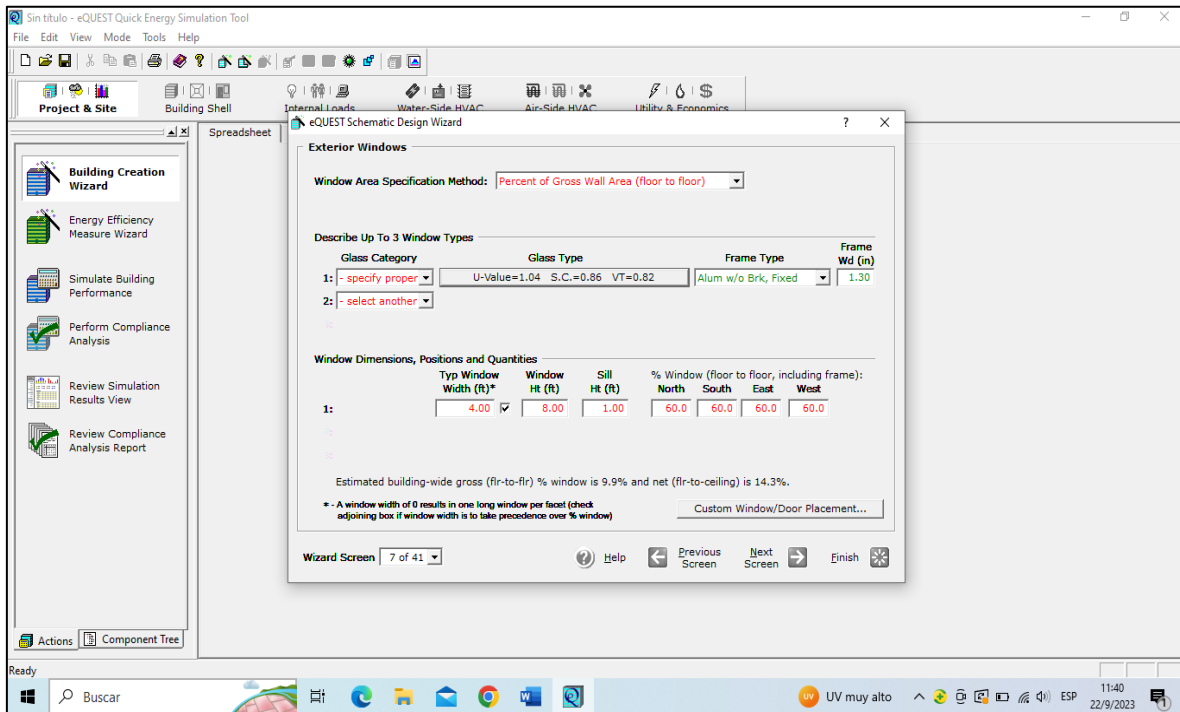


Figura 2.13. Pantalla para seleccionar ventanería.

En la siguiente pantalla (número ocho) se da la opción de colocar elementos de protección externos o sombras para contrarrestar ganancias de calor solar a través de ventanas. Existen dos tipos de protecciones: “overhangs” o para soles encima de la ventana, y “fins” o aletas verticales. Para cada una de estas categorías se puede indicar su ubicación por orientación de fachada y sus distancias verticales u horizontales con respecto a los extremos de la ventana. En la figura 2.14 se pueden apreciar estos detalles.

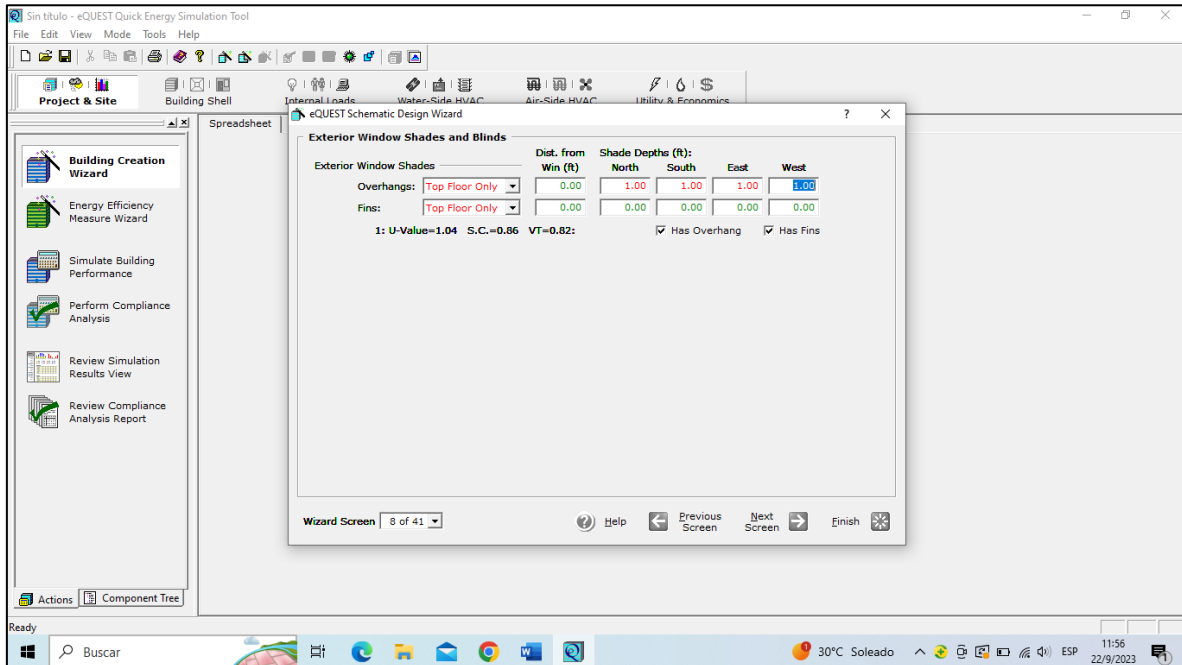


Figura 2.14 Sombra de ventanas exteriores.

Posteriormente se presenta una pantalla en la que se puede definir si el proyecto lleva o no claraboyas en el techo. Estas se pueden colocar en las zonas perimetrales o en la zona central del último piso. Si se colocan se debe definir el tipo de vidrio y otras características, como si estas son opacas o no. También en dicha pantalla se puede configurar la forma y ubicación de estas, se puede observar en la figura siguiente.

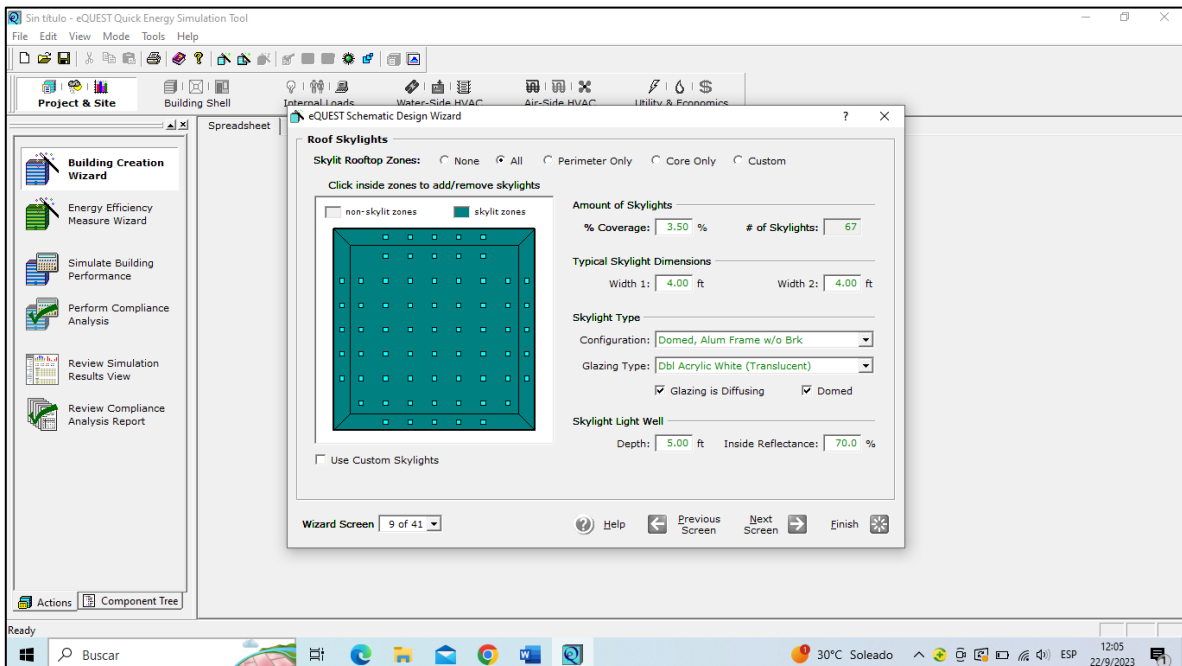


Figura 2.15. Claraboyas en el último piso.



Para la pantalla 13, corresponde a la asignación de áreas por actividades en el proyecto. En la pantalla aparece una lista de áreas por defecto, seleccionados por el software de acuerdo con el tipo de edificio indicado en la pantalla 1, en este caso corresponde a un edificio de oficinas, en la figura 2.16 aparecen las áreas indicadas. Para cada área se indica por defecto el porcentaje de área que tiene en el proyecto, la cantidad máxima de ocupación indicada por pie cuadrado por persona, y la cantidad de flujo de aire externo que requiere cada zona de acuerdo con base de datos manejada por el software.

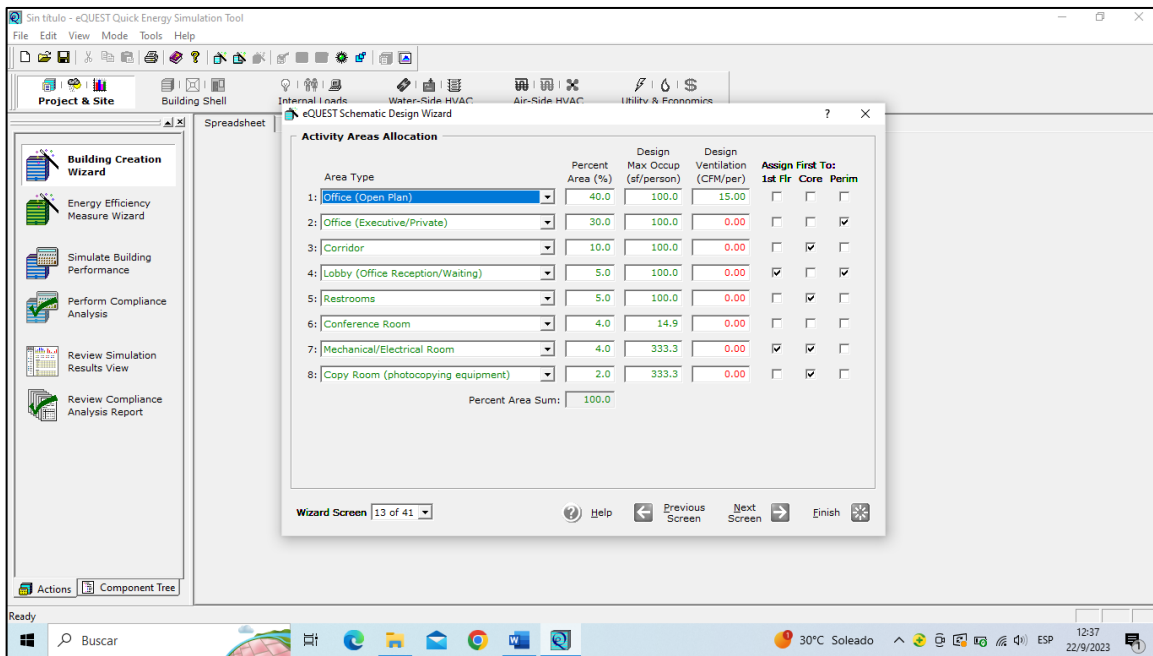


Figura 2.16. Asignación de áreas de actividades.

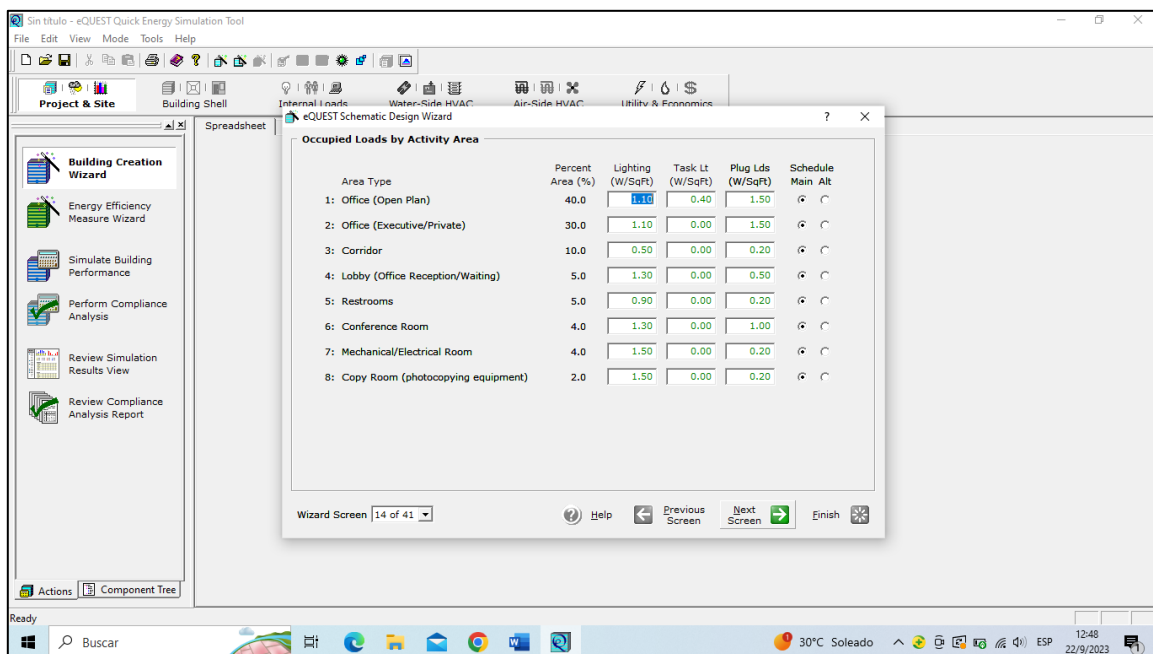


Figura 2.17 Cargas de ocupación por áreas de actividades.

En la pantalla 14 (figura 2.17) se indican algunas cargas por las áreas de actividades definidas anteriores al proyecto. En este caso para el ejemplo de la tipología del edificio, se asignan para cada espacio el LPD (densidad de potencia de iluminación), sin embargo, el software genera cargas por defecto extraídas de base de datos provenientes de códigos de eficiencia energía como el ASHRAE 90.1. También en esta pantalla se pueden indicar si hay cargas eléctricas de iluminación de escritorio, y cargas de tomas.

La pantalla 16 (figura 2.18), correspondiente a las cargas de no ocupación por área de actividades, en donde se asigna por medio de porcentajes el nivel de carga de ocupación, de iluminación, de iluminación de escritorio, y de tomas que se presentan cuando el edificio no está ocupado. Estos porcentajes son medidos con respecto a los niveles ya definidos en la pantalla 14 cuando el edificio se encuentra ocupado.

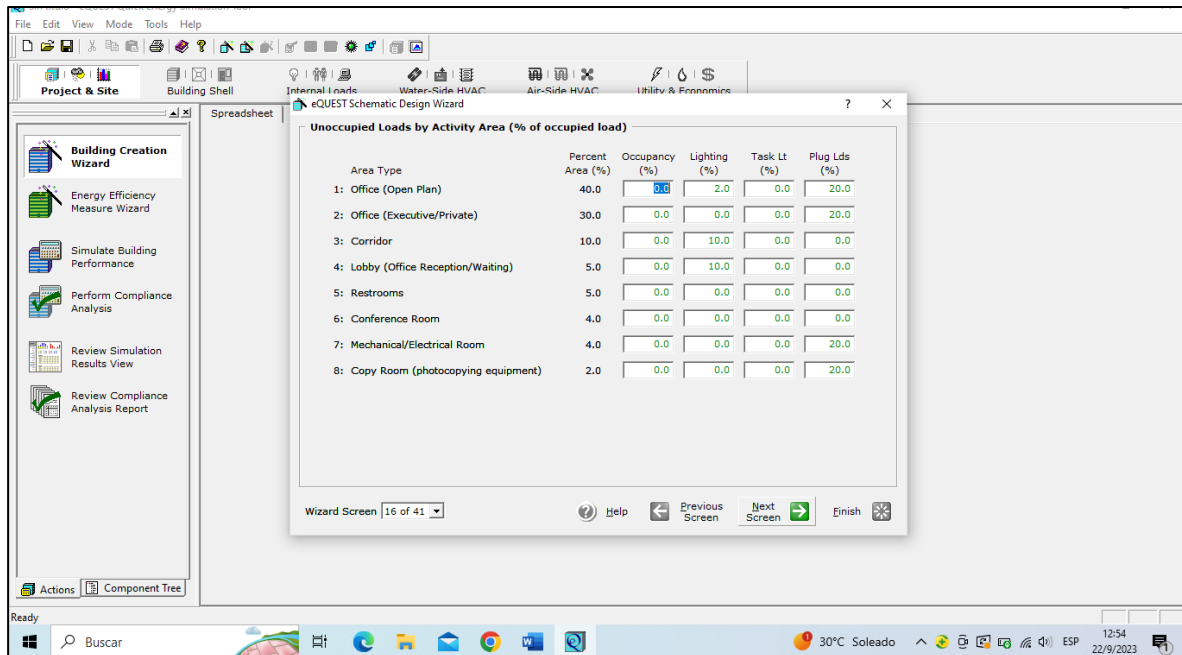


Figura 2.18. Cargas cuando no hay ocupación.

En la siguiente pantalla el número 17, se define el calendario principal del edificio, indicando que días de la semana el edificio se encuentra en uso, horario de uso y los porcentajes de ocupación, de iluminación, y tomas cuando este se encuentra ocupado. Se logra apreciar en la figura 2.19.

Las pantallas siguientes corresponden a la definición de equipos mecánicos en el proyecto. Si el proyecto no tiene estos equipos, se debe indicar en la pantalla 19, aunque también se pudo haber indicado en la pantalla 1. Al no tener equipos mecánicos de acondicionamiento, las demás pantallas correspondientes a estos equipos quedan deshabilitadas.

En la pantalla 43 se coloca la información con respecto al agua caliente doméstica. Es importante definir en dicha pantalla el tipo de combustible, si el equipo es de

almacenamiento o no, la eficiencia del equipo y el consumo de agua caliente por persona en el edificio. En las pantallas 40 y 42 se debe colocar el precio de la electricidad por kWh y del gas natural por terma.

Se debe entender que de acuerdo al tipo de edificio que se especifique en la pantalla 1 y otras opciones, se podrán presentar pantallas adicionales que no fueron mostradas aquí. Una vez configuradas todas las pantallas se selecciona la opción **finish**.

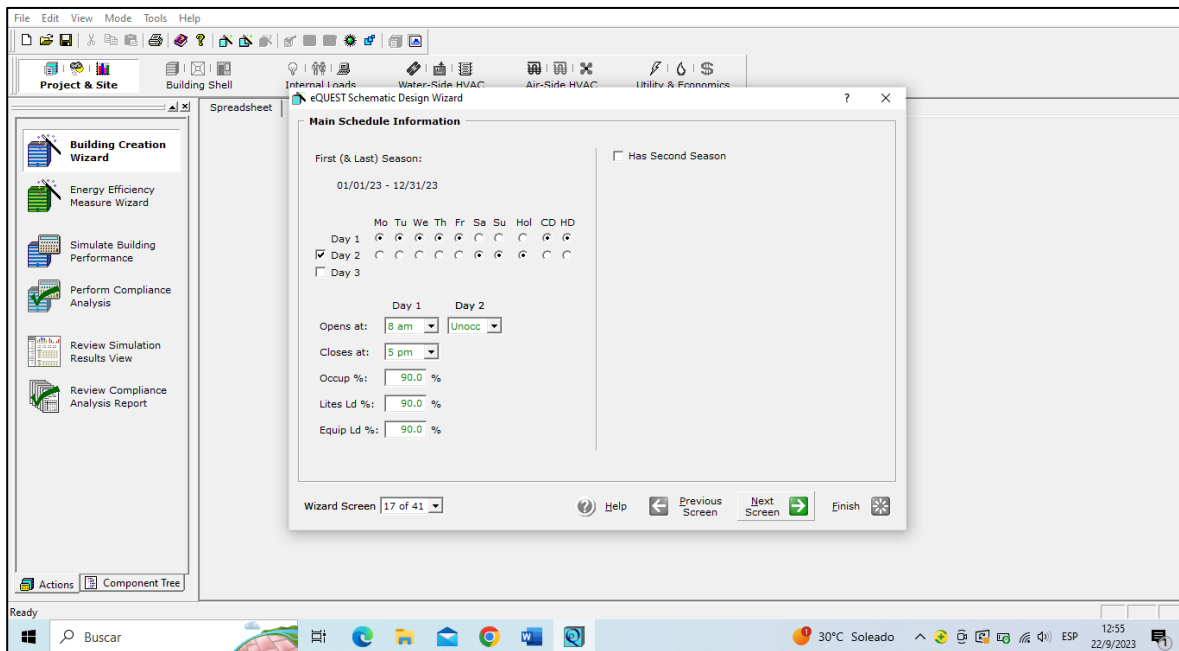


Figura 2.19. Información del calendario principal.

#### 2.8.4 Uso de herramienta de medidas de eficiencia energética.

La herramienta de medidas de eficiencia energética se localiza en el panel de control y tiene como icono:

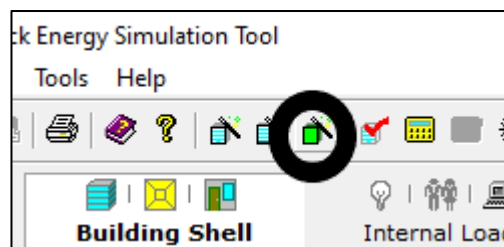


Figura 2.20. Botón para seleccionar eficiencia energética.

Se selecciona el icono y aparece un cuadro con un desplegable para la selección de la categoría de la medida. Como se aprecia en la figura 1.21. existen 5 tipos de medidas, los cuales son: Envoltente del edificio, que tiene que ver con los materiales constructivos de los ensamblajes de muros, techos y placas, aislamiento térmico, tipos de ventanería y radio de ventanería-muro, entre otros; cargas internas que tienen que ver con luz natural,

densidad de carga de iluminación artificial, y densidad de carga de tomas; sistemas HVAC; sistema de calentamiento de agua domestico; y finalmente la categoría correspondiente a edificios o sitio completo, en la que se puede alterar cualquier variable inicial del edificio.

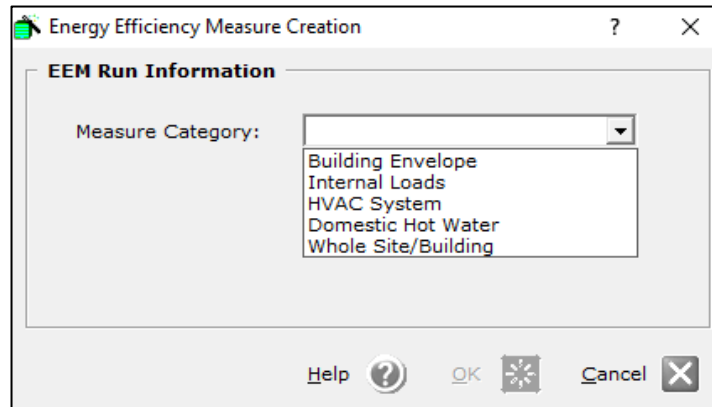


Figura 2.21 Cuadro de creación de medida de eficiencia.

Para cualquier tipo de categoría seleccionada aparece un nuevo formulario correspondiente al tipo o sub categoría de medida, algunas categorías tendrán varios tipos, otras serán únicas. Por ejemplo, se tiene para **building envelope** las sub categorías indicadas en la figura 2.22.

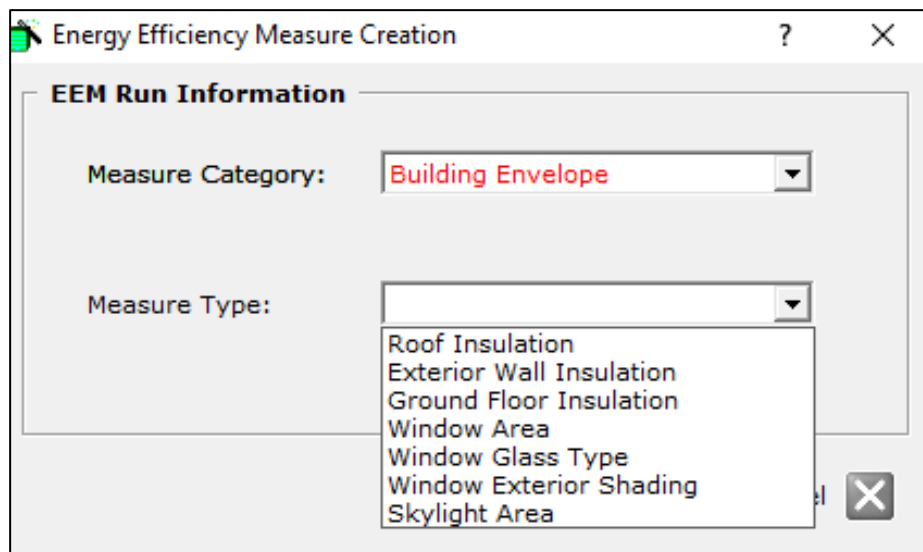


Figura 2.22. Subcategorías de envoltente de fachada.

Al escoger cualquier sub categoría o tipo de medida se entra a otro cuadro de información de la corrida EEM (medida de eficiencia energética) específica. En el caso de haber escogido área de la ventana en la categoría de envoltente del edificio se tiene el cuadro que se aprecia en la figura 2.23.

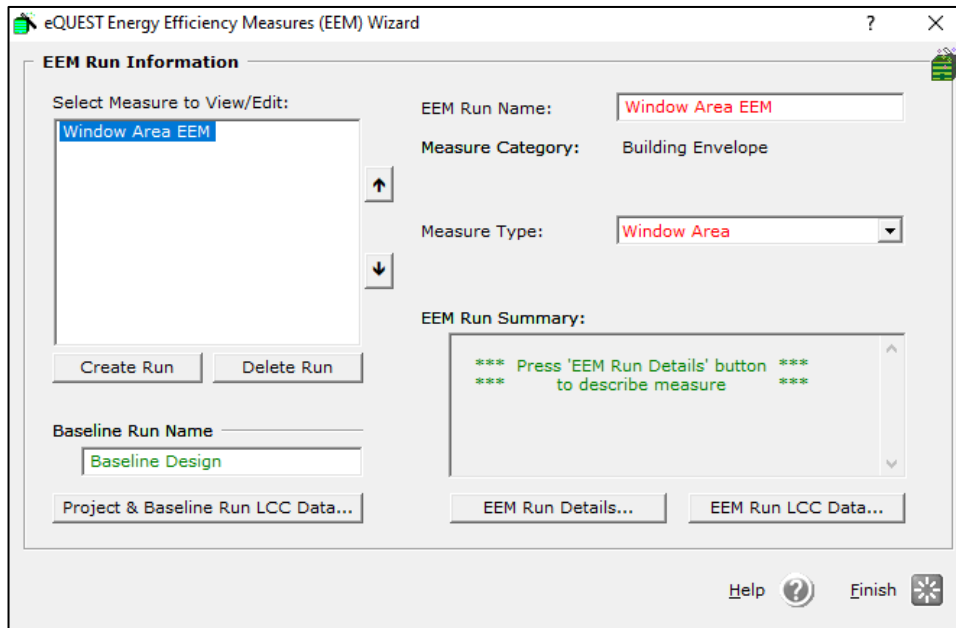


Figura 2.23. Información de la medida de eficiencia energética.

En este cuadro se puede renombrar la medida para personalizarla, y se debe indicar la línea base de la medida. Este dato es importante, puesto que se pueden tener varias medidas de forma separada o acumuladas para estudiar el impacto de varias medidas al mismo tiempo. Finalmente se entra en detalles de la medida y se despliega un nuevo cuadro específico para cada tipo de medida como se muestra en la figura 2.24.

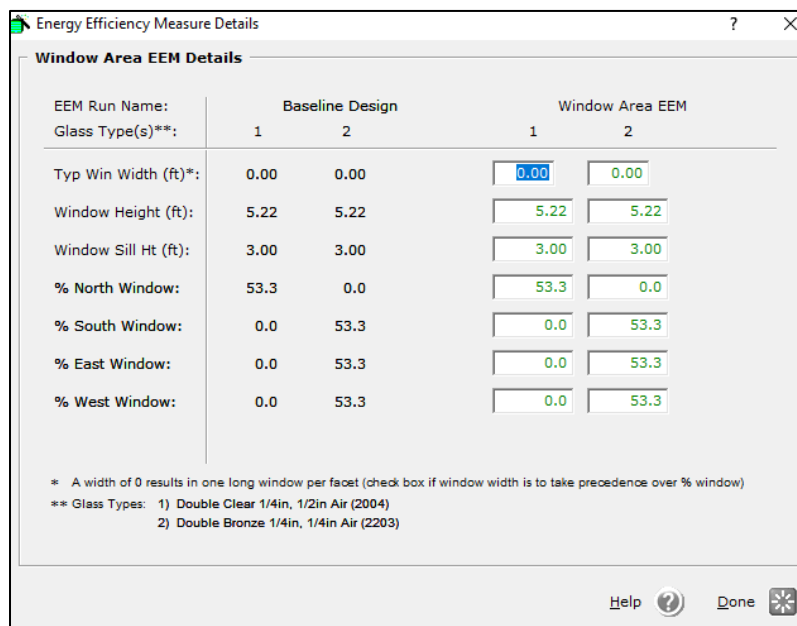


Figura 2.24. Detalles de la medida de eficiencia energética.

Para correr la medida de eficiencia energética implementada, basta con darle al icono de realizar simulación, y escoger la simulación que se desea correr.

### 3. METODOLOGÍA DE CONDICIONES DEL EDIFICIO Y DESCRIPCIONES DE LAS INSTALACIONES.

#### 3.1 EDIFICIOS DE LAS INSTALACIONES EN LA FMO

Para poder seleccionar aquellos edificios que pueden resultar adecuados en un análisis de eficiencia energética de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente, se tuvo que hacer una visita de campo en las instalaciones donde se eligieron en base a criterios, flujo de personas y cargas con las que cuenta cada uno de estos que pueden ser modificadas. La metodología que se utilizó para identificarlos es:

- Obtención de los perfiles de demanda por carga durante una semana para cada tablero eléctrico que abastece de energía cada edificio.
- Una visualización detallada en el edificio de la distribución de aparatos que consumen energía eléctrica dentro de las instalaciones de manera que se puedan detectar diferentes oportunidades de ahorro energético.
- En cada edificio se llevan a cabo diferentes mantenimientos por parte de personal técnico y existe un encargado de cada departamento que supervisa que se dé el adecuado funcionamiento de toda la estructura, con la ayuda de estas personas se consultó sobre los documentos necesarios para nuestro proyecto como planos arquitectónicos, planos de luminarias, planos de toma corrientes, facturas eléctricas etc.

Después de llevar a cabo nuestra visita de campo se llegó a la conclusión que cuatro edificios cuentan con la mayoría de estos criterios, los cuales son: **Edificio de Medicina 1, Edificio de Medicina 2, Biblioteca y Edificio Ex Administrativo** o bien llamado “Riñón”. La selección se desarrolló en base a lo dicho anteriormente, también nuestra selección se vio apoyada por una investigación realizada a las personas encargadas del mantenimiento, jefe de departamento, ingeniero eléctrico encargado. De esta manera se obtuvo más información del comportamiento de cada uno de los edificios.

La forma más empírica de evaluar cada estructura, sería con la ayuda de un analizador de redes que nos mostrará el comportamiento durante una semana de la energía medida cada 15 minutos, de otra manera para medir de manera más específica el consumo de los aparatos eléctricos mensual durante la semana lectiva.

A continuación, se presentan los cuatro edificios elegidos para nuestro estudio de eficiencia energética:



Figura 3.1 Edificio de Medicina 1



Figura 3.2 Edificio de Medicina 2



Figura 3.3 Edificio Ex Administrativo o Riñón



Figura 3.4 Edificio Biblioteca Universitaria.

### 3.2 UBICACIÓN DE LA UNIVERSIDAD Y DATOS CLIMÁTICOS

La ciudad de San miguel, en el departamento de San Miguel, de la República de El Salvador, está limitado de la siguiente forma: al norte, por la República de Honduras; al este, por los departamentos de Morazán y La Unión; al sur, por el Océano Pacífico y el departamento de Usulután, al oeste por los departamentos de Usulután, San Vicente y Cabañas. Nuestra área de estudio está enfocada a la Ciudad de San Miguel, la cual está dentro del Municipio. Dicha cabecera departamental y municipal fue fundada el 8 de mayo de 1,530 por el capitán don Luis de Moscoso.

Cabe mencionar que el edificio 1 de medicina y el edificio 2 de medicina constan de dos niveles cada uno y tienen la misma área de construcción de 810 m2. Según los planos arquitectónicos de la facultad.

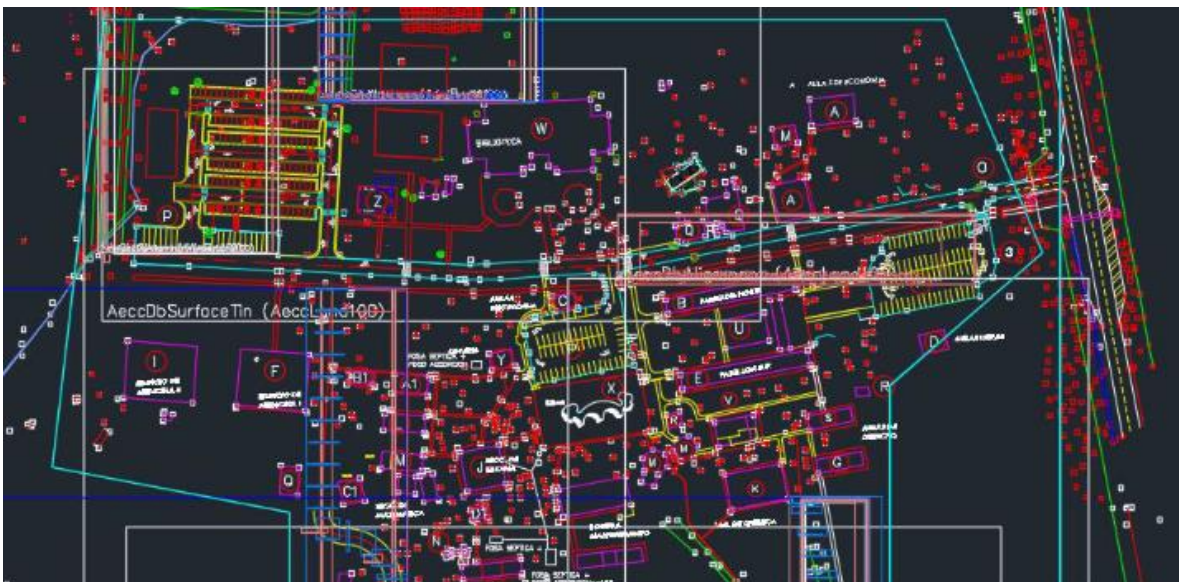


Figura 3.5 Plano Autocad de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente.

La Facultad Multidisciplinaria de Oriente lo componen diferentes departamentos que preparan y desarrollan a profesionales futuros en nuestro país, estas son los siguientes

- Departamento de Medicina
- Departamento de Ingeniería y Arquitectura
- Departamento de Ciencias Naturales y Matemáticas
- Departamento de Economía
- Departamento de Ciencias y Humanidades
- Departamento de Jurisprudencia y Ciencias Sociales



### 3.2.1 Datos climáticos.

En San Miguel, la temporada de lluvia es opresiva y nublada, la temporada seca es bochornosa y mayormente despejada y es muy caliente durante todo el año. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 23 °C a 35 °C, 73.4 °F a 95 °F respectivamente y rara vez baja a menos de 20 °C o 68 °F y sube a más de 36 °C o 96.8 °F.

En el siguiente grafico se presentan los datos meteorológicos del departamento de San Miguel:

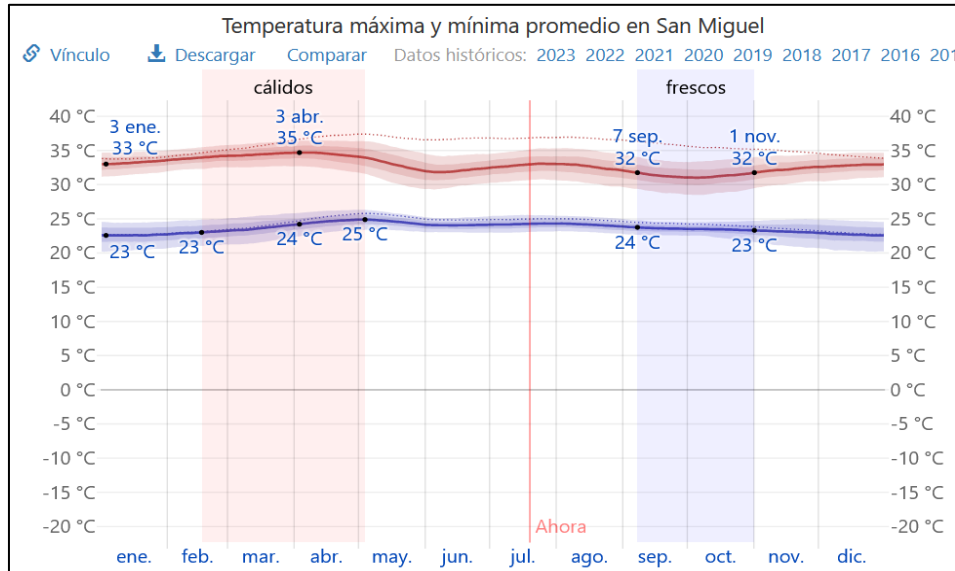


Gráfico 3.1 Datos meteorológicos en San Miguel El Salvador 2022 weatherspark.

La temporada calurosa dura 2.6 meses, del 17 de febrero al 3 de mayo, y la temperatura máxima promedio diaria es más de 34 °C. El mes más cálido del año en San Miguel es abril, con una temperatura máxima promedio de 34 °C y mínima de 25 °C.

La temporada fresca dura 1.8 meses, del 7 de septiembre al 1 de noviembre, y la temperatura máxima promedio diaria es menos de 32 °C. El mes más frío del año en San Miguel es octubre, con una temperatura mínima promedio de 23 °C y máxima de 31 °C.

Después de la temperatura lo importante a tener en cuenta es el comportamiento del viento en la zona, por lo tanto, se obtienen los datos del viento, su velocidad máxima como se muestra a continuación:

Mes	Vel del viento (km/h)
Enero	12.7
Febrero	12.4
Marzo	11.9
Abril	10.5
Mayo	9.1
Junio	8.8
Julio	9.6
Agosto	8.8
Septiembre	9.5
Octubre	8.7
Noviembre	10.1
Diciembre	11.9

Tabla 3.1 Velocidad del viento del año 2022.

En el departamento de San Miguel la dirección promedio por hora del viento varia durante las estaciones del año.

### 3.3 ORIENTACIÓN DE LOS EDIFICIOS Y TAMAÑO

La orientación de un edificio es fundamental porque nos permite evitar al máximo la radiación solar que cae directo sobre zonas que necesiten refrigeración, y así de tal manera que el consumo energético se vea reducido. Nuestros edificios están orientados hacia el sur de su entrada principal, ambos poseen la misma orientación hacia el punto cardinal. El tamaño de una estructura o un edificio determina en gran medida su consumo energético. El gran edificio necesitara más energía para acondicionar los espacios y por ende más iluminación.



Figura 3.6 Vista aérea del edificio 1 y 2 del departamento de medicina de la FMO. GOOGLE EARTH.

### 3.4 ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

Los edificios no poseen una envolvente térmica, esta marca una pequeña o gran diferencia para aislar el clima del exterior con el clima del interior, la temperatura es de suma importancia para las zonas que son acondicionadas.

Para describir de una manera general el edificio, vale tener una posición franca, cada edificio consta de una entrada principal al sur, el cual sirve de acceso y salida al edificio y son de vidrio común y marco de aluminio. En cada una de las entradas de aulas u oficinas posee una puerta comprimida con fibras de madera de alta densidad con relleno de poliestireno expandido.

El edificio está construido de una manera estándar utilizando bloques tipo saltex, dentro de la estructura posee pocas paredes y muchas divisiones hechas de tabla roca, así como también el piso posee cerámica y los techos de cielo falso.

### 3.5 TECHO Y TRAGALUCES

Con respecto a su techo del edificio cuenta con un tragaluz que ayuda a disipar el calor y mantener fresca las instalaciones según sea la velocidad del viento en la zona y en ciertas áreas del corredor a no depender del uso de las lámparas eléctricas gracias al aporte de la luz solar del día También hay que mencionar que la división entre pisos es de plafón de concreto y los techos poseen lámina galvanizada sin ningún aislamiento térmico.



Figura 3.7 Tragaluz de techo de edificio del departamento de medicina

### 3.6 PRINCIPALES FUENTES DE CONSUMO DE ENERGÍA EN LOS EDIFICIOS

La siguiente parte de la metodología para los objetos de estudio, los edificios 1 y 2 del Departamento de Medicina, la Biblioteca Central y el edificio “Riñón”, consiste en identificar cada una de las cargas que alimentan los espacios que contiene cada nivel, que por lo general el consumo teórico puede ser el inicio de un plan de estrategias de gestión tanto para los usos de los espacios como los equipos, con el único objetivo de disminuir todo el consumo energético en la edificación.

**Potencia Instalada:** Definimos la potencia como la suma total de todas aquellas potencias nominales de los aparatos eléctricos o electrónicos que consumen y que están conectados a la red que da energía a las instalaciones de los edificios, por eso se toma en cuenta la potencia en la viñeta en los equipos instalados en un espacio. Vamos a clasificar los equipos instalados en tres divisiones en nuestro estudio en el cual pertenecen de la siguiente manera:

- Sistema de iluminación, fluorescentes, incandescentes, luminarias LED etc.
- Sistema de climatización (Refrigeración o calefacción)
- Equipos de Oficina: aparatos eléctricos como ordenadores, equipos de laboratorio, impresoras, etc.

Entendemos de manera que cada una de estos términos se hace respecto a los espacios de usos y el tiempo de funcionamiento que tienen los equipos, contabilizados en horas de trabajo y potencia consumida. Cada una de las zonas (aulas, cubículos, oficinas, corredor, etc) necesita de una u otra manera de estos sistemas para un día típico de cada estación, siendo en verano, invierno o en algún entretiempp, de manera de estimar el consumo a lo largo del año con la ayuda del simulador de energía.

#### 3.6.1 Sistema de Iluminación

La iluminación consume la mayor cantidad de energía en los edificios. Las luces también emiten calor que se suma a la carga de enfriamiento y reduce la carga de calefacción en los espacios de uso, podemos decir que ha habido un desarrollo significativo en la tecnología a lo largo de los años, la mayoría de edificios ya no usan lámparas incandescentes ni fluorescentes.

Existen diversas medidas de mejorar el sistema de iluminación de un edificio. Se pueden instalar sensores de ocupación para automatizar que las luces enciendan cuando el espacio este ocupado y se apaguen cuando este desocupado.

Todas las zonas que componen el edificio A, B C y D de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente, baños, pasillos, oficinas etc cuentan con luminarias fluorescentes de tipo F32T86500K de marca Sylvania.



*Figura 3.8 Lámpara Fluorescente 3x32 W con las que cuenta el edificio de medicina 1.*

### **3.6.2 Sistemas de aire acondicionado y controles de la instalación**

Casi todos los edificios modernos tienen algún tipo de sistema HVAC para acondicionar sus espacios para cumplir el nivel de comodidad de los ocupantes. El sistema de refrigeración es la principal fuente de consumo de energía en los edificios.

El edificio 1 de medicina de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente de la Universidad de El Salvador, cuenta con diversas áreas acondicionadas, en el nivel 1 tiene un aula climatizada en cambio el nivel 2 posee más de la mitad de las áreas climatizadas y estas zonas acondicionadas son:

- Secretaria
- Jefatura
- Sala de Reuniones
- Cubículos de docentes



*Figura 3.9 Sistemas HVAC en el edificio medicina 1.*



*Figura 3.10 Cubilo de docentes en el edificio 1.*



*Figura 3.11 secretaria en el edificio 1.*

Marca	Modelo	Voltaje/Hz/Fase	SEER	Refrigerante	TON
Tenstar	THWA24SKBE	220 V	10	R22	2
VICOT	CTF036NW2	208-230/60/1	10	R22	3
VICOT	CTF048NW2	208-230/60/1	10	R22	4

Tabla 3.2 Información de los equipos existentes de AC del edificio 1.

La temperatura del termostato de los sistemas de aire acondicionado que posee el edificio, por lo general se mantienen a 69.8° F es decir a 20° C.

### 3.6.3 Consumo de eléctrico del edificio existente

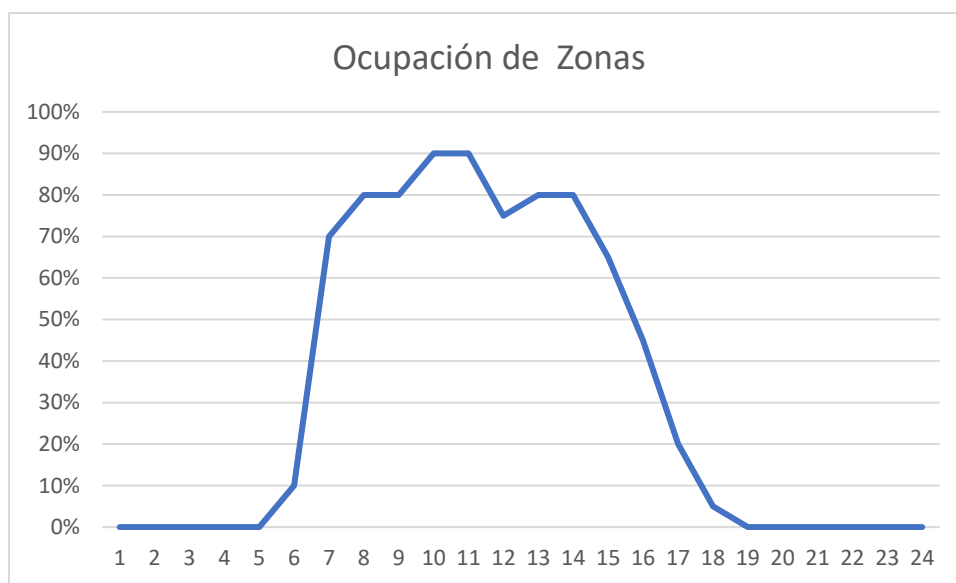
Equipo	Potencia (Watts)	Cantidad	Horario Laboral (8 am a 4 pm)	Horario no laboral (resto del día)	CONSUMO DIARIO (kWh)	CONSUMO SEMANAL (kWh)	Consumo Mensual (kWh)
Lampara fluorescente 3x32w	96	92	8	0	70.656	353.28	2119.68
PC de escritorio	50	2	8	0	0.8	4	16
UPS	10	1	8	0	0.08	0.4	1.6
Laptop	30	1	8	0	0.24	1.2	4.8
Bombilla Incandescente	45	3	3	5	1.08	5.4	21.6
Fotocopiadora Kyocera	618	1	0.1	0	0.0618	0.309	1.236
Oasis	560	1	8	16	13.44	67.2	268.8
Impresora Pequeña Kyocera	525	2	8	0	8.4	42	168
Impresora Hp M426fdw	583	1	8	0	4.664	23.32	93.28
Oasis	560	1	8	7	8.4	42	168
Impresora negra	580	1	8	0	4.64	23.2	92.8
Ventilador de pedestal	6	1	6	0	0.036	0.18	0.72
Ventilador personal	6	6	6	0	0.216	1.08	4.32
Laptop	30	4	8	0	0.96	4.8	19.2
Fotocopiadora pequeña Kyocera	525	1	8	0	4.2	21	84
Ventilador de techo	75	64	6	0	28.8	144	576
Laptop	30	6	8	0	1.44	7.2	28.8
Impresora Hp M426fdw	583	1	8	0	4.664	23.32	93.28
Oasis	560	1	8	7	8.4	42	168
Impresora negra	580	1	8	0	4.64	23.2	92.8
Ventilador personal	6	2	6	0	0.072	0.36	1.44
Lampara fluorescente 2x32w	64	88	8	0	45.056	225.28	901.12

Tabla 3.3. Uso de equipos y luminaria del edificio 1 de medicina.

### 3.7 ZONAS DE OCUPACIÓN Y HORARIOS

El número de personas en un edificio afecta directamente el consumo de energía directamente. En ausencia de personas, las luces se pueden apagar, el punto de ajuste del HVAC se puede ajustar para lograr ahorros de energía y muchas cargas de enchufes no funcionan. Por lo tanto, a medida que más personas ocupan el edificio, existe una necesidad mayor de encender las luces y operar el sistema de refrigeración.

Muchos edificios públicos tienen definido su horario de apertura y cierre total de las oficinas. Los horarios en nuestro caso serán de motivo de estudio para la aplicación y nos guiaremos en cuanto al equipo eléctrico, con el cual cuentan algunas zonas u oficinas de dicho edificio, en su mayoría es equipo de oficina; entre el cual podemos mencionar computadoras, impresoras, teléfonos, ventiladores, cafeteras, dispensadores de agua etc.



Gráfica 3.2 Zonas de paso: pasillos, escaleras, corredor y vestíbulo.

En la gráfica 3.2 se puede observar las horas en las que las zonas de paso son más utilizadas, por lo tanto, es en este momento en que el consumo eléctrico de las edificaciones tiende a aumentar debido a un mayor flujo de personas.

El horario de uso de las instalaciones es de 8:00 am a 4:00 pm el cual varía de acuerdo a los horarios de clases impartidas durante el año.

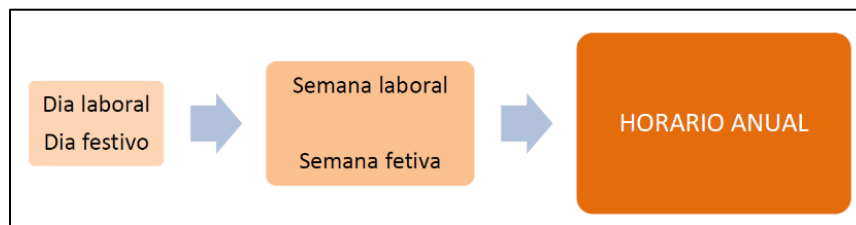


Figura 3.12 Flujograma que muestra el horario anual de clases impartidas.



Podemos mencionar o clasificarlas en dos temporadas y nos valdremos del año lectivo 2022, el cual es el año en el cual se está realizando la investigación.

- Temporada alta: febrero-junio, julio-noviembre.
- Temporada baja: enero, agosto, diciembre.

Ya que en la simulación se consideran los días festivos del año y según el acuerdo del Consejo Superior Universitario de la Universidad de El Salvador que aprueba calendario académico del año lectivo 2022

MES	DIA
Enero	1-15
Febrero	16
Marzo	24-31
Abril	1
Mayo	1 y 10
Junio	-
Julio	-
Agosto	1-6
Septiembre	15
Octubre	-
Noviembre	2
Diciembre	15-31

*Tabla 3.4 Días festivos, calendario de actividades de la UES 2022*

### **3.8 CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y TARIFAS DE SERVICIOS ELÉCTRICO.**

Facturación

Para el análisis de la Facultad Multidisciplinaria Oriental un dato importante es que toda la facultad posee un solo medidor energía Eléctrica con los siguientes datos:

Distribuidora: EEO (Empresa Eléctrica de Oriente)

Tipo de Cliente: Mayor Demanda (>50 kW)

Medición: Media tensión con medición horaria

Energía valle: 23:00 a 04:59

Energía resto: 05:00 a 17:59

Energía punta: 18:00 a 22:59

III. GRANDES DEMANDAS (>50 kW)

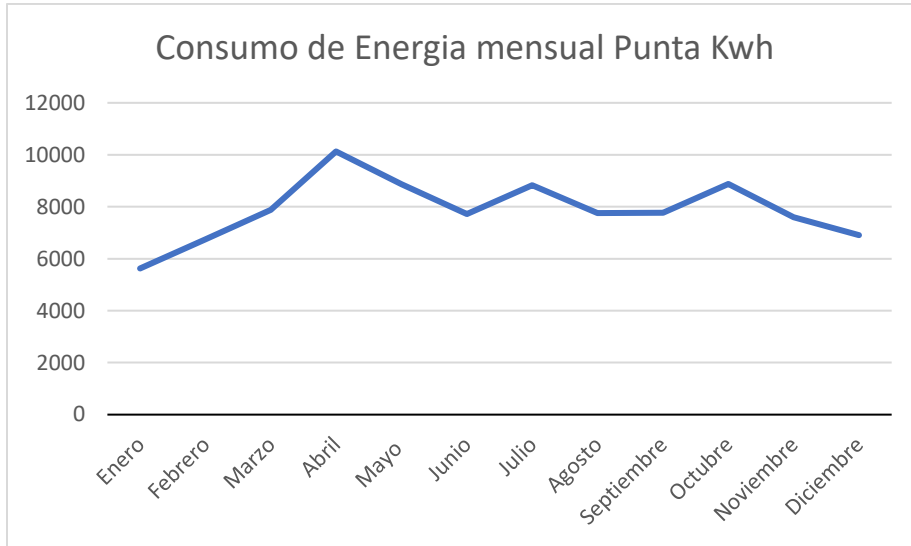
BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Atención al Cliente	US\$/Usuario-m	12.862377	15.034473	11.786708	13.705455	12.475882	19.641153	17.214672	7.118801
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.167472	0.172733	0.182587	0.180925	0.193289	0.178404	0.141252	0.127719
Energía en Resto	US\$/kWh	0.155564	0.152251	0.148884	0.149708	0.155924	0.146105	0.137237	0.175803
Energía en Valle	US\$/kWh	0.179421	0.184331	0.189771	0.193291	0.205609	0.188200	0.174886	0.085048
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	14.519619	22.333594	23.119906	27.824279	29.336953	31.175292	17.458443	20.381221
MEDIA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
	CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO	
Cargo de Comercialización:									
Cargo Fijo	US\$/Usuario-m	12.862377	15.034473	11.786708	13.705455	12.475882	19.641153	17.214672	7.118801
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.155146	0.158120	0.166521	0.161330	0.171322	0.166698	0.134261	0.112875
Energía en Resto	US\$/kWh	0.144115	0.139370	0.135784	0.133494	0.138204	0.136519	0.130445	0.155370
Energía en Valle	US\$/kWh	0.166216	0.168736	0.173073	0.172357	0.182242	0.175851	0.166230	0.075163
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	7.089464	7.008348	13.097554	17.848802	19.101749	9.695440	10.688800	5.251206

\* De acuerdo con lo establecido en el Decreto Ejecutivo No. 43/2022; el cargo por energía se mantiene sin variación respecto al trimestre anterior.

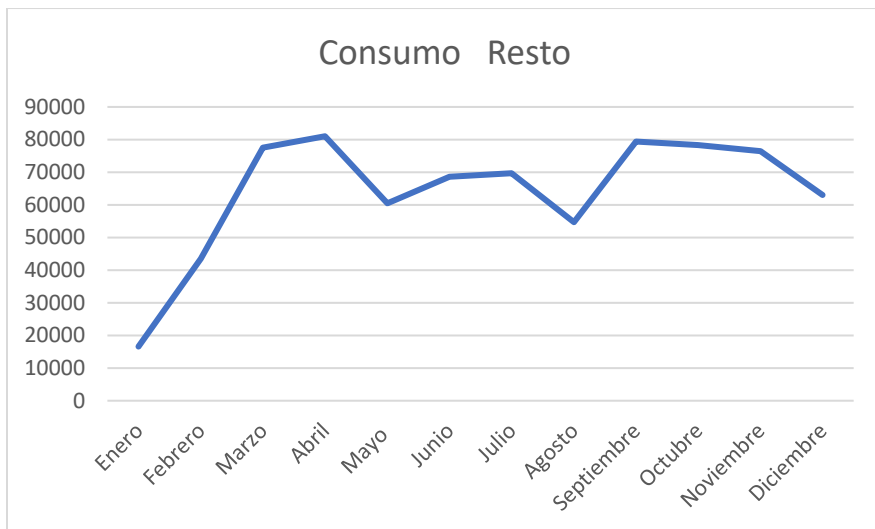
Figura 3.13 Pliego tarifario SIGET del año 2022

Facturación 2022	Consumo de Energía mensual Punta(kWh)	Consumo de Energía Mensual Valle(kWh)	Consumo de Energía mensual Resto (kWh)	Consumo de Potencia Mensual (kW)	Total \$ mensual por kW	Total \$ Punta +\$ Valle+\$ Resto	Total \$
Enero	5626	5139	16595	334	6373.83	4008.62	10382.45
Febrero	6752	6280	43543	336	6414.59	7984.43	14399.02
Marzo	7878	8419	77501	346	6603.26	13067.89	19671.15
Abril	10128	8419	81023	356	6791.92	13901.28	20693.2
Mayo	8864	8308	60469	385	7357.92	10934.23	18292.15
Junio	7726	7245	68653	395	7546.58	11659.83	19206.41
Julio	8829	8280	69709	395	7549.38	12157.24	19706.62
Agosto	7757	6227	54686	336	6423.86	9625.05	16048.91
Septiembre	7765	8308	79396	386	7368.54	13283.68	20652.22
Octubre	8874	7270	78294	356	6801.73	2684.7	9486.43
Noviembre	7595	7142	76466	342	6529.47	12664.04	19193.51
Diciembre	6908	7338	62989	333	6360.87	10788.03	17148.9
				Total	\$82,121.95	\$122,759.02	\$204,880.97

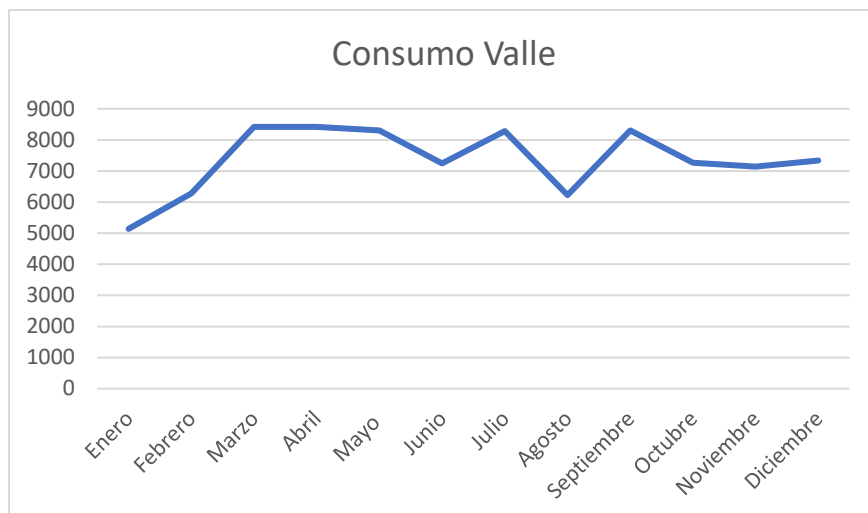
Tabla 3.5 Consumo de Energía mensual y facturación.



*Gráfica 3.3 Consumo de energía mensual en punta.*



*Gráfica 3.4 Consumo de energía mensual en resto.*



*Grafica 3.5 Consumo de energía mensual valle.*

La Facultad Multidisciplinaria de Oriente posee un solo contador de Energía Eléctrica por lo tanto no es posible hacer un análisis de facturas para poder conocer el consumo de cada edificio es necesario un analizador de redes a los edificios del Departamento de Medicina, lo cual seria 1 y 2. Se utilizó un medidor que es el ADTEK CPM-70 Power Analyzer.

El analizador de potencia multifunción CPM-70 proporciona alta precisión monofásica y trifásica medición y visualización de energía consumida en el edificio durante una semana y su comportamiento.

Hardware estándar integrado en un puerto de comunicación Modbus RS485, 4 entradas digitales, 2 relés de salida, LCM y flash de 2 MB para el registro de datos.

Además, también proporciona TOU, THD de voltaje y corriente, armónicos hasta el 31 y automático cambio de cableado mediante software que se instaló durante un tiempo para poder medir el consumo de energía en kWh para cada edificio.

### **3.9 VALIDACION DE DATOS DEL MODELO DE EQUEST**

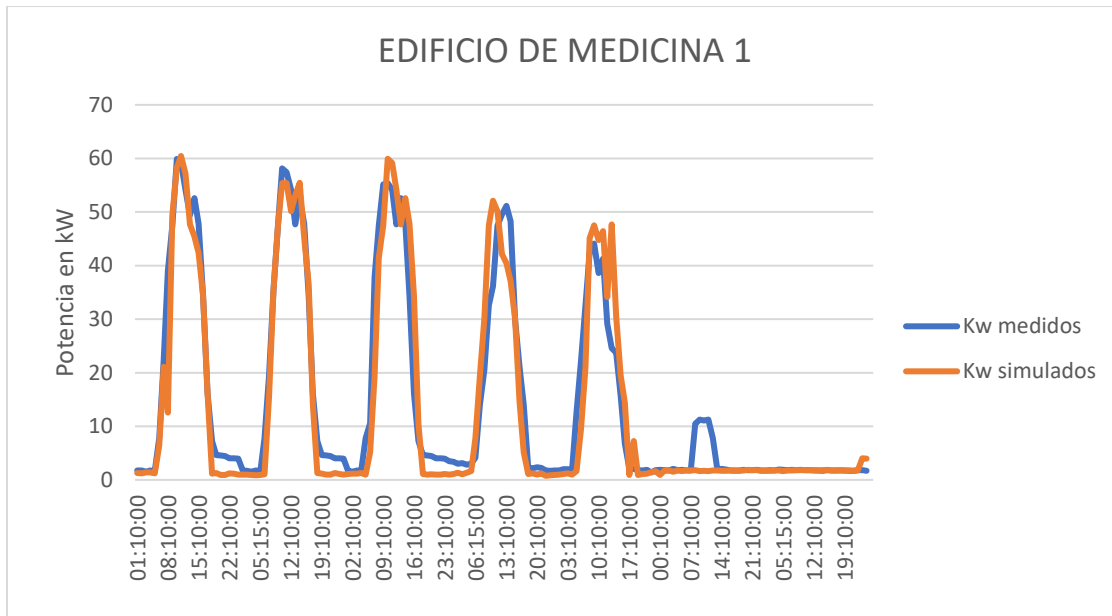
Para un modelado más exacto utilizando un simulador de consumo de energía era necesario tomar mediciones individuales por edificio ya que todos comparten una misma factura eléctrica emitida por la Empresa Eléctrica de Oriente.

Por lo tanto, con la supervisión de los encargados de mantenimiento y autorización del Ing. David Mendoza encargado del sistema eléctrico de la Facultad multidisciplinaria de Oriente, se utilizó el analizador de redes para medir el consumo en una semana de cada edificio y ver el comportamiento en kWh durante todo el día.

A continuación, se muestra el grafico comparando las mediciones del analizador y las horas reportas que nos simula eQuest, para ver la similitud entre ambos. En la gráfica observaremos los resultados del edificio de Medicina 1. Para los demás edificios se encontrarán en el Anexo A de la misma manera que se realizó este.

Sitio: EDIFICIO DE MEDICINA 1

Medido desde 29/08/2022 01:10:15, Hasta 05/09/2022 19:10:34



Grafica 3.6 Resultados obtenidos de los kW medidos vs simulados

### 3.10 DATOS RECOPIADOS DE LOS EDIFICIOS RESTANTES

En esta sección se presentan los datos obtenidos de la inspección de los demás edificios y condiciones en la estructura de la edificación tanto la envolvente como puertas ventanas etc. No se detallarán cada una de las partes ya que la información es similar y el procedimiento es el mismo con todos los edificios, así se presentan unos cuadros a continuación dando los mayores detalles de las estructuras.

EDIFICIO	MEDICINA 2
<b>Tipo de construcción</b>	Edificio de diferentes zonas para estudiantes y personal administrativo (Universidad)
<b>Dirección del Edificio</b>	FMO
<b>Orientación del Edificio</b>	Orientación Sur
<b>Número de pisos</b>	2
<b>Altura de piso a piso</b>	13 pies
<b>Altura del piso al techo</b>	9 pies
<b>Área Total</b>	19289 <i>pies</i> <sup>2</sup>
<b>Dimensión Puerta de la fachada</b>	8.84 pies x 8.20 pies
<b>Construcción de puerta</b>	Vidrio con marco de aluminio
<b>Ventana 1 dimensión</b>	4.27 pies x 10.49 pies

<b>Ventana 2 dimensión</b>	10.80 pies x 4.23 pies
<b>Construcción de ventana</b>	Celosía
<b>Horas de funcionamiento</b>	8 am a 4 pm (lunes a viernes)
<b>Traga luz</b>	Si
<b>Dimensión tragaluz</b>	19.69 pies x 19.69 pies

Tabla 3.5 Información General del Edificio 2 de Medicina

<b>EDIFICIO</b>	<b>BIBLIOTECA</b>
<b>Tipo de construcción</b>	Edificio de diferentes zonas para estudiantes y personal administrativo (Universidad)
<b>Dirección del Edificio</b>	FMO
<b>Orientación del Edificio</b>	Orientación Norte
<b>Número de pisos</b>	2
<b>Altura de piso a piso</b>	13 pies
<b>Altura del piso al techo</b>	9 pies
<b>Área Total</b>	19289 <i>pies</i> <sup>2</sup>
<b>Dimensión Puerta de la fachada</b>	10.50 pies x 8.20 pies
<b>Construcción de puerta</b>	Vidrio con marco de aluminio
<b>Ventana 1 dimensión</b>	11.49 pies x 4.27 pies
<b>Ventana 2 dimensión</b>	3.94 pies x 3.28 pies
<b>Construcción de ventana</b>	Celosía
<b>Horas de funcionamiento</b>	8 am a 4 pm (lunes a viernes)
<b>Traga luz</b>	Si
<b>Dimensión tragaluz</b>	26.25 pies x 52.49 pies

Tabla 3.7: Información General del Edificio Biblioteca

<b>EDIFICIO</b>	<b>RIÑÓN</b>
<b>Tipo de construcción</b>	Edificio de diferentes zonas para estudiantes y personal administrativo (Universidad)
<b>Dirección del Edificio</b>	FMO
<b>Orientación del Edificio</b>	Orientación Sur
<b>Número de pisos</b>	2
<b>Altura de piso a piso</b>	13 pies
<b>Altura del piso al techo</b>	9 pies
<b>Área Total</b>	5000 <i>pies</i> <sup>2</sup>

<b>Dimensión Puerta de la fachada</b>	8.20 pies x 7.87 pies
<b>Construcción de puerta</b>	Madera con marco de madera
<b>Ventana 1 dimensión</b>	3.28 pies x 3.94 pies
<b>Ventana 2 dimensión</b>	5.24 pies x 7.45 pies
<b>Construcción de ventana</b>	Celosía
<b>Horas de funcionamiento</b>	8 am a 4 pm (lunes a viernes)
<b>Traga luz</b>	No

Tabla 3.8 Información General del Edificio Ex Administrativo “Riñón”

#### 4. MODELADO Y SIMULACIÓN EN EQUEST.

Luego de que en el capítulo anterior se llevara a cabo la recolección de datos e información referente a los edificios que se van a estudiar a continuación se procede con el modelado y simulación en *eQuest*. Se describe el proceso paso a paso y se van mostrando las diferentes pantallas que se modifican en el software con los parámetros de nuestro proyecto.

##### 4.1 Información general del edificio de estudio

Los datos climaticos que se utilizaran son los que percibe la unidad meteorologica El Aeropuerto Regional de San Miguel (OASI: MSSM), también conocido como el aeropuerto de El Papalón, la pista de aterrizaje está ubicada paralela a la Carretera Panamericana, a 3 kilómetros al sureste de la universidad, que se deben cargar en el programa pero deben ser configurados en archivos de extension .BIN de la manera que el software eQuest pueda simularlos.

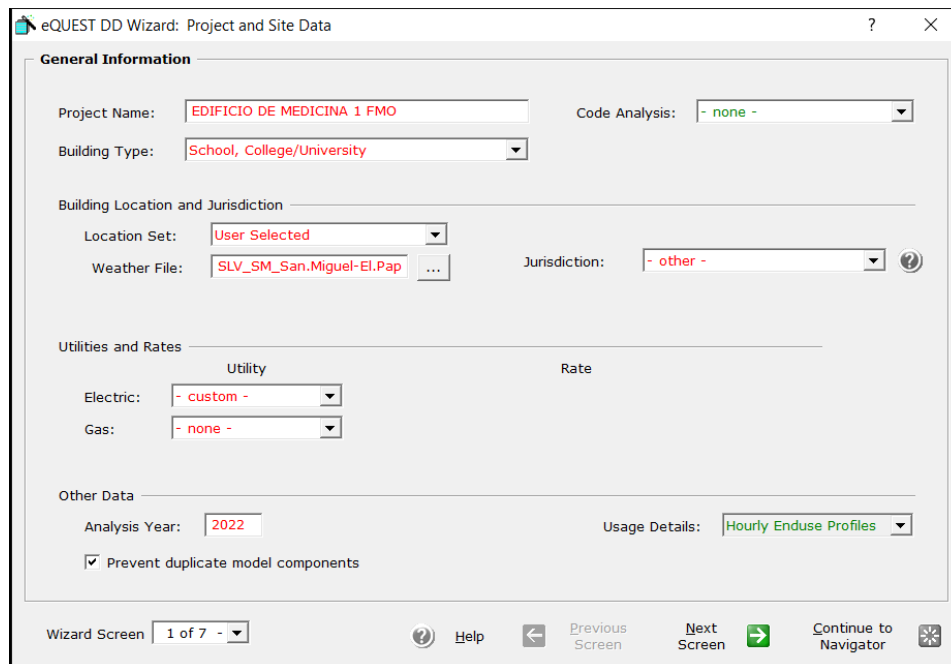


Figura 4.1 Selección General Information y carga de datos meteorológicos, Project Site Data

The screenshot shows a software window titled "eQUEST DD Wizard: Project and Site Data". The main content area is titled "Project Information" and is divided into two sections: "Building Location" and "Building Owner".

- Building Location:**
  - Address: DEP. DE MEDICINA UES FMO
  - City, State Zip: SAN MIGUEL, EL SALVADOR
- Building Owner:**
  - Name: MEDICINA 1
  - Address: FACULTAD MULT. ORIENTAL, UES
  - City, State Zip: SAN MIGUEL, SAN MIGUEL
  - Phone: <owner phone>

At the bottom of the form, there are two input fields: "Component Name Prefix" and "Suffix". Below these fields is a note: "(# of Prefix + Suffix characters cannot exceed 4)".

The bottom navigation bar includes:
 

- Wizard Screen 7 of 7 (with a dropdown arrow)
- Help (with a question mark icon)
- Previous Screen (with a left arrow icon)
- Next Screen (with a right arrow icon)
- Return to Navigator (with a star icon)

Figura 4.2: Información del proyecto, Project Site Data

Las figuras anteriores describen como se fueron modificando los parámetros del clima y la ubicación referentes a la Facultad Multidisciplinaria de Oriente.

#### 4.2 Definir horarios de trabajo y ocupación de las instalaciones

La Universidad cuenta con 2 ciclos de estudio, y se cargó en el programa de simulación eQuest las fechas de inicio del calendario de actividades Académico-Administrativas del periodo 2022, en la cual se indica la fecha 17 de enero como apertura del primer ciclo y el 22 de julio cierre del ciclo académico, para el segundo ciclo su apertura fue el 8 de agosto y el cierre el 15 de dic, toda esta información es la publicada por las autoridades correspondientes.

Es muy importante conocer esta información, ya que el programa nos lo solicita y como nuestro objetivo es obtener resultados bastante apegados a la realidad no se puede llevar a cabo una simulación sin tomarlos en cuenta. Los días en que los estudiantes no asisten a clases el consumo de energía se ve bastante disminuido y esto se ve reflejado en la factura de electricidad en estos meses.



**Season Definitions**

Description of Seasons: Year Round Classes Observed Holidays...

Number of Seasons:  1  2  3

Season #1  
Label: VACACIONES

Season #2  
Label: CICLOS UNIVERSITARIOS

Number of Date Periods:  1  2  3

lun., ene. 17 thru vie., jul. 22  
lun., ago. 08 thru mié., dic. 14

Wizard Screen 3 of 7 Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Figura 4.3: Definición de temporadas del edificio o proyecto, Project Site Data

### 4.3 Tarifas de electricidad

La Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador se encuentra situada en San Miguel y por lo tanto el cobro de la tarifa eléctrica lo realiza la distribuidora Empresa Eléctrica del Oriente S. A. de C. V. (EEO). El cobro por la energía consumida durante el mes lo realiza por bloques, que son punta, valle y resto, por lo tanto, los que se usaron en el programa fueron de acuerdo a los publicados por la SIGET en su página oficial en el periodo.

eQUEST DD Wizard: Project and Site Data

**Electric Utility Charges**

Rate Name: Custom Elec Rate Type: Time-of-Use Charges

Second Season:

Entire Year

Customer Charge: 13.70 \$/ Month

Uniform Charges: 0.000 \$/ kW 0.000000 \$/ kWh

	TOU Period	\$/ kW	\$/ kWh
1	Super On-P		
2	On-Peak	17.848	0.161330
3	Mid-Peak	17.848	0.133494
4	Off-Peak	17.848	0.172357
5	Super Off-P		

Wizard Screen 4 of 7 Help Previous Screen Next Screen Continue to Navigator

Figura 4.4: Definición de precios en cargos de servicios eléctricos, Project Site Data



Figura 4.5: Definición de horarios en cargos de servicios eléctricos, Project Site Data

#### 4.4 Selección, creación y edición de los niveles

Debido a que se eligió el diseño esquemático Design Developer Wizard (DDW) el mismo programa nos permite navegar entre cada una de los componentes, ya sea para crear nuevos, modificar o eliminar alguno que ya no deseemos en nuestra simulación, esta herramienta es bastante útil para hacer pequeñas modificaciones en cada nivel que en nuestro caso serán 2 niveles que posee cada edificio.

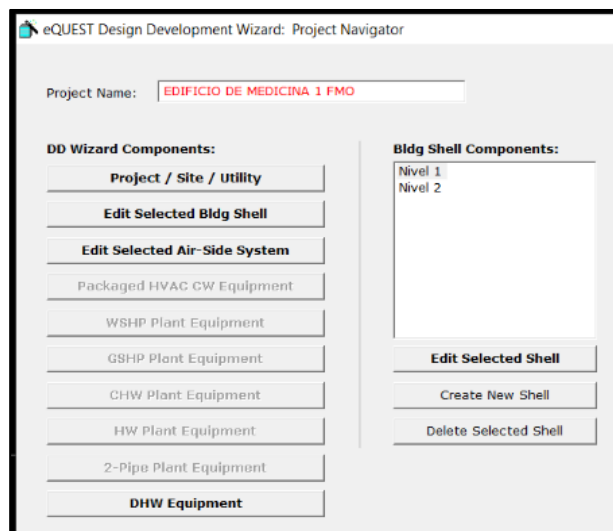


Figura 4.6 El diseño esquemático DDW nos permite hacer modificaciones en cada nivel.

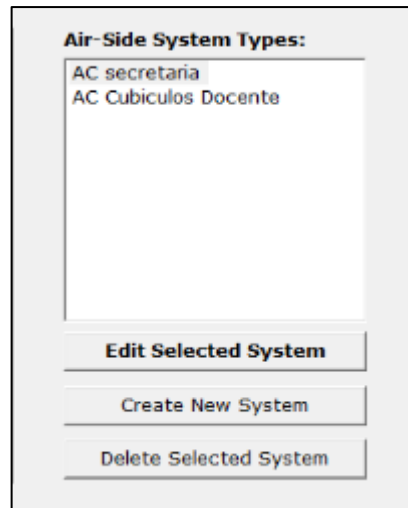


Figura 4.7: Navegador de los sistemas de aire que conforma el Edificio simulado, Project Navigator

Ahora se procede a crear los pisos que requiera en el programa de Simulación eQuest, en nuestro caso consta de dos pisos cada edificio, en la opción de crear Bldg Shell components

#### 4.5 Tipo del edificio e información general del piso.

En la página 1 se procede a escribir el nombre del piso, el tipo de edificio, debido a que es un edificio dentro de la Facultad Multidisciplinaria Oriental se elige School, College/University, el programa requiere un área de la construcción del edificio en este caso el edificio 1 tiene un tamaño de 8,014 ft<sup>2</sup> área construida.

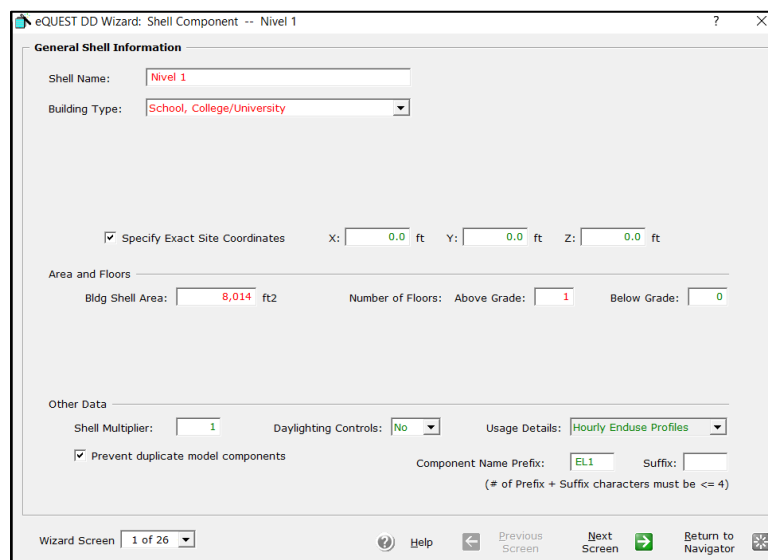


Figura 4.8: Definición del nombre, del tipo de Edificio y área de la construcción, Nivel 1

## 4.6 Zona perimetral del edificio

En esta opción definimos el contorno del edificio, pero primero procedemos a exportarlo desde AutoCAD en formato DWG de esta forma se puede importar nuestra forma personalizada y la dirección a la que mira el “Norte del plano” sería la orientación de nuestro edificio, la altura de los pisos y si tuviera techo inclinado o algún detalle importante.

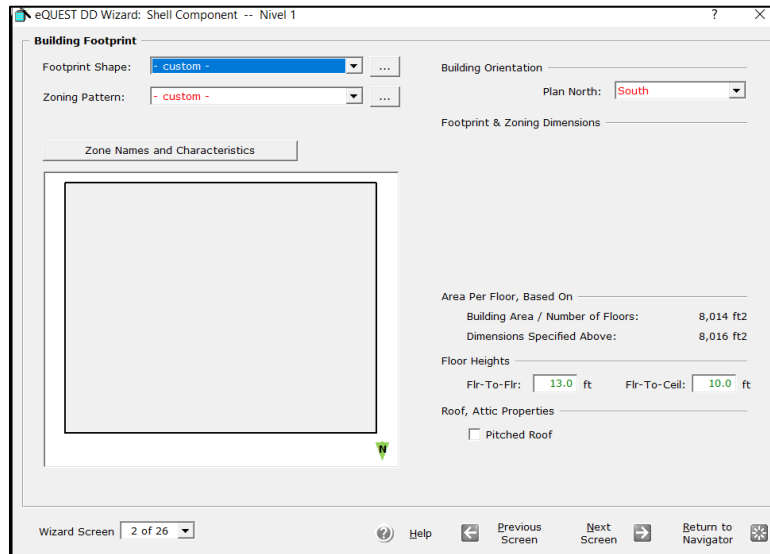


Figura 4.9: Definición del nombre, del tipo de Edificio y área de la construcción, Nivel 1.

## 4.7 Elementos de la envolvente de la construcción.

Ciertas características constructivas de los edificios que observamos en las visitas programadas, de acuerdo al capítulo anterior estas se cargan en el programa de primer y segundo nivel de la siguiente manera.

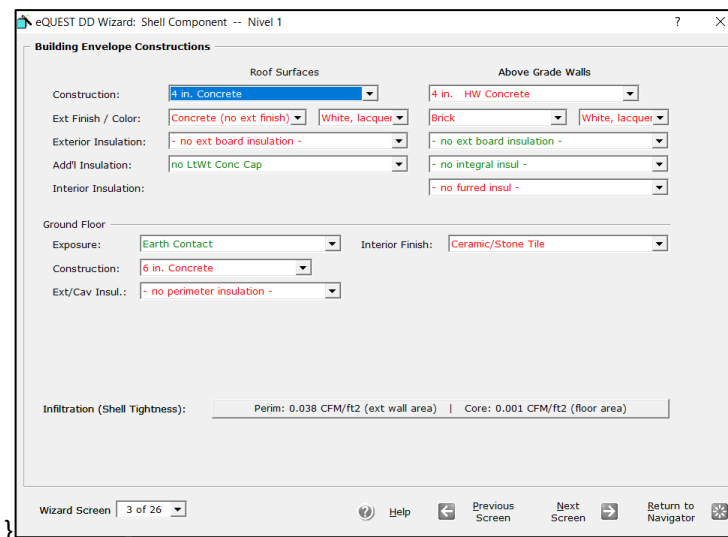


Figura 4.10 Selección de los elementos exteriores del Edificio 1, Nivel 1.

#### 4.8 Elementos al interior del Edificio

Para describir el interior del edificio, se cuenta con que las aulas poseen cielo falso Armstrong acústicos de igual manera las paredes exteriores. Para las paredes internas se observó en la inspección que no poseen ningún tipo de aislamiento, solamente son divisiones de tabla roca que son mayormente utilizadas para cerrar el paso del aire, por lo tanto, se ha elegido air(none) que es lo más parecido en las opciones a la pared descrita.

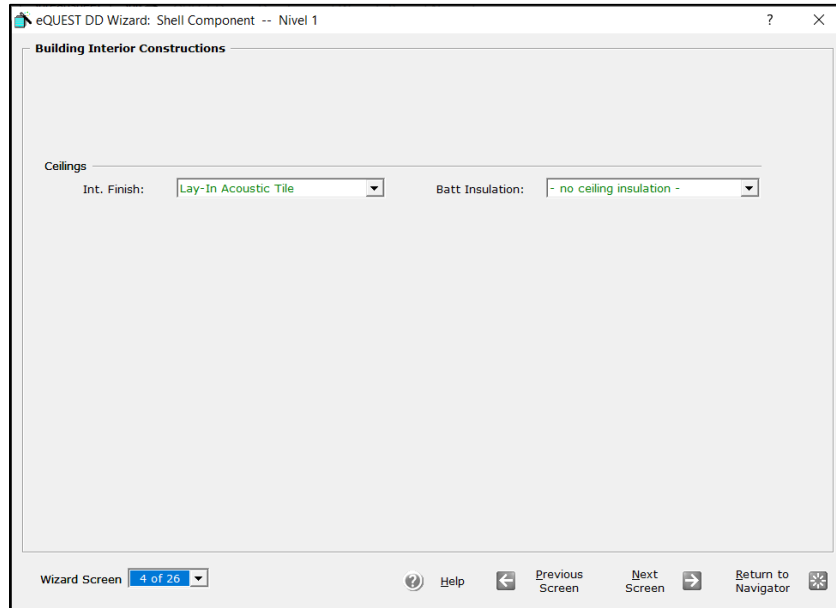


Figura 4.11 Selección de los elementos del interior del Edificio 1, Nivel 1.

#### 4.9 Definición de puertas exteriores

Actualmente el edificio solo cuenta con una puerta de marco de aluminio, totalmente de vidrio opaco, y amplia que abarca, se puede realizar de dos formas, la primera es ingresando la cantidad por fachada o de la otra manera que puede ser por coordenada.

En la figura 3.12 se muestran la pantalla del programa donde se definieron los materiales y las características de las puertas.

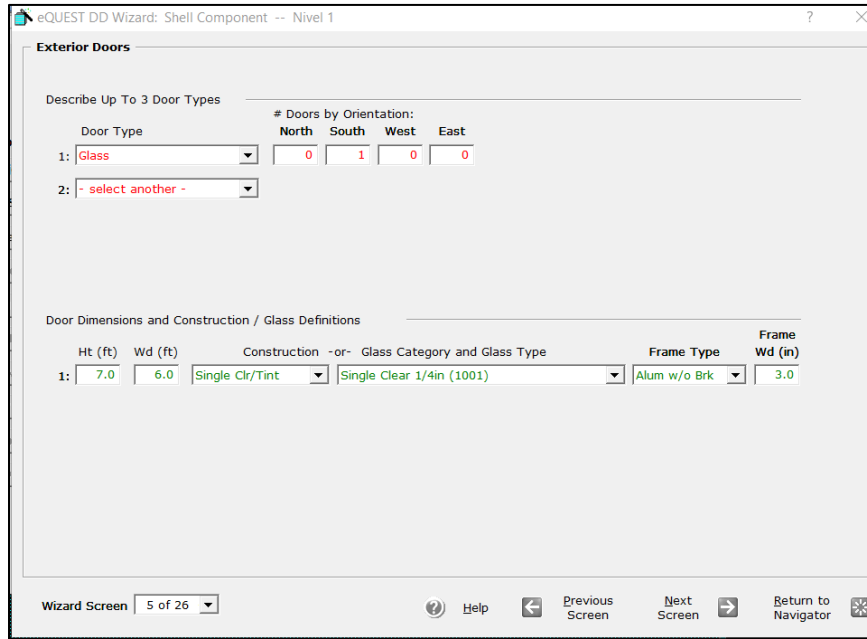


Figura 4.12 Selección de las características de las puertas del Edificio 1, Nivel 1.

#### 4.10 Definición de Ventanas Exteriores.

Como se habló en capítulos anteriores la ganancia de la radiación que provoca el sol con la luz durante el día es a través de las ventanas, por ello es muy importante para el estudio de una simulación energética colocar cada una de ellas con la mayor exactitud posible. En este programa eQuest, las ventanas exteriores se pueden definir de dos maneras, la primera es eligiendo cualquiera de las opciones que nos muestra el programa y la segunda es de manera más personalizada en la opción Custom Windows/Door Placement y nosotros hemos elegido la segunda manera ya que es más detallado y de manera más sencilla.

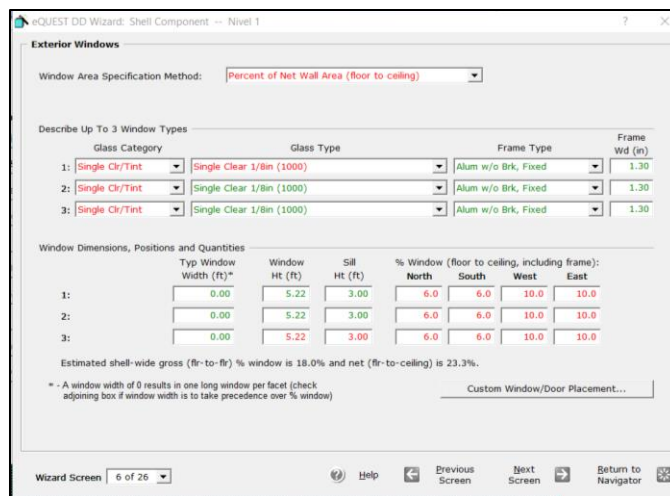


Figura 4.13 Selección del tamaño de las ventanas y su dirección del Edificio 1, Nivel 1

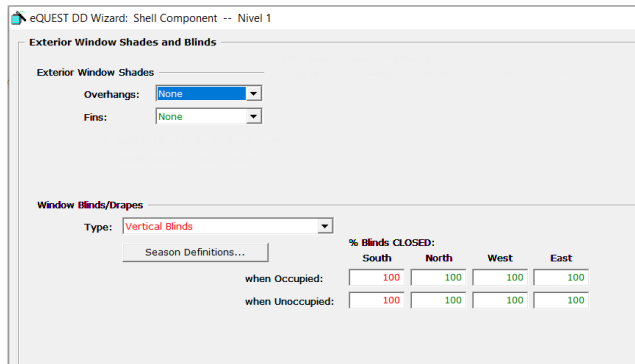


Figura 4.14 Selección de las cortinas y su tiempo que permanecen cerradas del Edificio 1.

#### 4.11 Definición de tragaluces (Roof Skylights)

La cantidad de tragaluces para este edificio solo es uno, el cual definimos como el siguiente:

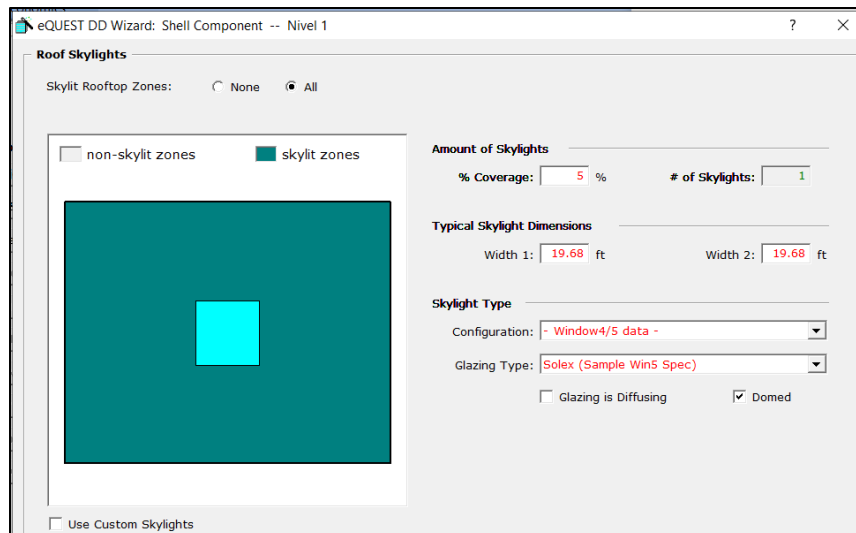


Figura 4.15 Selección si posee o no tragaluz y su tamaño que abarca del Edificio 1, Nivel 1.

#### 4.12 Definición de Horarios de Ocupación

En esta ventana del programa se pueden definir los horarios de ocupación de cada edificio, tomando en cuenta ambos ciclos y periodo de vacación

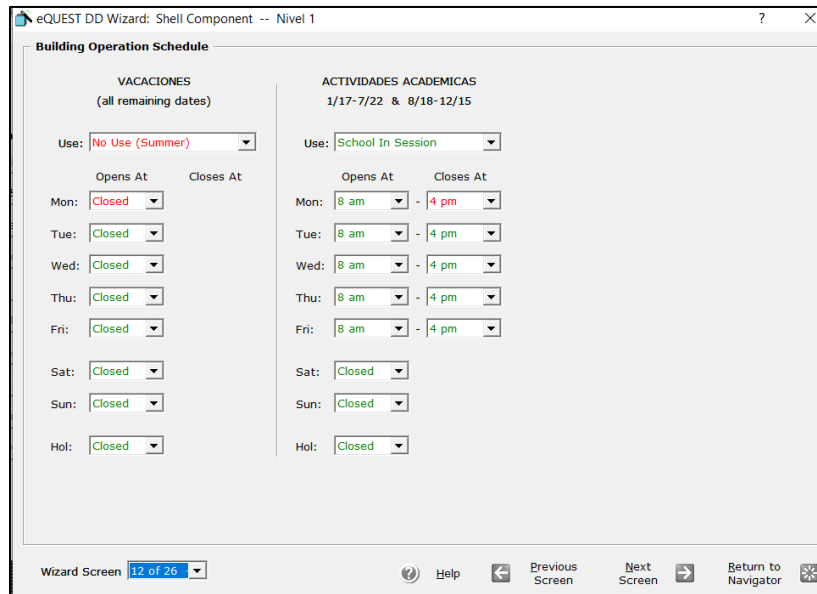


Figura 4.16 Selección de los horarios de las oficinas del Edificio 1, Nivel 1

#### 4.13 DEFINICIÓN DE ÁREAS DEL EDIFICIO.

El edificio posee zona acondicionadas solo en la segunda planta por ende el area total de cada lugar ocupa un espacio definido.

##### 4.13.1 Actividades por zonas

Esta pantalla se utiliza para indicar la asignación de áreas de actividad y sus densidades de ocupantes asociadas y diseñar tasas de ventilación del aire exterior. Se pueden ingresar hasta ocho áreas de actividad. Para cada Área de Actividad, hay entradas para Tipo, Porcentaje del Área Total de Piso, Densidad de Ocupantes, Tasa de Ventilación y casillas de verificación para indicar si el Área de Actividad debe asignarse al primer piso, zonas centrales, zonas perimetrales o cualquier combinación de ellas.

Los valores predeterminados para las Áreas de actividad variarán según el tipo de edificio, incluidas las asignaciones de las Áreas de actividad al primer piso, zonas centrales o zonas perimetrales. Los valores predeterminados para Densidad de ocupantes y Tasa de ventilación varían según el tipo de área de actividad. Los valores predeterminados para la densidad de ocupantes y la tasa de ventilación se basan principalmente en los valores contenidos en el Manual de aprobación de métodos de cálculo alternativos publicado por la Comisión de Energía de California cuando los Detalles de uso en la pantalla de información general están configurados en "Horarios simplificados". Cuando los Detalles de uso están configurados en "Perfiles de uso final por hora", los valores predeterminados de densidad de ocupantes y tasa de ventilación se basan principalmente en el Código Uniforme de Construcción, Estándar 62 de ASHRAE.



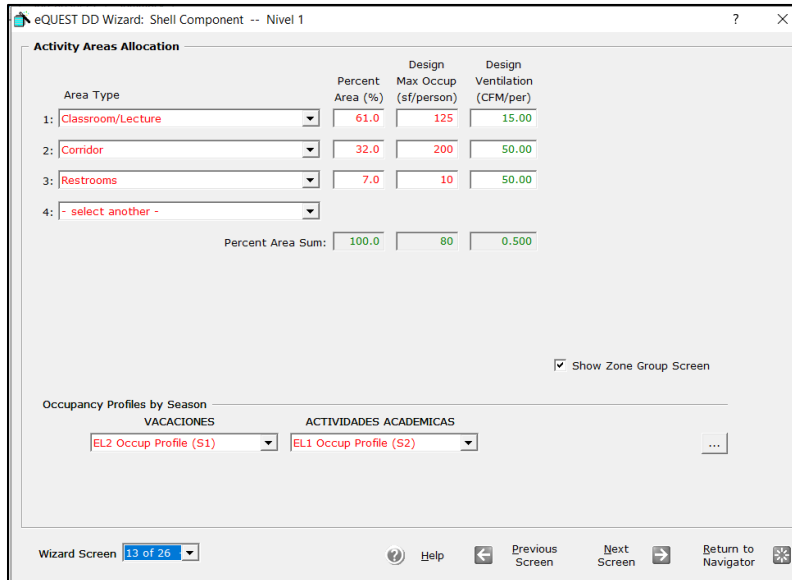


Figura 4.17 Asignación de áreas de actividades del Nivel 1

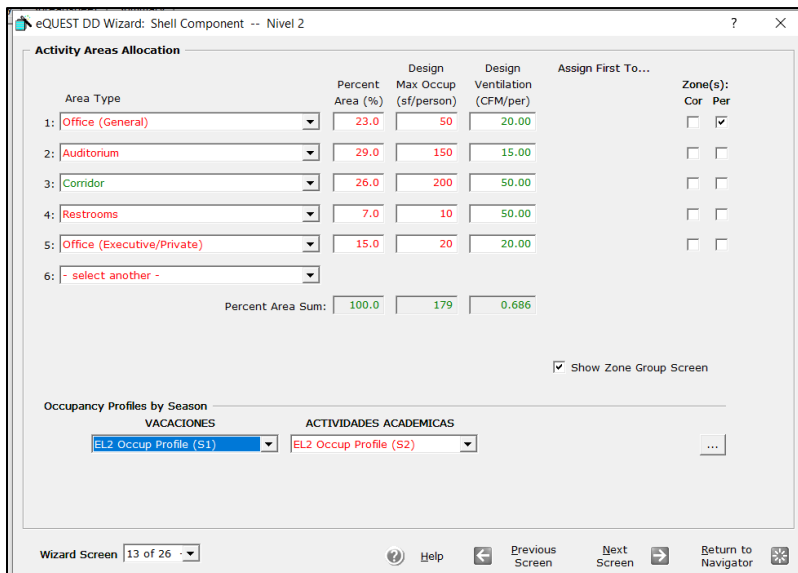


Figura 4.18 Asignación de áreas de actividades del Nivel 2

#### 4.14 Asignación de iluminación de zonas

Cada área de cada nivel del edificio posee una carga eléctrica de iluminación que son las luminarias descritas en el capítulo anterior, para introducir en el programa estas cargas se debe hacer watts entre pie cuadrado de esta manera.

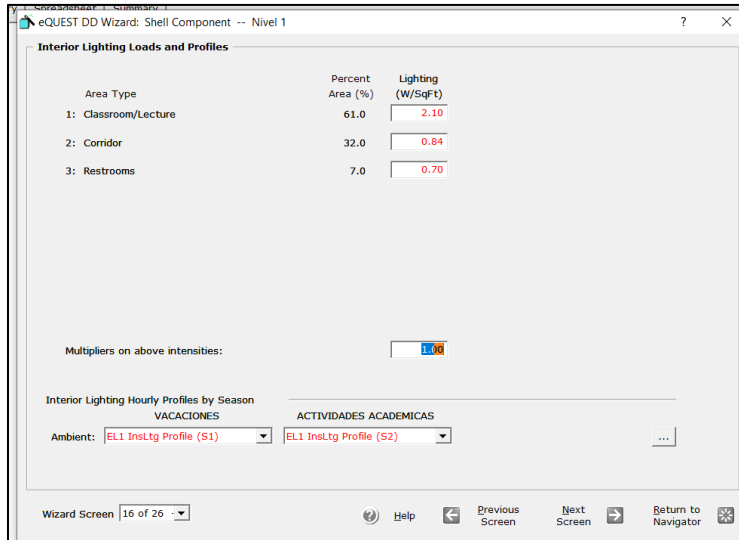


Figura 4.19 Carga de Iluminación interior del Nivel 1.

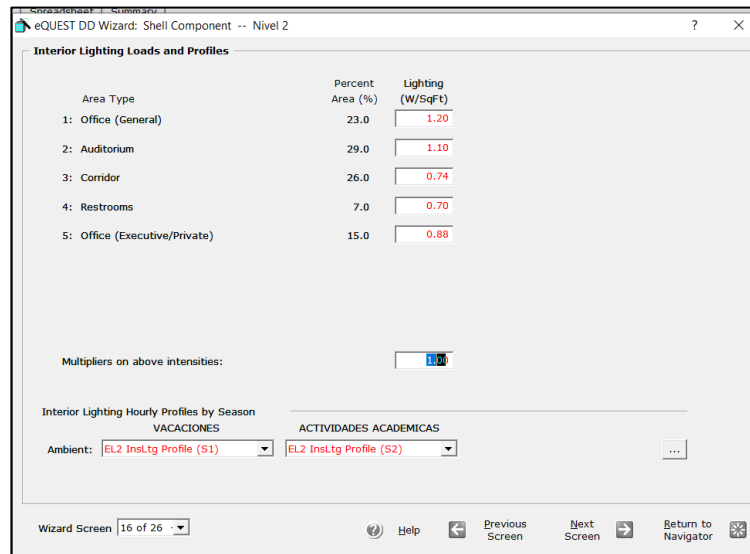


Figura 4.20 Carga de Iluminación interior del Nivel 2

## 4.15 DEFINICIÓN DE EQUIPOS MISCELÁNEOS.

### 4.15.1 Densidad de potencia de equipos varios (durante horas de ocupación).

Indique la densidad de potencia pico promedio conectada de las cargas eléctricas (vatios por pie cuadrado) y de gas natural (Btu/h por pie cuadrado) para todos los equipos diversos para todas las zonas a lo largo de este caparazón. Esto debería representar la carga

miscelánea instalada máxima, incluso si el uso programado nunca supone que el 100% del equipo esté "encendido" al mismo tiempo.

El valor predeterminado para la densidad de energía de equipos varios se basa en el tipo de área de actividad (especificado en la pantalla Asignación de áreas de actividades). Cambiar el tipo de área de actividad hará que las entradas para la densidad de energía de equipos varios se restablezcan a los valores predeterminados para el nuevo tipo de área de actividad.

La densidad de potencia real de los equipos por hora en cada espacio durante una hora determinada es el producto de la densidad de potencia de los equipos varios multiplicada por el área del espacio (pies cuadrados) y la fracción sensible y multiplicada por el valor fraccionario para esa hora según lo indicado por la densidad de potencia de los equipos varios por hora.

Area Type	Percent Area (%)	----- Electric -----		---- Natural Gas ----	
		Load (W/SqFt)	Sensible Ht (frac)	Load (Btuh/SF)	Sensible Ht (frac)
1: Classroom/Lecture	61.0	0.75	1.00	0.00	1.00
2: Corridor	32.0	0.10	1.00	0.00	1.00
3: Restrooms	7.0	0.00	1.00	0.00	1.00

Miscellaneous Equipment Hourly Profiles by Season

VACACIONES	CICLOS UNIVERSITARIOS
EL1 Misc Profile (S1)	EL1 Misc Profile (S2)

Wizard Screen 20 of 26

Help Previous Screen Next Screen Return to Navigator

Figura 4.21 Carga de equipos miscelaneos al interior del Nivel 1

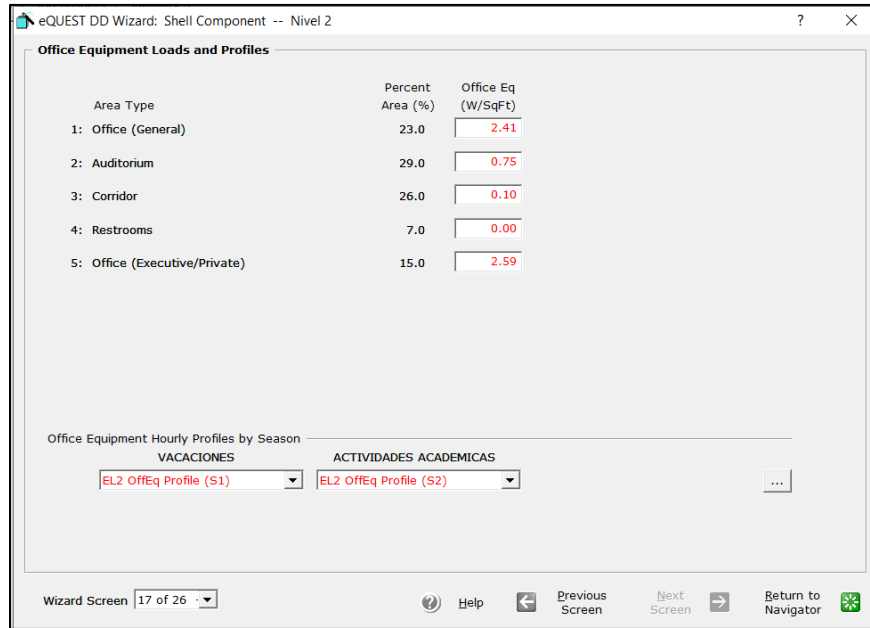


Figura 4.22 Carga de equipos miscelaneos al interior del Nivel 2.

#### 4.16 Definición de equipos de aire Acondicionado

En el navegador de proyectos el programa nos permite crear diferentes sistemas de HVAC para las diferentes zonas acondicionadas que tenemos dentro del edificio, en este caso crearemos dos sistemas. A continuación, se muestra la imagen de los dos creados

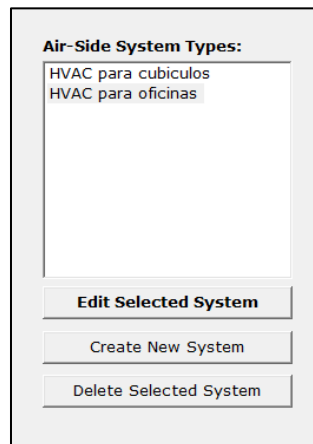


Figura 4.23 Sistemas de HVAC creados dentro del edificio.

Cuando los sistemas están creados el simulador nos pide más detalles, en este caso creamos uno para la zona de cubículos de los docentes que comparten el mismo tamaño de toneladas de refrigeración, y el segundo para la zona de secretaria y jefatura.

Figura 4.24 configuración para el sistema HVAC para la zona cubículos.

En la imagen se muestra la configuración del sistema HVAC, este solo sirve para enfriar la zona no posee calefacción debido por el clima tropical no es necesario.

Figura 4.25 Definición de tamaño y eficiencia del sistema HVAC para la zona cubículos.

Para zona de cada cubículo en la configuración tipo Split es necesario definir el tamaño en TON y definir la eficiencia energética SEER en el aire acondicionado.

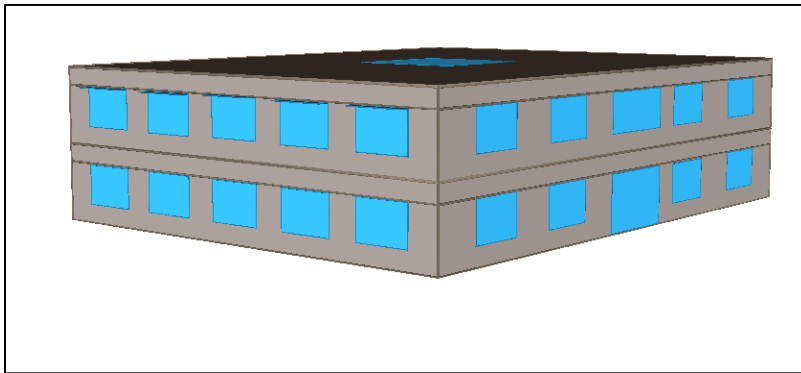
Thermostats	Occupied (°F)		Unoccupied (°F)	
	Cool	Heat	Cool	Heat
VACACIONES	68.0	70.0	82.0	64.0
CICLOS UNIVERSITARIOS	68.0	70.0	82.0	64.0

Figura 4.26 Configuración de los termostatos para los sistemas HVAC

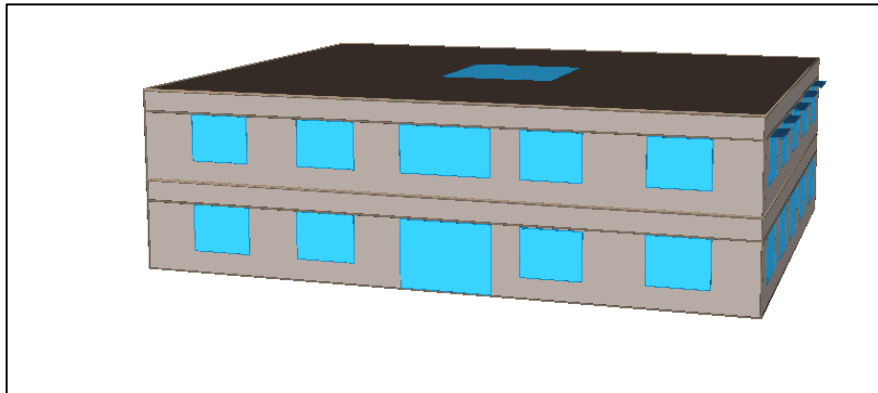
En la figura 4.26 se muestra la configuración de los termostatos que se utilizan generalmente a 20 °C, se hace la respectiva conversión a grado Fahrenheit debido a que el programa en esta escala de temperatura mide los sistemas HVAC.

#### 4.17 Diseño final de los Edificios en eQuest

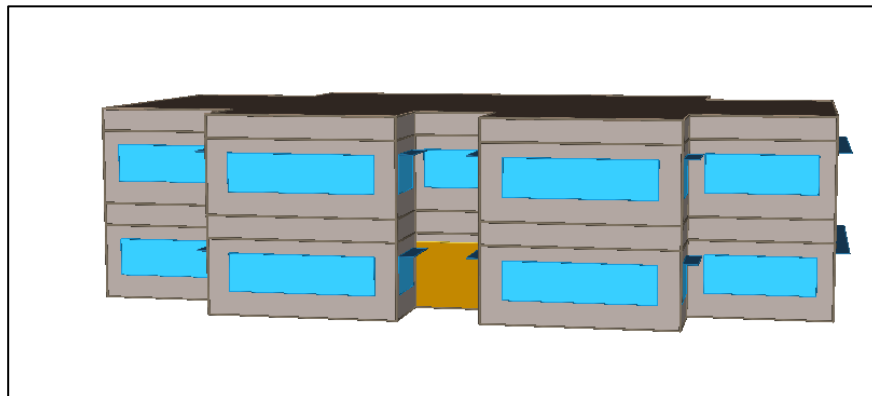
Ya realizado el procedimiento de introducir los datos que solicita el programa este realiza la simulación, se diseñaron 4 edificios, pero solo se explicó uno debido a la demasiada información y de manera que es un proceso repetitivo solo se mostrará como quedo el diseño del edificio final.



*Figura 4.27 Edificio 1 de medicina fachada lateral y fachada principal.*



*Figura 4.28 Edificio 2 de medicina fachada principal creada por eQuest*



*Figura 4.29 Fachada principal Edificio de Biblioteca simulada en eQuest*

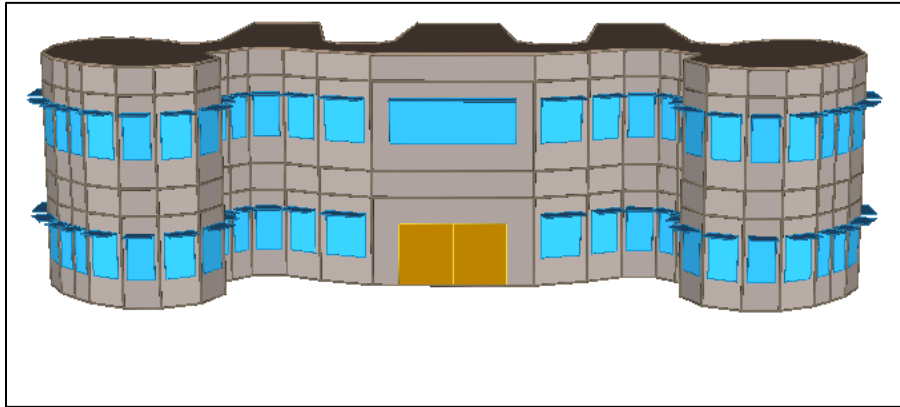


Figura 4.30 Fachada principal del Edificio “Riñon” creada por eQuest.

## 5. ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 5.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE MODELO LÍNEA BASE

Una vez la recolección de información de los edificios se ha completado y los datos son introducidos en el simulador de energía eQuest, se crea un modelo línea Base que nos permite visualizar cada uno de los factores que influyen en el consumo de electricidad de la edificación, este modelo no presenta ninguna medida implementada de eficiencia energética del consumo simulado.

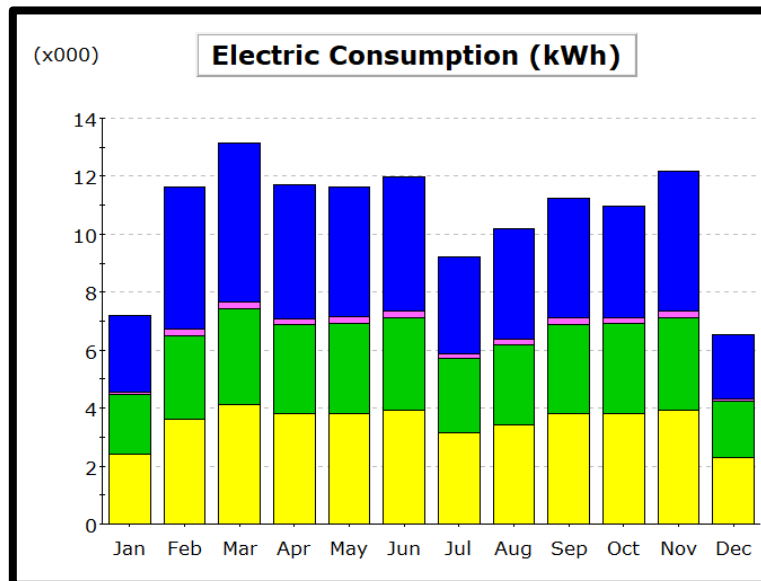


Gráfico 5.1 Consumo de energía en kWh generado por el simulador de energía eQuest.

Electric Consumption (kWh x000)													
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Total
Space Cool	2.61	4.90	5.48	4.61	4.50	4.64	3.33	3.84	4.13	3.85	4.82	2.20	48.91
Heat Reject.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Refrigeration	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Space Heat	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HP Supp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hot Water	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vent. Fans	0.11	0.21	0.24	0.22	0.22	0.23	0.17	0.19	0.22	0.22	0.23	0.10	2.34
Pumps & Aux.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ext. Usage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Misc. Equip.	2.00	2.89	3.29	3.05	3.07	3.15	2.54	2.75	3.05	3.07	3.15	1.90	33.91
Task Lights	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Area Lights	2.43	3.60	4.11	3.80	3.83	3.94	3.14	3.40	3.82	3.81	3.94	2.30	42.13
<b>Total</b>	<b>7.16</b>	<b>11.59</b>	<b>13.12</b>	<b>11.68</b>	<b>11.62</b>	<b>11.96</b>	<b>9.18</b>	<b>10.18</b>	<b>11.21</b>	<b>10.96</b>	<b>12.14</b>	<b>6.50</b>	<b>127.29</b>

Tabla 5.1 Consumo de energía en kWh generado por el simulador de energía eQuest.

En la tabla 5.1 se presenta la energía en kWh que ha consumido el edificio durante cada mes del año y en a imagen anterior están representados gráficamente, observamos que marzo es el mes que más se consume con 13 120 kWh esto se puede dar debido a que es el mes más completo del ciclo es decir, este no tiene días feriados programados y además donde se siente más fuerte el calor en San Miguel por ese motivo se trabaja casi todo el día con los equipos de acondicionamiento encendidos así como ventiladores, y diciembre se muestra como el mes de menos consumo debido a la terminación de ciclo II y cierre de actividades académicas dejando la mitad del mes como vacación de fin de año.

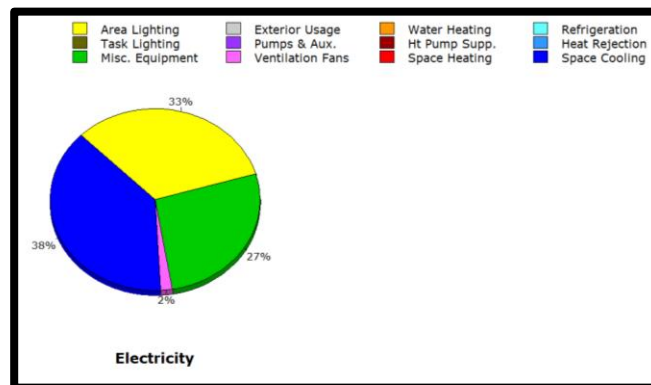


Gráfico 5.2 Distribución del consumo eléctrico del Edificio de Medicina 1.

En la gráfica anterior se presentan el consumo anual del edificio en porcentaje mostrando el 38% para aire acondicionado con un total de 48 920 kWh, para los ventiladores un 2% con 2 340 kWh, 27% para equipo misceláneo y de oficina un valor de 34 170 kWh, y para finalizar luminaria el 33% dando una calculo final de 127 570 kWh.



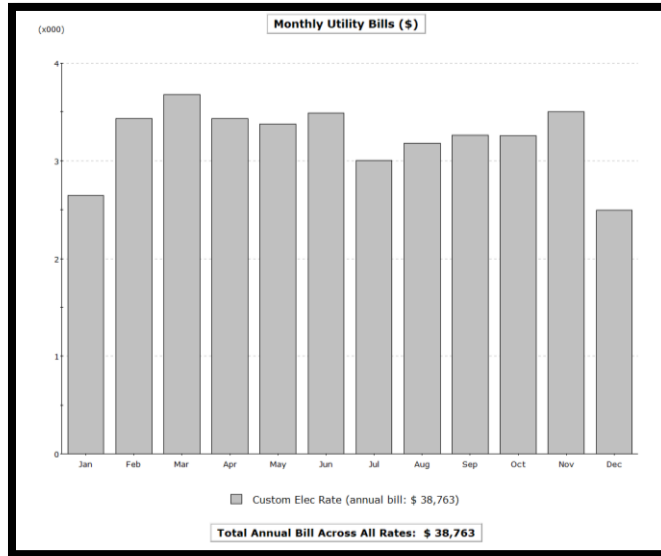


Gráfico 5.3 Costo monetario asociado al consumo anual del Edificio 1 de Medicina.

## 5.2 PROPUESTAS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Las medidas de la eficiencia energética se refieren a la creación de distintos escenarios del modelo base simulado (línea base), en el que se proponen diferentes cambios que pueden realizarse en el edificio, ya sea diferente uso de aparatos eléctricos, modificación de la envolvente del edificio, iluminación más eficiente en consumo y uso, renovación de equipos y todo lo relacionado con alguna medida que aporte un ahorro energético dentro de las instalaciones. Es por esta razón que la simulación de la línea base y el análisis de los resultados que proporciona el programa siempre debe ser en torno a procedimientos de mejoras o medidas de eficiencia energética. Este orden de proceso es fundamental para llevar a cabo cambios que se pueden implementar desde el punto de vista energético, con los debidos parámetros introducidos en el simulador de energía eQuest y las distintas posibilidades.

Este programa nos muestra el consumo energético en refrigeración, iluminación, equipos de oficinas, equipos misceláneos y otros dispositivos eléctricos con y sin la aplicación de las técnicas y se estima la conservación de energía correspondiente. Además del aspecto energético, se muestran resultados del impacto ambiental del edificio calculando la reducción de las emisiones de  $CO_2$  debido a las técnicas de conservación de energía aplicadas.

A continuación, se presentan una serie de propuestas que después de analizar los resultados de la simulación de nuestro proyecto surgieron, todo esto con el fin de mejorar el consumo de la energía eléctrica y los beneficios que esto representa.

### 5.2.1 PRIMERA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: ILUMINACIÓN LED

Anteriormente se presentó en la gráfica 4.2 como se divide el gasto total de energía, y se puede apreciar que el consumo de la iluminación de manera mensual y anual correspondiente al 33%. A pesar de no parecer tener un gran peso como lo es la refrigeración si es un consumo relativo en el edificio. Este es un componente siempre se tendrá en cuenta para mejoras de eficiencia energética, reducir el consumo de la iluminación no significa disminuir la cantidad de luminarias ni la medida de la potencia luminosa de la fuente.

Los edificios poseen lámparas fluorescentes y con el avance del tiempo, la tecnología ha encontrado la manera de superarse en ahorro energético y se ha creado la tecnología LED que son de mucho menos consumo de manera que son más eficientes porque generan muy poco calor lo que significa que necesitan mucha menos energía para emitir una misma cantidad de luz que una fluorescente. Como primera medida se optó por reemplazar las luminarias ya existentes por esta nueva tecnología.

Lighting Power Density EEM Details			
Activity Areas	Area (%)	Baseline Design	Daylighting EEM
		Lighting (W/SqFt)	Lighting (W/SqFt)
1: Classroom/Lecture	61.0	2.10	1.26
2: Corridor	32.0	0.84	0.52
3: Restrooms	7.0	0.70	0.43

Figura 5.1 Modificaciones hechas en las luminarias del primer piso.

Lighting Power Density EEM Details			
Activity Areas	Area (%)	Baseline Design	Lighting Power EEM
		Lighting (W/SqFt)	Lighting (W/SqFt)
1: Office (General)	23.0	1.20	0.75
2: Auditorium	29.0	1.10	0.67
3: Corridor	26.0	0.74	0.45
4: Restrooms	7.0	0.70	0.42
5: Office (Executive/Private)	15.0	0.88	0.53

Figura 5.2 Modificaciones hechas en las luminarias del segundo piso.

Los resultados que genera el simulador eQuest se pueden ver en la siguiente gráfica:

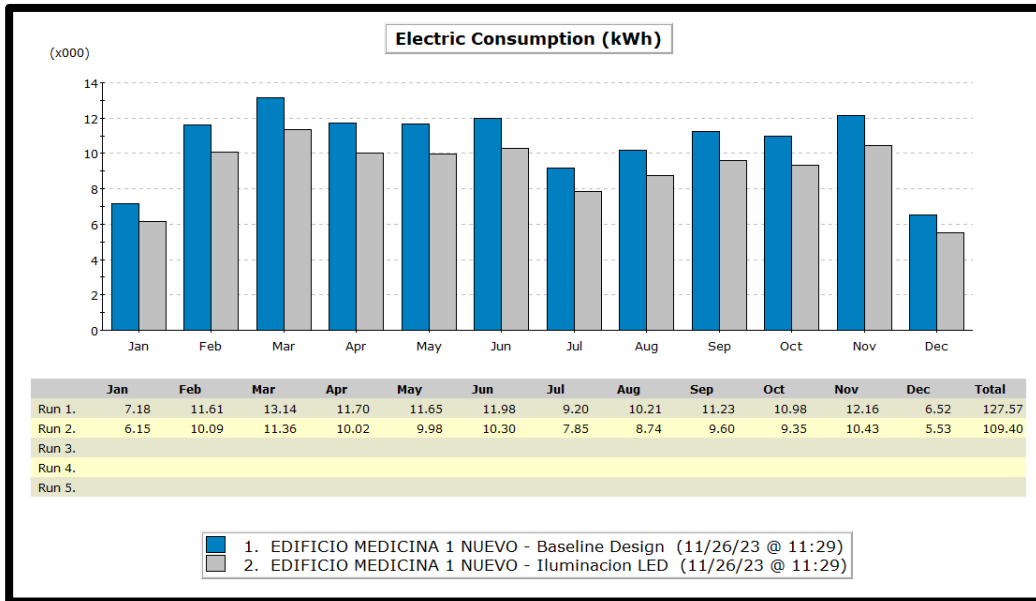


Gráfico 5.4 Comparación mensual entre el consumo con lámparas fluorescentes y luminarias LED.

En la gráfica 5.3 se muestra el consumo mes a mes que se obtiene en las simulaciones correspondientes a los dos tipos de luminarias, lo cual refleja las diferencias del consumo energético por el edificio. Los resultados muestran que las luminarias tipo LED son los que más favorecen el desempeño energético de la edificación.

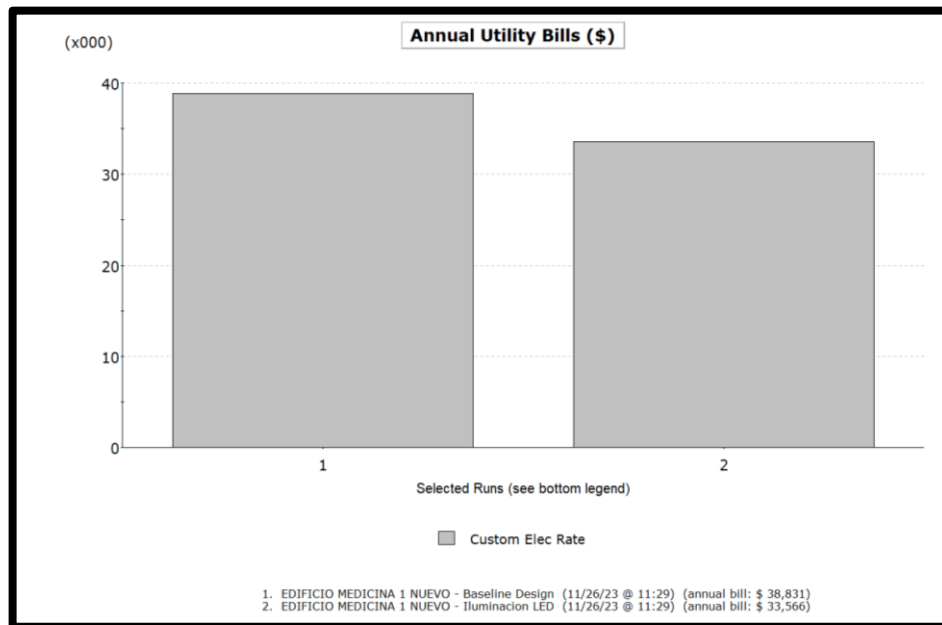


Gráfico 5.5 Comparación del costo anual en energía para los distintos tipos de luminarias.

En la gráfica 5.4 se observa que al aplicar esta medida más eficiente (Uso de luminarias LED) proporciona un ahorro económico de aproximadamente 5 265\$ anuales con respecto al modelo de línea base. Se asumió que todas las lámparas son fluorescentes de todo el

edificio y serán reemplazadas por LED por un valor total 3 510\$, y con un retorno de inversión de 1.5 años.

Existen algunas características que describen el funcionamiento de las luminarias, a continuación, se presenta una tabla que hace una comparación resumida entre las lámparas fluorescentes y luminarias LED.

	Fluorescente	LED
Duración media (horas)	8000	50000
Eficiencia de generación de luz. (lumen/W)	80-90	100-1200
Sensibilidad a baja temperatura	Muy sensibles	No son sensibles
Porcentaje de eficiencia	20-23%	25-30.5%
Rapidez de encendido	NO	SI
Calor emitido (BTU/h)	30	3.4

Tabla 5.2 Comparación de las características de luminarias fluorescentes vs LED

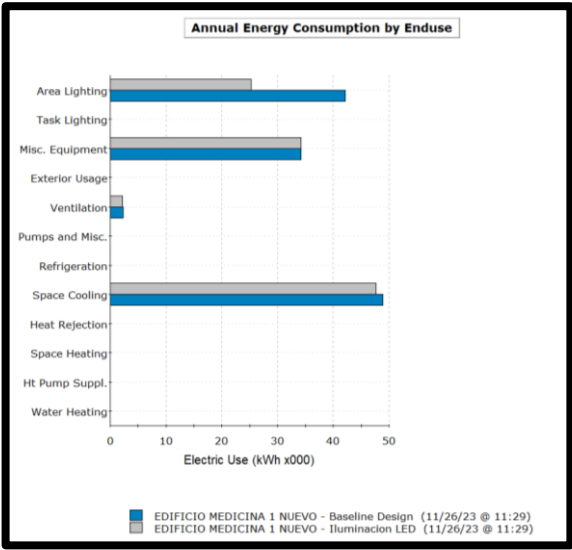


Gráfico 5.6 Consumo Anual de Energía por uso final Línea Base vs Iluminación LED.

La Grafica nos permite identificar cada uno de los componentes que están generando un consumo de energía de iluminación un valor de 42 130.00 para unos 25 290 kWh consumidos. Podemos observar que disminuyen en gran proporción (Área Lighting) a raíz

del reemplazo de las luminarias fluorescentes por luminarias LED. También se puede observar una disminución en el HVAC (space cooling) esto se debe a que las luminarias fluorescentes generan más calor en la zona acondicionada por lo tanto se ve el ahorro energético de esta medida.

### 5.2.1 SEGUNDA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: RENOVACIÓN DE EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO POR MODELOS MAS EFICIENTES

En el edificio de medicina 1 poseen 12 unidades de aire acondicionado, las cuales tiene capacidades de 2 TON a 4 TON para cubrir espacios de uso diario ya sea de uso de estudiantes, docentes o administrativo, al mantener un uso prolongado de 9 horas diarias que representan un 50% de consumo del edificio se ha propuesto el cambiar equipos de aire acondicionados a unos más eficientes debido a que estos son muy antiguos y por lo tanto consumen más energía. La calificación SEER en estos equipos es muy baja, el cambio a una mejor calificación sería 18 que se denomina un equipo HVAC de alta eficiencia y marca DAIKIN. En las siguientes figuras se presenta la simulación hecha aplicando equipos más eficientes.

Package HVAC Efficiency EEM Details	
<b>Baseline Design</b>	
System(s):	1: Split System Sgl Zone DX (no heating)
Cooling Efficiency:	SEER 10.00
<b>Pkg HVAC Eff EEM</b>	
System(s):	1: Split System Sgl Zone DX (no heating)
Cooling Efficiency:	SEER 18

Figura 5.3. Simulación en eQuest de cambio SEER 10 a SEER 18

Los resultados que genera el simulador eQuest se pueden ver en la siguiente gráfica:

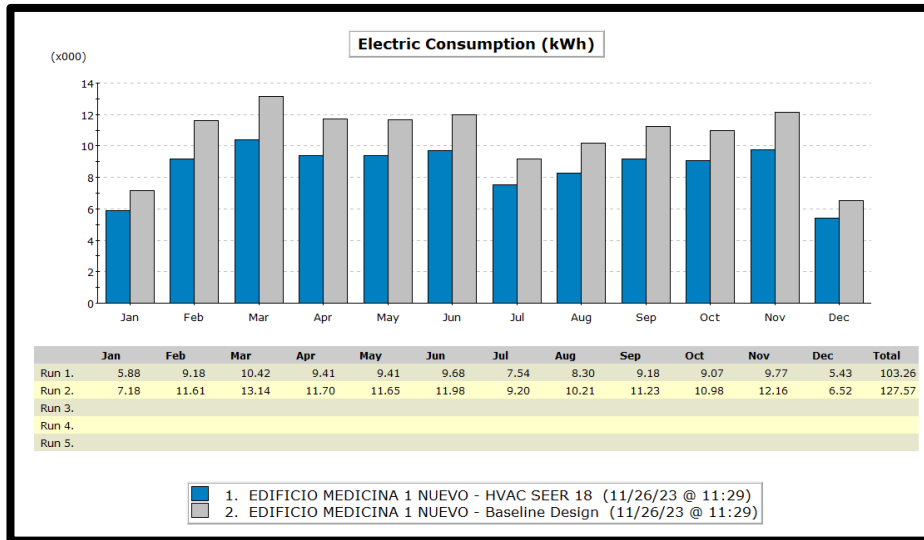


Gráfico 5.7 Comparación del consumo eléctrico en el modelo línea base vs uso de SEER 18.

En la gráfica 5.7 se muestra el consumo mes a mes que se obtiene de las simulaciones del modelo línea base comparado con el uso de un equipo más eficiente como lo es el HVAC (SEER 18) se puede notar la diferencia en el consumo energético del edificio. En conclusión, al realizar esta modificación se obtiene una reducción considerable en el consumo energético del edificio.

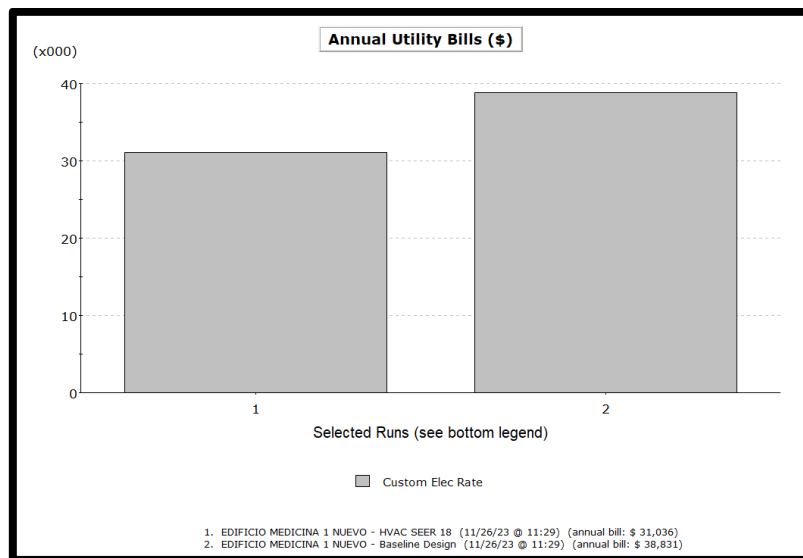


Gráfico 5.8. Resultados anuales de consumo en eQuest aplicando un equipo HVAC más eficiente.

En la gráfica 5.6 se observa que al aplicar esta medida más eficiente (Uso de equipo SEER 18) proporciona un ahorro económico de aproximadamente 7 795 \$ anuales con respecto al modelo de línea base.

Para realizar este cambio se debe tomar en cuenta la escala de SEER que es un coeficiente que en una escala mide la eficiencia energética, SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) significa los kW generados por cada kW consumido en refrigeración, y de acuerdo a la siguiente tabla que nos muestra la escala SEER.

Escala SEER	
Calificación	SEER
A+++	>22
A++	20-21
A+	18-19
A	15-17
B	<11.5 (equipos que no son inverter)
C	>11.5 (equipos que no son inverter)

Tabla 5.3 Escala SEER en eficiencia energética de equipos HVAC.

El modelo DAIKIN tiene disponibles aires acondicionados SEER 18 de 2 TON, 3 TON y 4 TON. Los cuáles será reemplazados o renovado. El programa de simulación nos muestra un gasto de 38 889\$ con respecto al cambio de equipos de 30 497\$ y nos da un ahorro anual de 7 950.00\$. La instalación de los equipos cuesta un total de 14 500\$ y con un retorno de inversión en 1.86 años.

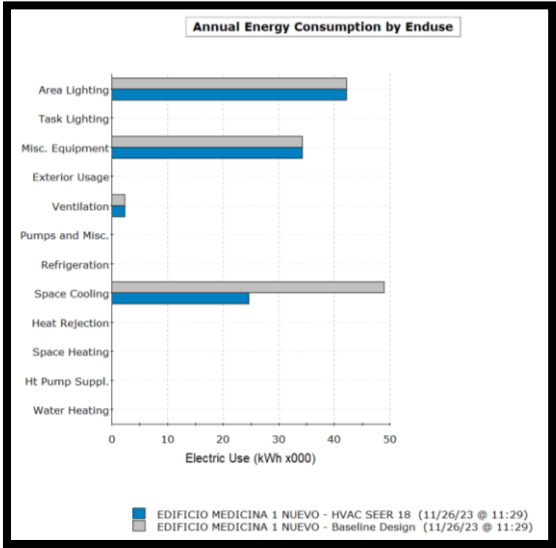


Figura 5.6 Consumo Anual de Energía por uso final Línea Base vs HVAC SEER 18.

### 5.2.2 TERCERA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: VENTANAS DOBLES REFLECTIVAS

La calidad de una ventana es medida por su aislamiento, el valor y su transparencia al sol visible y reconocimiento de luz infrarroja que un sistema ideal sería controlar estos parámetros de una forma controlada pero ya que no puede ser así, en el edificio A que posee áreas independientes climatizadas, se optara por cambiar las ventanas a vidrios doble reflectivo y así reducir el rendimiento de los aires acondicionados de forma que el menor consumo de energía posible. Puede ser cambiados cada ventana, pero en este caso solo se hará el cambio en las áreas climatizadas.

El modelo de vidrio DVH de una cámara y doble acristalamiento son formadas por dos hojas separadas por una cámara de aire deshidratado, así se constituye de un buen aislante térmico y acústico reduciendo las condensaciones sobre el vidrio interior, y la cámara de aire reduce la transferencia de calor entre el interior y el exterior. Algunas de las características de este vidrio son aumenta en más del 100% el aislante térmico del vidriado, disminuye hasta un 70% las pérdidas de calor a través del vidrio, reduce la condensación de humedad sobre el vidrio evitando que se empañe y anual el efecto de frío aumentando el confort junto a la ventana, esta posee un espesor de 21mm contando la cámara de aire.

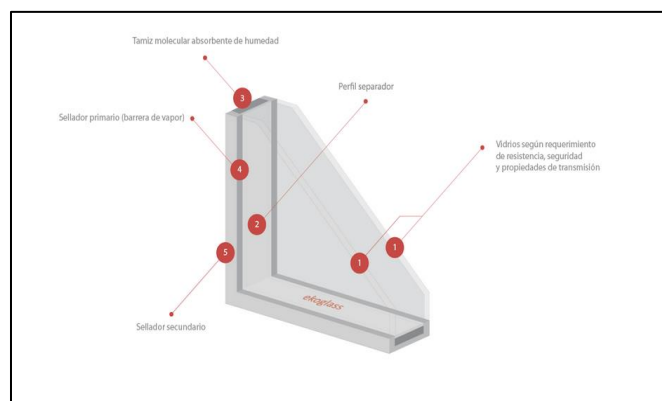


Figura 5.4 Ventana doble de vidrio DHV. Fuente DVH

Los resultados que genera el simulador eQuest se pueden ver en la siguiente gráfica:



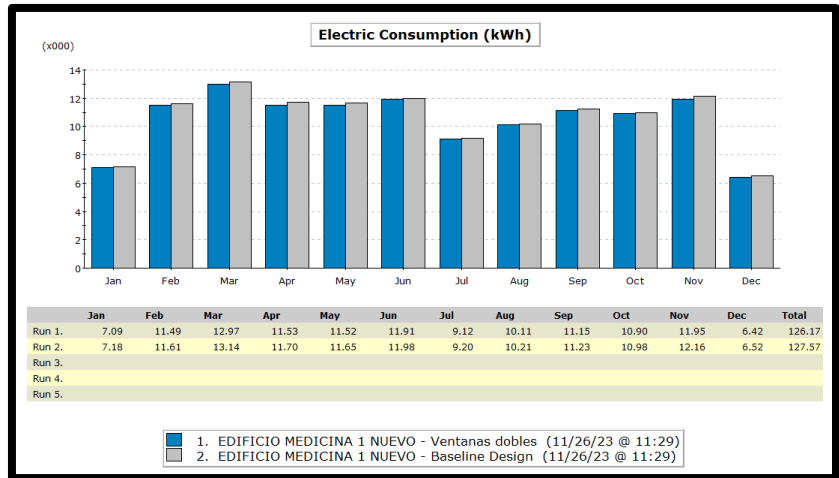


Gráfico 5.9 Consumo mensual del modelo línea base comparado con el uso de ventanas dobles.

En la gráfica 5.9 se muestra el consumo mes a mes que se obtiene de las simulaciones del modelo línea base comparado con el modelo usando ventanas dobles, se puede notar la diferencia en el consumo energético del edificio. Al llevar a cabo esta modificación en las ventanas se reduce el consumo.

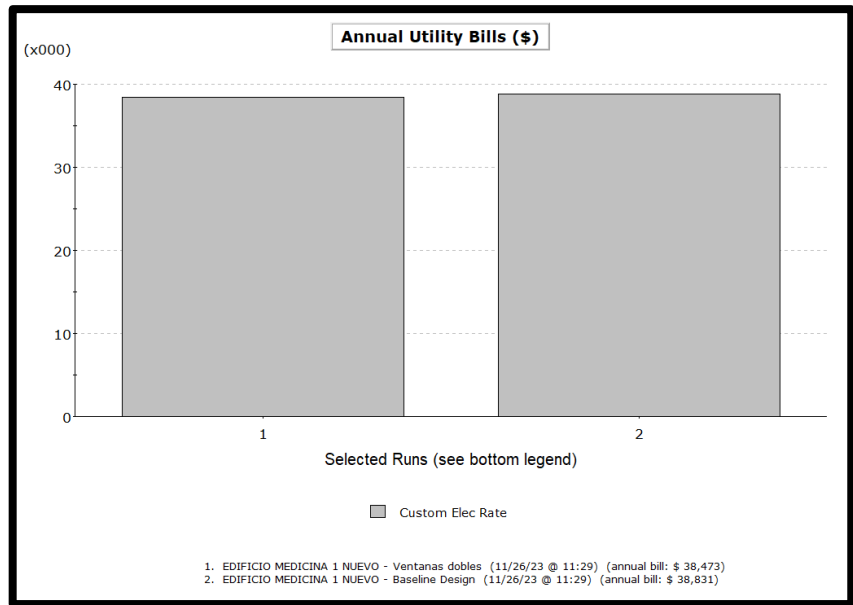


Gráfico 5.10 Comparación del consumo anual entre el modelo base vs usando ventanas dobles.

En la gráfica 5.10 se observa que al aplicar esta medida más eficiente (Uso de ventanas dobles) proporciona un ahorro económico de aproximadamente 358\$ anuales con respecto al modelo de línea base, cada metro cuadrado de ventana cuesta una instalación de 120\$, y es necesario reemplazar solo las zonas acondicionadas con un total de 20 m<sup>2</sup>, por lo tanto, el total es de 2 400\$ y con un retorno de inversión de en 6.70 años.

Esta medida de eficiencia energética es la que obtiene el menor beneficio económico, pero al utilizar ventanas dobles se obtiene un mejor ambiente térmico que mejora el confort y la calidez en el edificio.

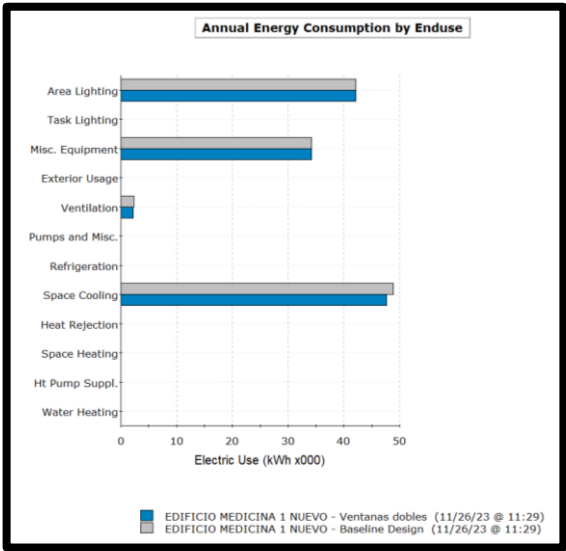


Figura 5.5 Consumo Anual de Energía por uso final Línea Base vs Ventanas Dobles Reflectivas.

**5.2.3 CUARTA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: VENTILADORES EFICIENTES**

El uso de los ventiladores no de techo es indispensable debido a la demanda de estudiantes que confinan un aula y debido a eso se utilizan ventiladores de techo y ventiladores de pie, con esto podemos hacer un reemplazo por ventiladores más eficientes, pasar de 75 watts a uno de 60 watts y en el caso de ventiladores de pie, el uso de equipos misceláneos influye en el consumo de energía de un edificio.

Reemplazar los viejos ya involucraría un ahorro.

Aparato eléctrico	Modelo nuevo	consumo	Nuevo consumo (W)	ahorro	Precio (\$)
Ventilador 3 aspas	<b>MODELO 72920</b>	75	60	20%	70
Ventilador de pedestal	<b>MODELO KUF007B</b>	60	45	25%	20

Tabla 5.4 Comparación entre ventilador de 3 aspas y de pedestal.

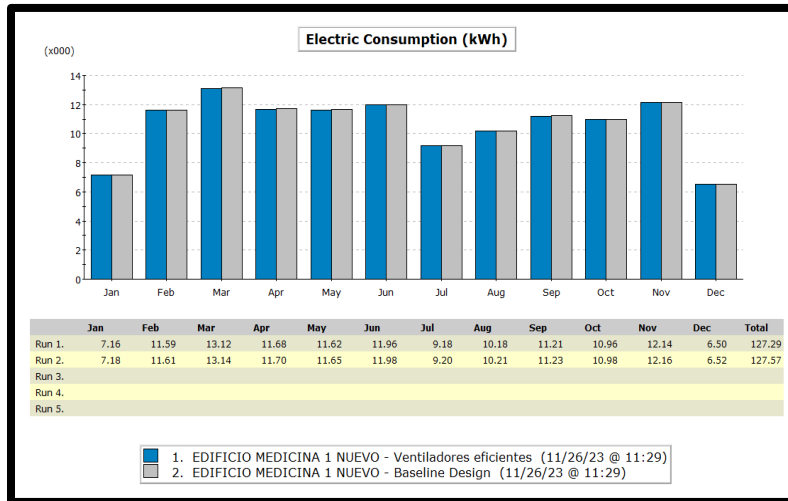


Gráfico 5.11 Consumo mensual modelo línea base vs ventiladores eficientes.

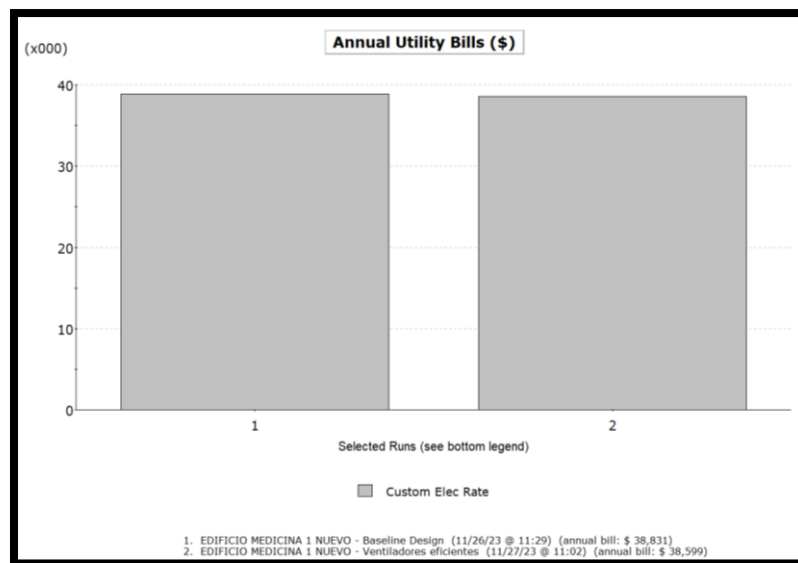


Gráfico 5.12 Comparación del consumo anual entre el modelo base vs ventiladores eficientes.

En la gráfica 5.10 se observa que al aplicar esta medida de eficiencia energética (reemplazo de ventiladores de menor consumo) proporciona un ahorro económico de aproximadamente 232\$ anuales con respecto al modelo de línea base, el cambio de cada ventilador esta descrito en la tabla 4.3 y de esta manera reemplazar los equipos costaría un total de 1 600\$, y con un retorno de inversión de en 6.89 años.

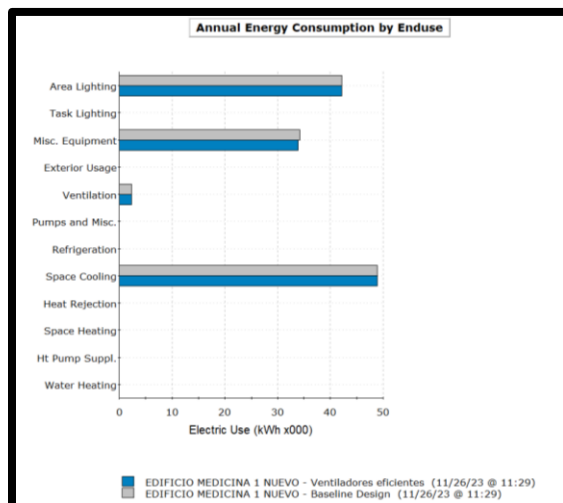


Figura 5.6 Consumo Anual de Energía por uso final Línea Base vs Ventiladores Eficientes.

### 5.2.4 Emisiones de $CO_2$ del Edificio 1 de Medicina

Cada Edificio consume energía eléctrica y esto genera un impacto ambiental que llamamos huella de carbono que la definimos como la medición de los gases invernadero (GEI) expresadas en libras o kilogramos de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) que son liberadas a la atmosfera como resultado de las actividades que desarrollan los estudiantes, catedráticos y personas que realizan sus actividades dentro del edificio.

Para realizar el cálculo de emisiones de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) se utiliza la siguiente formula

$$\text{Emisiones (kg } CO_2) = \text{consumo de energía (kWh)} \times \text{un factor de emisión (kg } CO_2/\text{kWh)}$$

	Factor	Unidades
Energía Eléctrica	0.615	kg $CO_2$ /kWh
GLP	2.75	kg $CO_2$ /kilogramo
Diésel	9.70	kg $CO_2$ /galón
Gasolina	7.90	kg $CO_2$ /galón
Leña	1.70	kg $CO_2$ /kilogramo

Tabla 5.5 Factores de emisión de kg de  $CO_2$

Medición	Consumo Electricidad Anual (kWh/Edif-año)	Consumo de $CO_2$ (kg/Edif-año)	Reducción consumo & Emisiones $CO_2$ (%)
Modelo Línea Base	127 570	78 455.55	-
Iluminación LED	109 400	67 281.00	14.24 %
HVAC (SEER 18)	103 260	63 504.90	19.06 %
Ventanas dobles	126 170	77 594.55	1.10 %
Ventiladores eficientes	127 290	78 283.35	0.22%

Tabla 5.6 Emisión de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) del Edificio de Medicina 1

### 5.2.5 Resumen de Medidas de Eficiencia Energética

En la siguiente tabla se muestra las medidas de eficiencia energética aplicada en el Edificio de Medicina 1, siendo el total de inversión 21410\$

Medida	Inversión (\$)	Ahorro (\$)	Retorno	Disminución CO <sub>2</sub>
Iluminación LED	3510	5520	1.50	18.66%
HVAC SEER 18	14500	7795	1.86	22.83%
V. Dobles Reflectivas	2400	358	6.70	0.46%
Ventiladores Eficientes	1600	232	6.89	0.68%

*Tabla 5.7 Resumen de Medidas de Eficiencia Energética aplicada al Edificio de Medicina 1.*

En la siguiente gráfica se muestra la línea base con todas las medidas energéticas que se han implementadas en la edificación donde la segunda propuesta de renovación de equipos de Aire Acondicionado es la que genera más ahorro, pero es más cara de implementar, y cuarta propuesta es la más barata pero su retorno de inversión es más largo.

### 5.3 INDICADORES DE RENDIMIENTO ENERGÉTICO

Los EnPIs nos permiten cuantificar los procesos en un edificio en los que se puede ahorrar energía consumida y de esta manera reducir las emisiones de CO<sup>2</sup> que se genera al medio ambiente, todo esto sin reducir el confort ni la calidad de los ocupantes.

En conclusión, las características de los indicadores de desempeño energético son las que mencionamos a continuación.

- Son valores cuantitativos.
- Se identifican y se escogen en función de las necesidades particulares de la empresa/institución.
- Permiten obtener información desglosada sobre la optimización de la eficiencia.
- Deben relacionarse con una línea base, con la que deben contrastarse.
- Se complementan con un informe en el que se explican los métodos y los procesos a los que se ha recurrido para la identificación, obtención y monitorización de la información pertinente.
- Son multidisciplinarios, puesto que implican la colaboración de representantes de varias áreas

Son edificios públicos de una universidad donde personal administrativo, personal de mantenimiento, docentes y estudiantes desempeñan sus labores en el mismo, por lo tanto, los EnPIs más representativos son los que se describen a continuación:

EnPIs	Unidad	Expresión
Intensidad del uso de la Energía	kWh/ anual-pies <sup>2</sup>	$\frac{\text{Uso de la energía anual del Edificio}}{\text{Area total}}$
Índice de consumo de iluminación	kWh/ anual-pies <sup>2</sup>	$\frac{\text{Consumo eléctrico de iluminación anual}}{\text{Area total del Edificio}}$
Índice de consumo de equipos eléctricos	kWh/ anual-pies <sup>2</sup>	$\frac{\text{Consumo de equipo miscelaneo anual}}{\text{Area total del Edificio}}$
Índice de consumo de HVAC	kWh/ anual-pies <sup>2</sup>	$\frac{\text{Consumo de refrigeración anual}}{\text{Area total del Edificio}}$

Tabla 5.8 Indicadores de rendimiento energético aplicados a los edificios de la FMO.

EnPIs	Modelo Base kWh/Anual- pies <sup>2</sup>	Medidas de Eficiencia Energética kWh/Anual- pies <sup>2</sup>	Reducción
Intensidad del uso de la Energía	15.92	15.74	1.10 %
Índice de consumo de iluminación	5.26	3.16	39.97 %
Índice de consumo de HVAC	6.10	3.07	46.69 %
Índice de consumo de equipos eléctricos	4.26	4.17	2.25 %

Tabla 5.9 Indicadores de rendimiento energéticos en el Edificio 1 de Medicina.

#### 5.4 PLAN DE GESTIÓN ENERGÉTICO EN BASE A LA NORMA ISO 50001.

Luego de llevar a cabo la recolección de datos, el modelado en eQuest y el análisis de los resultados es importante proponer una serie de recomendaciones para poder implementar un plan de gestión energético, en este caso nos basaremos en el cumplimiento de la norma ISO 50001, en donde debe mantener el rendimiento energético, incluyendo eficiencia energética, seguridad energética, utilización de energía y consumo.

Un plan de gestión energético es importante porque el ahorro de energía se ve reflejado en la disminución de la factura eléctrica, también mejora el rendimiento de los equipos debido al incremento en el mantenimiento, lo que aumenta la eficiencia energética de estos. Fomentar la responsabilidad e inculcar nuevos hábitos de consumo en las personas es otro de los objetivos que se pretende alcanzar cuando se implementa un plan de gestión energético en las empresas.

##### 5.4.1 ILUMINACIÓN

Para llevar a cabo un plan de ahorro y eficiencia energética de la iluminación es necesario tomar en cuenta una serie de parámetros:

- Aprovechar la luz natural ya que esta produce mejor los colores, evita la fatiga visual y contribuye al ahorro de energía en horas innecesarias.

- Instalación de equipos. Es necesario instalar reguladores de intensidad luminosa y sensores de presencia para evitar que las luces queden encendidas sin necesidad.
- Cambio de tecnología. Se debe implementar bombillas eficientes, esto con el fin de obtener un mayor flujo luminoso a un menor costo.
- Apagar las luces. Es importante incentivar a las personas que adopten el hábito de apagar siempre las luces cuando se tenga la suficiente luz natural y cuando se salga de las habitaciones.
- Mantenimiento. Realizar mantenimientos programados para que las lámparas no disminuyan su eficiencia con el uso, asegurando su duración antes que se produzca una avería por deterioro.

### **Iluminación en la Facultad**

La iluminación representa el 20% del consumo total de energía en la Facultad Multidisciplinaria de Oriente de la Universidad de El Salvador, su utilización es en todas las áreas del campus universitario por lo tanto es necesario un plan de gestión de energía para optimizar su consumo.

### **Plan de Mantenimiento**

Toda la población estudiantil, docentes y personal administrativo llevan a cabo sus actividades diarias haciendo uso de la iluminación, es necesario programar mantenimientos en las luminarias. El mantenimiento puede ser de tres tipos: predictivo, preventivo y correctivo, ya que esta es una de las áreas que mayor consumo representa para la Facultad es casi una obligación llevar a cabo estos mantenimientos.

Cabe mencionar que en la Facultad se cuenta con personal encargado del mantenimiento, por lo cual esto no sería un inconveniente y sería viable aplicarlo. A continuación, se mencionan algunas recomendaciones para el plan de mantenimiento en la Facultad de Oriente:

#### **CORRECTIVO:**

- Se debe reemplazar las luminarias fluorescentes que se vayan dañando por las de tecnología LED
- A la hora de reparar una luminaria se debe siempre considerar llevar a cabo una limpieza, ya que una luminaria sucia no refleja la luz de manera uniforme y además que mejora la presencia estética en los edificios de la Facultad.

#### **PREVENTIVO:**

- Realizar revisiones frecuentes en todos los edificios de la Facultad, esto con el fin de detectar las posibles luminarias que estén presentando o que vayan a presentar alguna falla, pueden ser tubos fluorescentes dañados o sockets dañados, así como también lámparas sucias, pero en buen estado.

- Recomendamos llevar a cabo un mantenimiento una limpieza de luminarias en la Facultad cada 2 años.

**PREDICTIVO:**

- Es muy importante que los encargados de llevar a cabo el mantenimiento en el campus universitario registren de manera clara los diferentes mantenimientos de las luminarias que llevan a cabo, esto facilita poder observar, con la ayuda de métodos estadísticos, la duración y la eficiencia de las luminarias.

**Concientización al personal y la comunidad académica.**

- Charlas formativas a la comunidad académica sobre la importancia del ahorro energético. Se debe crear una política de concientización sobre el uso de recursos en la Facultad Multidisciplinaria de Oriente. Se debe asumir el compromiso de que la Facultad es de todos y que debemos hacer lo necesario por mantenerlo.
- Generar espacios de participación al personal de la universidad enfocados al uso eficiente de la energía. Las personas encargadas de la Facultad deben tomar un serio compromiso para incluir dentro de sus políticas y estatutos administrativos algunas medidas de ahorro energético, y fortalecerlas a través de incentivar a los jóvenes por medio de ferias, días en que el tema principal sea el ahorro masivo de energía. Al final el objetivo es integrar a toda la comunidad educativa y que asuman que el ahorro es de todos.
- Se puede implementar el cierre de las aulas cuando una clase finaliza y el docente se retira, de esta manera se evita que los alumnos ingresen a cualquier hora y dejen las luces encendidas, solo se permitiría el uso para parciales y actividades académicas.

**Uso de Sistemas de Iluminación más eficientes:**

Cada vez es más importante el uso de tecnologías eficientes en materia de iluminación, la innovación y el uso nos permiten tener un mayor ahorro de energía. La luz artificial es la solución para las diferentes necesidades de iluminación, ya que se utiliza a nivel residencial, industrial y comercial.

Hace algunos años se llevó a cabo la implementación de luminarias fluorescentes en la Facultad Multidisciplinaria de Oriente, ya que en ese momento era la mejor opción que existía. Con la invención de nuevas tecnologías en materia de iluminación han quedado bastante rezagadas en tema de ahorro energético. La tecnología LED ha estado tomando bastante importancia en los últimos años en El Salvador, se entiende que su precio más elevado en comparación con las fluorescentes detiene a las empresas, pero al final el beneficio que aportan es mayor en cuanto al tema económico se refiere.



En cuanto a las políticas de ahorro energético que puede implementar la Facultad se mencionan las siguientes:

- Implementar Sistemas de iluminación LED en áreas donde se tiene mayor cantidad de luminarias por área, en estas zonas las luminarias permanecen encendidas la mayor parte del día, podemos mencionar la biblioteca, los centros de cómputo y el área de cubículos de docentes, entre otros.
- Si se desean realizar futuras modificaciones a la infraestructura, se deben hacer estudios previos de iluminación mediante software especializados, donde se deben tomar en cuenta parámetros como: Luminancia, VEEI (Valor de Eficiencia Energética de la Instalación) y el Índice de Deslumbramiento Unificado (UGR), para así obtener un diseño eficiente donde se aproveche al máximo la iluminación.

#### **Sistemas de control de iluminación adecuados.**

Se debe tener en cuenta para futuras modificaciones en la Facultad, esto incluye salones, oficinas, baños, etc., adecuar todos los espacios de manera que exista un mayor aprovechamiento de la luz natural, la utilización de elementos traslucidos en ventanas y tejado, así como también la utilización de pinturas de colores claros que ayuden a obtener un máximo reflejo de la luz.

Es por ese motivo que se recomienda a las autoridades de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente que utilicen colores claros en los pasillos y aulas, así como también el uso de ventanas de mayor tamaño en las aulas que resulten de provecho para la luz natural y depender cada día menos de la luz artificial.

En la mayoría de baños de la Facultad es necesario el uso de sistemas de control de iluminación, como sensores de ocupación. Si se logra implementar estos sistemas en todos los baños más utilizados por la población estudiantil la optimización sería provechosa para la institución.

### **5.4.2 EQUIPOS ELÉCTRICOS**

#### **Implementación y uso de equipos más eficientes**

Existen ciertos equipos eléctricos en la Facultad que demandan un consumo de energía mayor, al llevar a cabo una comparación con equipos más eficientes que realizan la misma función nos damos cuenta que la diferencia en el ahorro es grande.

El equipo misceláneo en nuestro caso representa el 32% del consumo energético total de la Facultad, en este porcentaje se incluyen muchos equipos eléctricos. En el caso de equipos electrónicos como computadoras, fotocopiadoras e impresoras consumen una cantidad considerable de energía.

En los edificios de medicina hay equipos de refrigeración para laboratorio con una potencia arriba de 1kW, se debe considerar su utilización solo para casos especiales. Cafeteras y mini Split hay en algunas zonas de la Facultad los cuales también tienen un consumo alto de energía por eso se es necesario condicionar el uso de estos equipos.

### **Concientización personal y comunidad académica.**

Debemos involucrar más a la comunidad educativa de la Facultad Multidisciplinaria de Oriente en el tema de ahorro energético y de eficiencia energética, de esta manera se puede hacer un uso adecuado de los equipos eléctricos. Entre las medidas que se pueden implementar están:

- Charlas de orientación por parte del personal de la Facultad para inculcar los conocimientos y la importancia del uso medido de los recursos.
- Creación de un comité de eficiencia de energética en la parte administrativa de la Facultad que busque alcanzar logros planteados en materia de eficiencia en los recursos.
- Creación de un grupo de estudiantes que se encarguen de transmitir los buenos hábitos y prácticas en cuanto al uso racional de la energía a la demás población.

### **Configuración de equipos.**

Es importante hacer buen uso de los equipos de cómputo con los que cuenta la Facultad, es importante optimizar los tiempos de hibernación de los equipos, ya que en muchas oportunidades los computadores y monitores permanecen encendidos en periodos de inactividad permanente, y sumado a la cantidad de los mismos hace que sea más notorio el consumo energético del mismo.

En la medida de lo posible se puede implementar el uso de sistemas de control automático para los equipos eléctricos, como el uso de tomas con temporizador-horario, en él se definen las condiciones de encendido y apagado en el día que se requiera para propósito específico.

## **5.4.3 EQUIPOS DE AIRE ACONDICIONADO**

### **Plan de mantenimiento.**

Es importante que los equipos de aire acondicionado cuenten con un buen programa de mantenimiento ya que en la Facultad el mayor consumo de energía lo representan ellos con más del 40% del total, dentro de este plan se propone la limpieza de los ductos con mayor frecuencia, ya que se cree que no se ha realizado desde que se instalaron. Se debe llevar un registro del mantenimiento realizado, así como hoja de vida del equipo con el fin de tener información relevante y poder llevar a cabo un mantenimiento predictivo.

En la Facultad actualmente se cuenta con técnicos que están encargados del mantenimiento, a ellos se les asignará este trabajo. La temperatura en la ciudad de San Miguel muy alta por lo que los aires acondicionados estarán encendidos en gran parte del día, por lo que se debe mantener funcionando de una manera correcta los equipos.

#### **Sistemas de control más adecuados.**

- El control debe ser óptimo y que brinde confiabilidad en el momento de operar, de lo contrario se puede llevar a cabo un encendido innecesario de los equipos, lo que significaría una demanda de energía eléctrica inútil. Los sensores se deben calibrar para mandar la información correcta de encendido o apagado.
- Dentro del mantenimiento se debe ajustar los niveles de temperatura óptima, las termocuplas y el dispositivo de control deben estar a la par calibrados, esto con el fin de que no se generen temperaturas que no son de provecho, sino al contrario energía innecesaria. Los aumentos en la temperatura.

#### **Implementación de equipos más eficientes y modernos.**

Actualmente han surgido nuevas tecnologías en equipos de climatización, los cuales trabajan con un alto porcentaje de eficiencia energética. Esto conlleva a un mayor ahorro energético. Es indispensable que la Facultad Multidisciplinaria de Oriente de la Universidad de El Salvador adquiera equipos más sofisticados. A continuación, se mencionarán una serie de recomendaciones:

- Se puede utilizar proyectos con energías renovables para alimentar los circuitos de aires acondicionados (paneles solares). Esta es una opción viable ya que en la Ciudad de San Miguel donde se encuentra ubicada la Facultad posee un clima adecuado para recibir la radiación solar, esto implicaría una reducción en los costos de la factura eléctrica.
- Redimensionar los equipos para las necesidades reales de la universidad, existen equipos que tienen una capacidad mayor para lo que realmente se utilizan. Se debería buscar equipos de menor tonelaje para llevar a cabo la misma función.
- Llevar a cabo limpieza en los ductos de los equipos cada cierto tiempo, se considera unos tres meses como prudentes para realizarse.

## 6. CONCLUSIONES

El simulador eQuest nos muestra los resultados de la línea base del Edificio 1 de Medicina que el consumo de energía eléctrica anual es de 127 290 kWh y el costo monetario anual 38 763 \$ para el total del edificio de 2 niveles. El simulador también nos arroja los resultados de consumo total de equipos de refrigeración del 38%, el total de iluminación que es 33% y el 27% para equipo electrónico o misceláneo.

Se determinó que la propuesta de eficiencia energética correspondiente a Iluminación LED donde se propone sustituir las luminarias del edificio, nos describe que la línea base consume al año 42 130 kWh con el de la medida que es un 25 290 kWh, lo que equivale una reducción del 39.97%, produciendo un ahorro de 5 265 \$ anuales. Este edificio produce 127 570 de  $CO_2$  y con la medida lo reduce a 67 281, esto implica que también beneficiamos al medio ambiente y a mitigar el calentamiento global.

Se concluyó que la medida de eficiencia energética renovación de equipos de aire acondicionado por modelos más eficientes, la línea base *Space Cooling* consume 48 920 kWh anualmente, mientras que su contraparte eficiente un total de 24 610 kWh reduciendo un 49%, produciendo un ahorro de 7 795 \$ anualmente, así mismo produciendo una reducción significativa de 19.06% de  $CO_2$ .

Se determinó que la tercera propuesta es importante para las zonas acondicionadas, convirtiéndolas en lugares térmicos y protegidos de la radiación del sol, anualmente se consume 127 560 kWh anuales y con la medida energética un consumo de 126 160 kWh, la medida no parece afectar tanto el consumo por lo tanto se debe aplicar la medida anterior de HVAC para esta medida funcione significativamente aportando una reducción solo de 1.10% de  $CO_2$ .

Al concluir la simulación de la última propuesta de eficiencia energética se decidió cambiar aquellos ventiladores que tienen alto consumo por unos de menor consumo realizando el mismo trabajo, nos muestra como resultados 34 170 kWh en quipos misceláneos con respecto a 33 400 kWh lo que muestra una reducción de 2.25%, con una reducción de 0.22% de  $CO_2$ , con esta propuesta se recomienda siempre adquirir equipos eléctricos de menos potencia.

Se elaboró un plan de gestión de energía, tomando en cuenta el cumplimiento de la Norma ISO 50001. Basándonos en los resultados obtenidos con la simulación se pudo observar las áreas que representan un mayor consumo, el plan se basa justamente en proponer medidas y acciones que permitan reducir el gasto de energía y aplicar la eficiencia energética en toda la Facultad para que se obtengan beneficios económicos, de ahorro energético y ambientales.

Se concluye que las medidas de eficiencia energética si reducen un consumo de kWh por lo tanto hablando en panorama global relacionado con el impacto al medio ambiente reducir

la energía consumida también reducimos la generación de  $CO^2$  por parte de los edificios públicos, permitiendo aportar al problema del efecto invernadero, todo con la ayuda de la herramienta de eQuest.

La gestión en eficiencia energética es una herramienta que cambia disciplinas como la ingeniería y consultoría. No se trata de una estrategia filantropía, sino una necesidad para hacer más competitivas a las empresas.

La implantación de un SGE de acuerdo a la norma ISO 5001 supone generalmente una inversión de rápida amortización gracias a las diferentes reducciones de consumo derivadas de la gestión energética

Un adecuado servicio de gestión energética combina están enfocadas a conocer de manera sistemática las diferentes formas de reducción del consumo de energía. Así como establece objetivos medibles para el establecimiento de dichas medidas.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

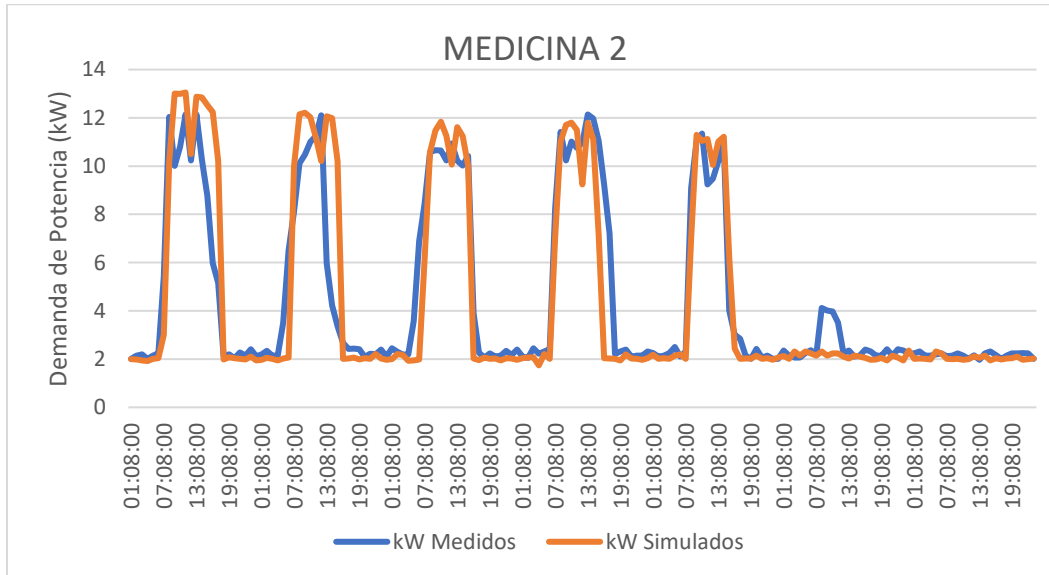
- [1] DOE. (2015). *An assessment of energy technologies and research opportunities*. [https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/QuadrennialTechnology-Review-2015\\_0.pdf](https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/QuadrennialTechnology-Review-2015_0.pdf)
- [2] eQuest. (2008). *eQUEST-The quick energy simulation tool, an overview*. <https://www.doe2.com/download/equest/eQUESTv3-Overview.pdf>
- [3] J. Hirsch, *doe2*, 2010. [Online]. Available: [http://doe2.com/download/equest/eQ-v3-64\\_Introductory-Tutorial.pdf](http://doe2.com/download/equest/eQ-v3-64_Introductory-Tutorial.pdf). Accessed: Dec. 2016.
- [4] J. Hirsch, *doe2*, 2004. [Online]. Available: <http://www.doe2.com/download/equest/eQuestTrainingWorkbook.pdf>. Accessed: Dec. 2016
- [5] 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>
- [6] Serrano Yuste, P. (2015, January 13). *¿Sabemos definir la envolvente térmica de los edificios y su eficiencia energética?* Certificadosenergeticos.Com. <https://www.certificadosenergeticos.com/sabemos-definir-envolvente-termica-edificios-eficiencia-energetica>
- [7] Hirsch, J. J. (n.d.). *eQUEST*. Retrieved October 23, 2021, from <https://www.doe2.com/equest/>
- [8] Consejo Nacional de Energía. *Política Nacional de Energía*. República de El Salvador, 2012.
- [9] El salvador ahorra energía, “Eficiencia energética, tendencia mundial en pro del planeta”, cuarta revista pesae, vol. 4, pp. 8-12, año 2016.

## 8. ANEXOS

### ANEXOS A

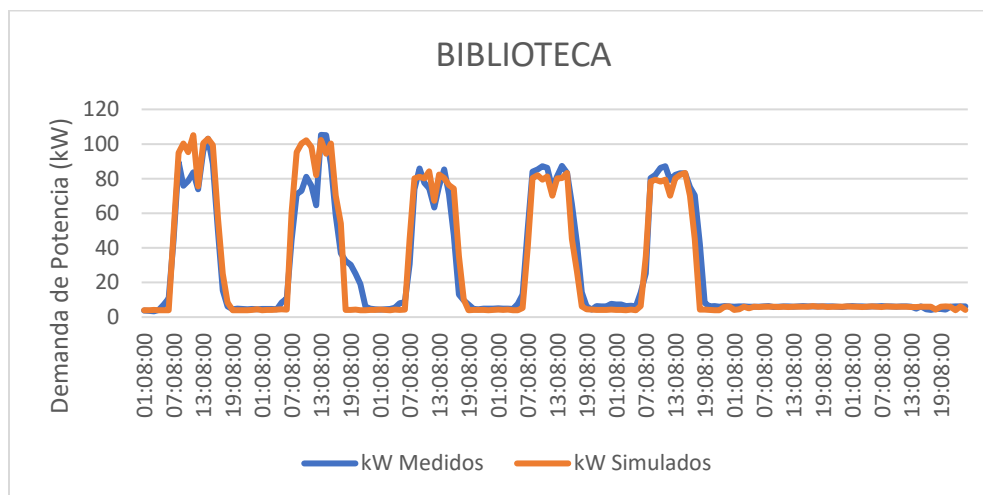
Sitio: Edificio 2 de Medicina

Medido desde 17/09/2022 07:30:36, Hasta 22/09/2022 12:20:34



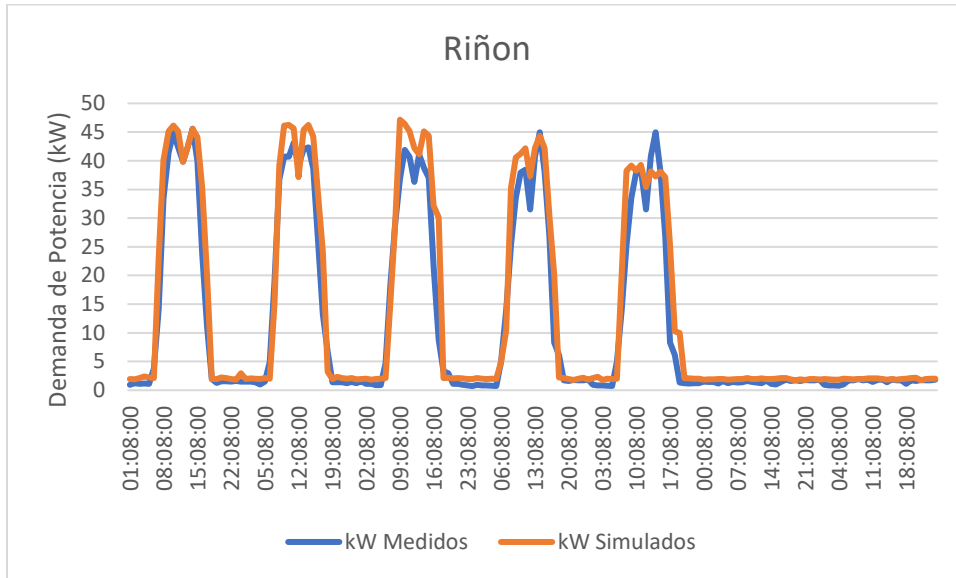
Sitio: Edificio BIBLIOTECA

Medido desde 03/10/2022 00:30:36, Hasta 09/10/2022 01:17:24



## Sitio: Edificio Ex-Administrativo “Riñon”

Medido desde 10/10/2022 02:30:36, Hasta 17/10/2022 10:11:14



### ANEXOS B

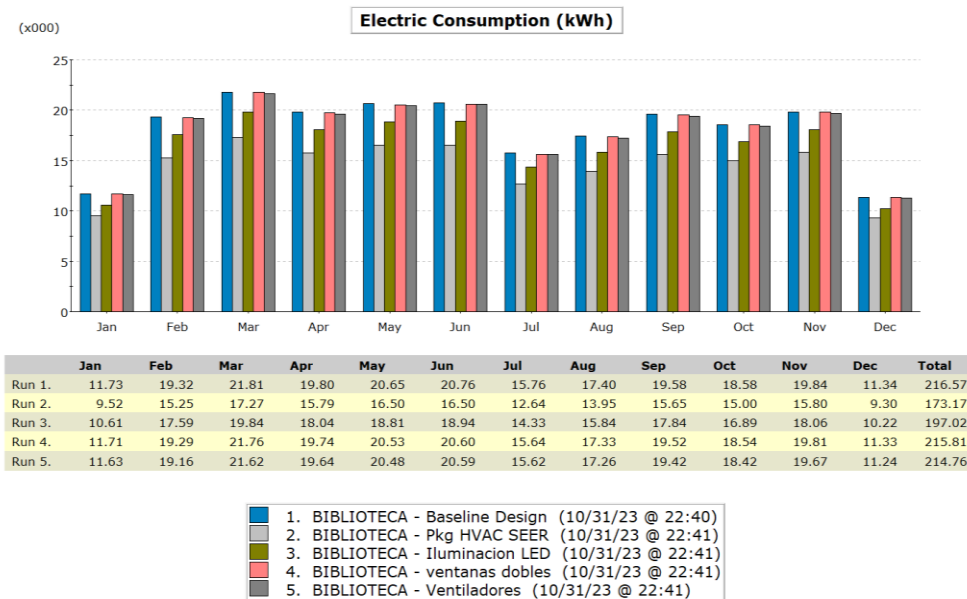


Gráfico 8.1: Resultados de la simulación de eQuest del edificio de la BIBLIOTECA del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.



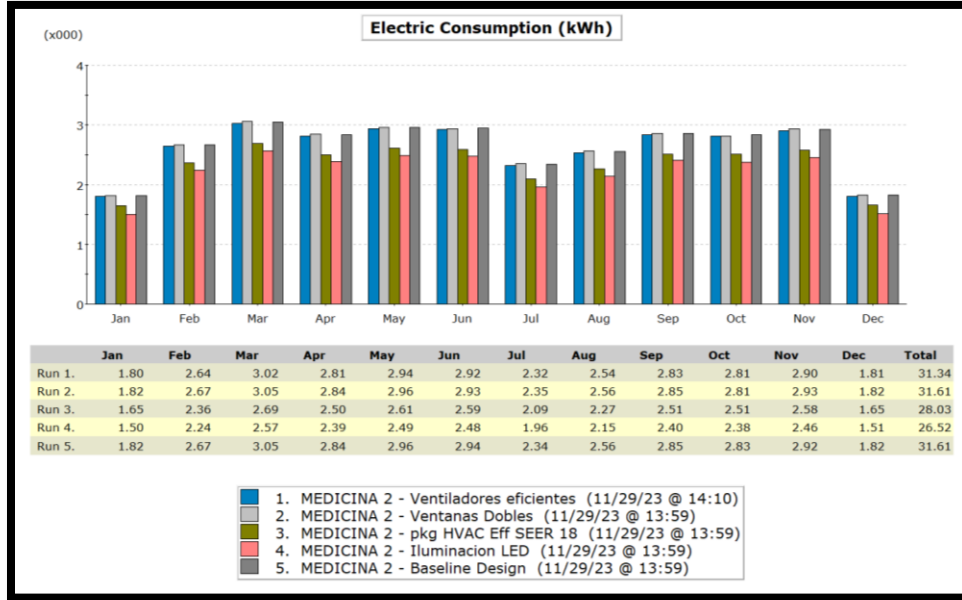


Gráfico 8.2: Resultados de la simulación de eQuest del EDIFICIO 2 DE MEDICINA del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.

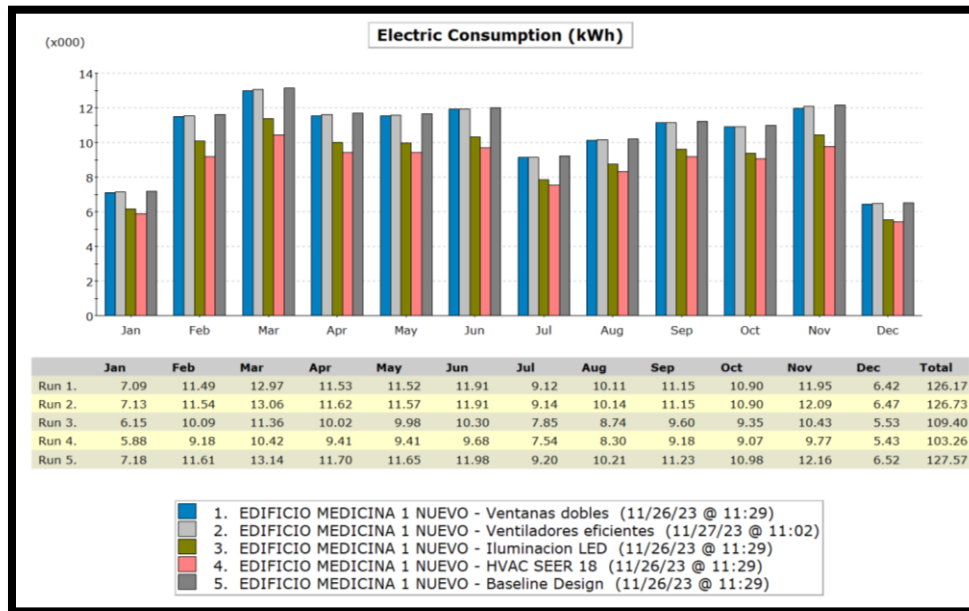


Gráfico 8.3: Resultados de la simulación de eQuest del EDIFICIO 1 DE MEDICINA del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.

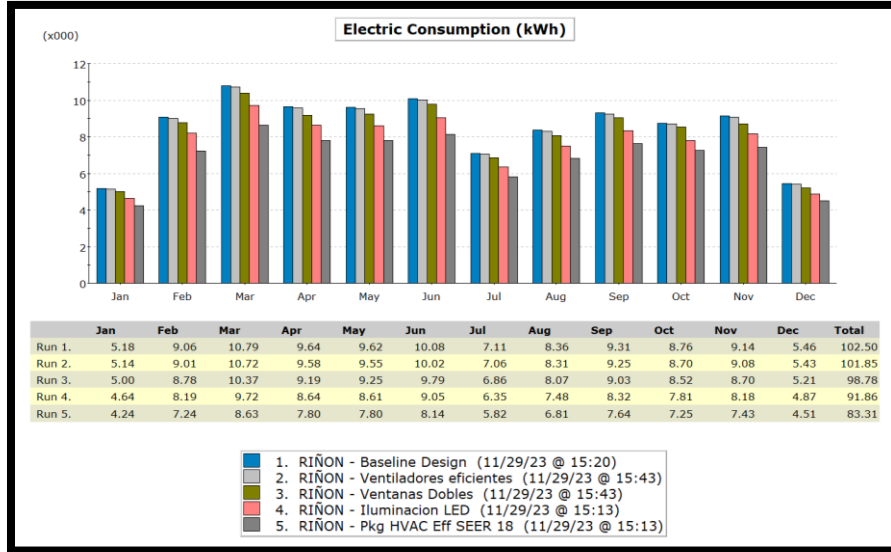


Gráfico 8.4: Resultados de la simulación de eQuest del “Riñon” del consumo mensual en kWh de cada uno de los meses del año 2022.

ANEXO B

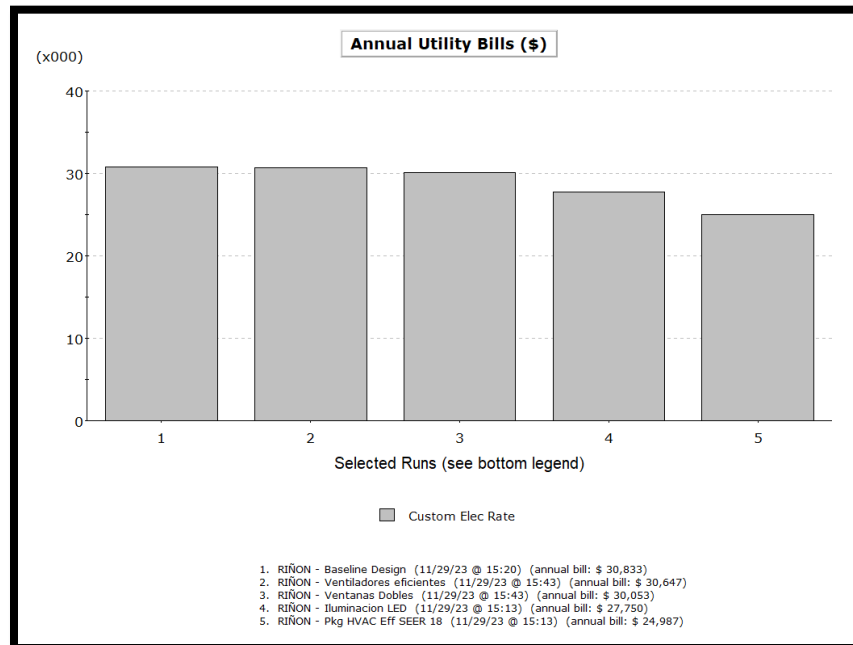


Gráfico 8.5: Resultados de la simulación de eQuest del “Riñon” de la gasto anual del consumo eléctrico del año 2022.

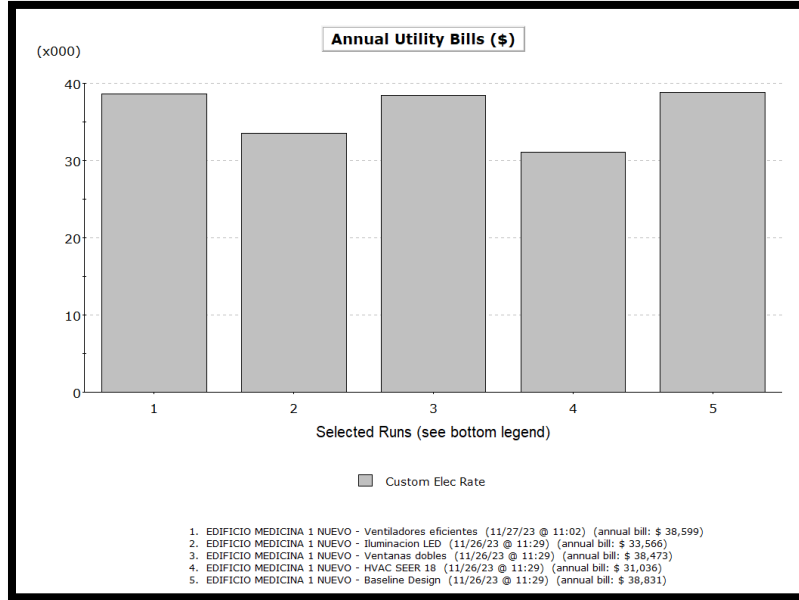


Figura 8.1: Resultados de la simulación de eQuest del EDIFICIO DE MEDICINA 1 de la gasto anual del consumo eléctrico del año 2022.

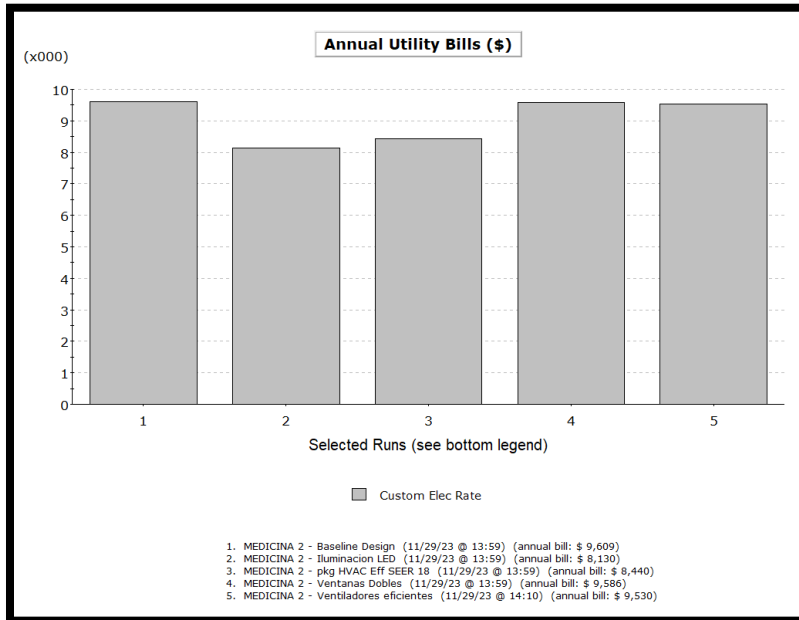


Figura 8.2: Resultados de la simulación de eQuest del EDIFICIO 2 DE MEDICINA de la gasto anual del consumo eléctrico del año 2022.

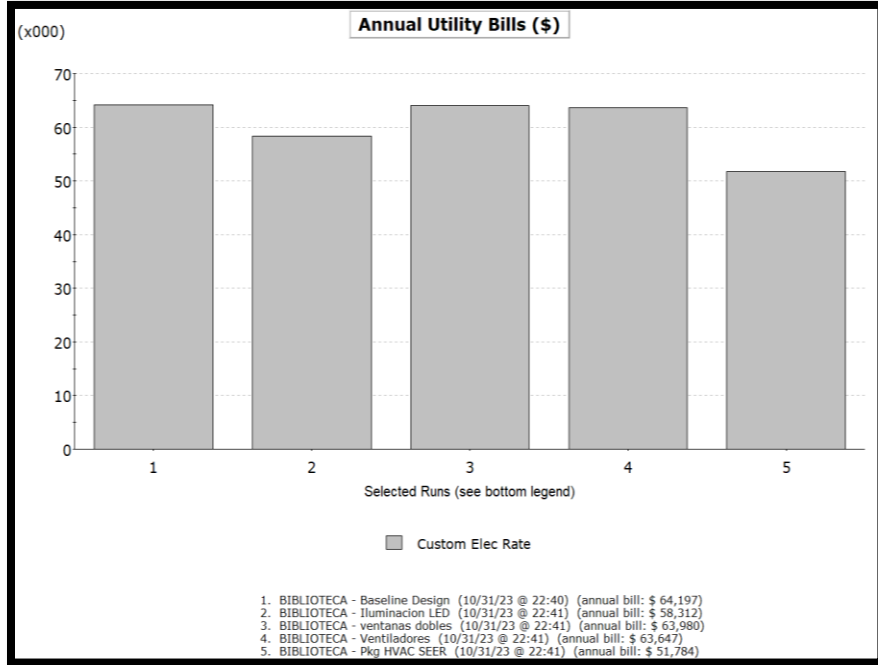


Figura 8.3: Resultados de la simulación de eQuest de la BIBLIOTECA de la gasto anual del consumo eléctrico del año 2022

### ANEXO C

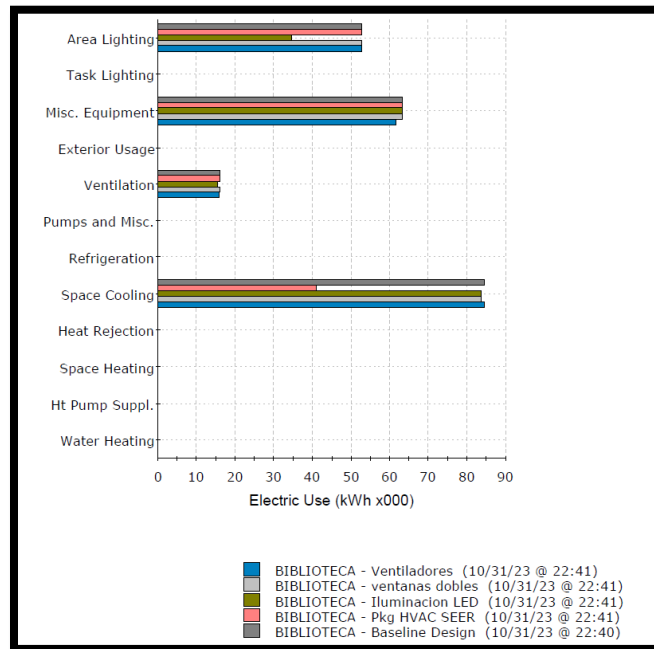


Figura 8.4: Resultados de la simulación de eQuest del Biblioteca del uso final del consumo eléctrico del año 2022.

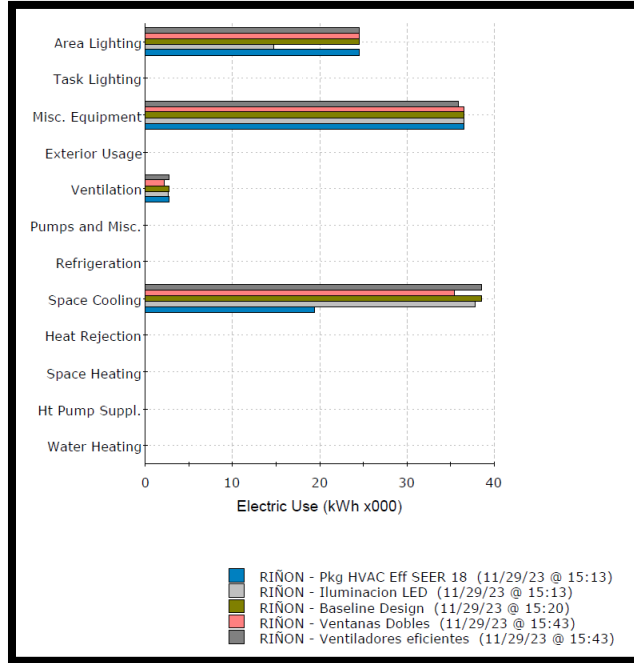


Figura 8.5: Figura 8.4: Resultados de la simulación de eQuest del “Riñon” del uso final del consumo eléctrico del año 2022.

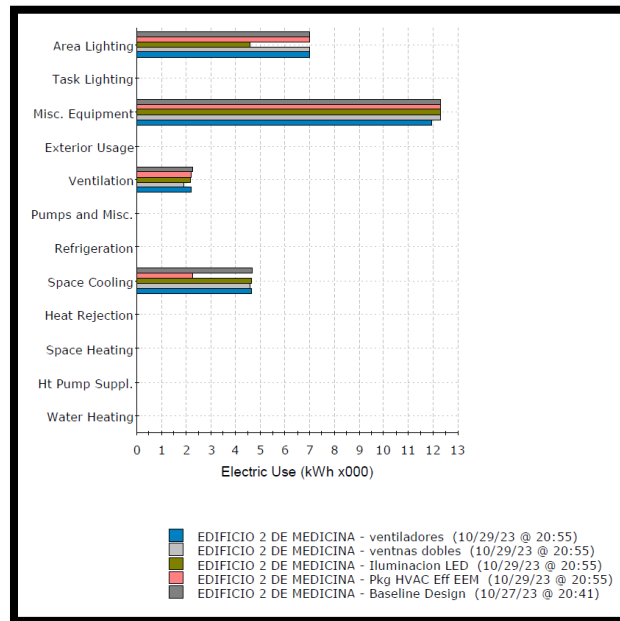


Figura 8.6: Resultados de la simulación de eQuest del Edificio 2 de medicina del uso final del consumo eléctrico del año 2022.

Medición	Consumo Electricidad Anual (kWh/Edif-año)	Emisión de CO <sub>2</sub> (kg/Edif-año)	Reducción consumo & Emisiones CO <sub>2</sub> (%)
Modelo Línea Base	31 610	19 440.15	-
Iluminación LED	26 516	16 307.34	16.12 %
HVAC (SEER 18)	43 328	26 646.72	37.07 %
Ventanas dobles	31 612	19 441.38	0.006 %
Ventiladores eficientes	31 339	19 273.49	0.86 %

Tabla 5.6 Emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del Edificio de Medicina 2.

Medición	Consumo Electricidad Anual (kWh/Edif-año)	Emisión de CO <sub>2</sub> (kg/Edif-año)	Reducción consumo & Emisiones CO <sub>2</sub> (%)
Modelo Línea Base	216 560	133 184.4	-
Iluminación LED	197 020	121 167.3	9.02 %
HVAC (SEER 18)	173 160	106 493.4	20.04 %
Ventanas dobles	215 810	132 723.15	0.34 %
Ventiladores eficientes	214 750	132 071.25	0.84 %

Tabla 5.6 Emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del Edificio de Biblioteca.

Medición	Consumo Electricidad Anual (kWh/Edif-año)	Emisión de CO <sub>2</sub> (kg/Edif-año)	Reducción consumo & Emisiones CO <sub>2</sub> (%)
Modelo Línea Base	102 490	63 031.35	-
Iluminación LED	91 858	56 492.67	10.37 %
HVAC (SEER 18)	83 306	51 233.19	18.71 %
Ventanas dobles	98 780	60 749.70	3.62 %
Ventiladores eficientes	101 860	62 643.90	0.61 %

Tabla 5.6 Emisión de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) del Edificio "Riñon".