

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA



**Eficiencia energética en edificios del Campus de la
Universidad de El Salvador.**

PRESENTADO POR:

MAURICIO AUGUSTO CRUZ MORAN

RONALD VLADIMIR ZEPEDA MURGAS

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO ELECTRICISTA

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO 2013

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

ING. MARIO ROBERTO NIETO LOVO

SECRETARIA GENERAL :

DRA. ANA LETICIA ZAVALA DE AMAYA

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO :

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

SECRETARIO :

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

DIRECTOR :

ING. JOSÉ WILBER CALDERÓN URRUTIA

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Título :

**Eficiencia energética en edificios del Campus de la
Universidad de El Salvador.**

Presentado por :

**MAURICIO AUGUSTO CRUZ MORAN
RONALD VLADIMIR ZEPEDA MURGAS**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ

San Salvador, Marzo 2013

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Director :

ING. JOSÉ ROBERTO RAMOS LÓPEZ

ACTA DE CONSTANCIA DE NOTA Y DEFENSA FINAL

En esta fecha, 1 de marzo de 2013, en la Sala de Lectura de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, a las 5:00 horas, en presencia de las siguientes autoridades de la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de El Salvador:

1. Ing. José Wilber Calderón Urrutia
Director

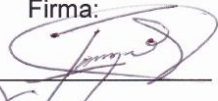
Firma: 

2. Ing. Salvador de Jesús Germán
Secretario

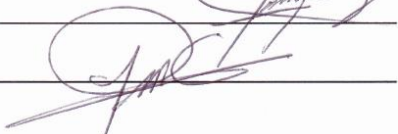
Firma: 

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

1- Ing. Marvín Flores

Firma: 

2- Ing. Carlos Osmín Pocasangre Jiménez

Firma: 

Se efectuó la defensa final reglamentaria del Trabajo de Graduación:

Eficiencia energética en edificios del Campus de la Universidad de El Salvador.

A cargo del Bachilleres:

- Mauricio Augusto Cruz Morán
- Ronald Vladimir Zepeda Murgas

Habiendo obtenido en el presente Trabajo una nota promedio de la defensa final, de: 7.0

(SIETE PUNTO CERO)

Agradecimientos

A Dios Todopoderoso que me permitió culminar este trabajo de graduación y así, una meta más en mi vida y a quién dedico todo este esfuerzo.

A mi familia, especialmente a mi Papá y a mi Mamá que con gran esfuerzo y dedicación han sabido sacarnos adelante y a mis hermanos que han estado al pendiente de mi formación.

A un gran amigo Juan Pablo por su ayuda incondicional sobre todo en el desarrollo de este trabajo.

A los asesores que me han orientado en este proceso y dado su incondicional apoyo.

A todos los profesores que compartieron sus experiencias y conocimientos durante estos años de estudio.

A todos mis amigos y compañeros con los que compartí estos años y que de una u otra forma me estuvieron apoyando.

A mi comunidad eclesial con la que conté en su apoyo espiritual durante este período de mi vida.

A muchos otros que tal vez pueda olvidar en este momento pero que estuvieron ahí en el momento preciso para sacar adelante nuestra tarea.

Mauricio Augusto Cruz Morán

Agradecimientos

Primeramente que nada darle gracias a Dios por haber dado este paso tan importante en mi vida, que sin su ayuda no habría sido posible de realizar.

Gracias Dios por darme la fuerza necesaria para no rendirme ante la adversidad presentada y por ayudarme a superar los obstáculos presentados a lo largo de este camino, por guiarme en el camino más adecuado para mi vida y así poder terminar este proceso, por poner personas buenas en mi camino que me ayudaron a terminar este proceso de mi vida.

Gracias a toda mi familia y en especial a mi Padre y Madre, Cecilio Humberto Murgas y María Consuelo Zepeda respectivamente, a mis hermanas Ana Cecilia, Antonieta de Jesús y Claudia Patricia, a mi cuñado Rafael Enrique y a mis sobrinos Rafael Humberto y Vilma Gabriela por ayudarme en todo lo que pudieron para que este camino se hiciera más fácil de recorrerlo, por apoyarme y alentarme aunque las cosas no salieran bien y siempre seguir adelante, por siempre guiarme por el buen camino y encomendarme a Dios, por ser fuente de inspiración y así tratar de hacer mejor las cosas en mi vida y para que este proceso se realizara de la mejor manera.

Gracias a todos mis compañeros y amigos que siempre me apoyaron y que de una u otra forma han contribuido a que este paso en mi vida se diera, agradezco especialmente a mi amigo y compañero de trabajo de graduación Mauricio Augusto, a mi amigo Juan Pablo por su ayuda para que este trabajo se realizara.

Gracias a todos los maestros que han puesto el empeño en enseñarnos y transmitirnos sus conocimientos durante este proceso y que han servido para poder terminar este trabajo.

Gracias a mis maestros asesores que participaron y nos guiaron de la mejor manera para que este trabajo se realizara.

Por ultimo no queda más que agradecerles a todos en general y especialmente a Dios que nos cuide y guie por el camino que debemos seguir.

Ronald Vladimir Zepeda Murgas.

Contenido

Índice de gráficos	iii
Índice de figuras.....	iv
Índice de tablas.....	iv
I. Introducción	1
II. Objetivos	3
I. Objetivo General	3
II. Objetivos Específicos.....	3
III. Alcances	4
IV. Definiciones, Abreviaturas y Acrónimos	5
I. Definiciones.....	5
II. Abreviaturas y Acrónimos	7
Capítulo I. Referencia Teórica.	8
1.1. Antecedentes de las políticas energéticas en El Salvador.....	8
1.1.1. Historia de la generación eléctrica en El Salvador	8
1.1.2. Aparición de las políticas energéticas	11
1.2. Creación del Consejo Nacional de Energía.....	13
1.2.1. Filosofía del Consejo Nacional de Energía.....	15
1.2.2. Principios, fundamentos y objetivos de la Política Energética Nacional.....	16
1.2.3. Líneas Estratégicas de la Política Energética Nacional.....	17
1.3. Antecedentes de Estudios de Eficiencia Energética en El Salvador	18
1.4. Estudios preliminares de Eficiencia Energética en la Universidad de El Salvador	20
1.4.1. Resultados obtenidos en el trabajo de graduación Aplicación de Simuladores de Energía. 21	
1.4.1.1. Comparación entre Resultados Simulados y Medidos.....	21
1.4.2. Resultados obtenidos en el trabajo de graduación Eficiencia Energética en edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.....	24
1.4.2.1. Edificios seleccionados para el estudio.	24
1.4.2.2. Perfiles de carga de edificios seleccionados.	25
1.4.2.3. Modelo de Ahorro de Energía.	25
1.4.2.4. Análisis y Evaluación de los Modelos.	28
Capítulo II. Situación energética actual de la UES.	31
2.1. Análisis de facturación.	31
2.1.1. Facturas de Consumo Eléctrico.	31

2.1.2.	Análisis de Facturas Eléctricas año 2009.....	33
2.1.3.	Análisis de Facturas Eléctricas año 2010.....	35
2.1.4.	Análisis de Facturas Eléctricas año 2011.....	36
2.1.5.	Análisis Anual de la Facturación Eléctrica	38
2.1.6.	Facturas de Consumo de Combustibles.....	40
2.2.	Selección de edificios a estudiar.....	40
2.3.	Detección de oportunidades de ahorro.....	43
2.4.	Perfiles de carga de edificios seleccionados.....	44
Capítulo III. Modelación de edificios y resultado de medidas.....		46
3.1.	ETAPA I. Operación base energética de los edificios seleccionados.....	46
3.1.1.	Modelación virtual de los edificios.....	46
3.1.2.	Verificación de los datos.....	47
3.1.3.	Resultados de la operación actual.....	50
3.1.3.1.	Consumo anual.....	50
3.1.3.2.	Indicadores energéticos por superficie de construcción	54
3.1.3.3.	Indicadores energéticos por ocupante	55
3.1.4.	Contribución de edificios al consumo y costos totales de la UES.....	55
3.2.	ETAPA II. Propuesta de ahorro de energía.....	58
3.2.1.	Medidas Energéticas implementadas para los edificios	59
3.3.	ETAPA III. Comparación y justificación de las medidas.....	60
3.3.1.	Consumos anuales por medida	60
3.3.2.	Índices de consumo anual por superficie de construcción	61
3.3.3.	Ahorro por aplicación de medidas	65
Capitulo IV. Evaluación Económica.....		68
4.1.	Evaluación del Estudio Actual.....	68
4.2.	Integración de Evaluación Económica.....	71
Recomendaciones.....		73
Conclusiones		75
Bibliografía		76
Anexos.....		A

Índice de gráficos

Gráfico 1. 1 Porcentajes de la capacidad instalada y la generación neta según la forma de generación de electricidad.	10
Gráfico 1. 2 Evolución de capacidad instalada en El Salvador a través de los años por tipos de recurso.	10
Gráfico 1. 3. Comparación de la Potencia Eléctrica Consumida Semanal entre el FLUKE y EnergyPlus	24
Gráfico 1. 4. Perfil de consumos de energía anuales por cada una de los rubros energéticos y para cada uno de los edificios en estudio.	26
Gráfico 1. 5. Perfil de porcentajes de la máxima demanda de potencia por variables energéticas para cada uno de los edificios.	27
Gráfico 1. 6. Resultados previos del consumo de energía por superficie cuadrada anual de las medidas aplicadas y la combinación de ellas según cada edificio.	28
Gráfico 1. 7. Comparación del indicador consumo de energía por superficie cuadrada anual para cada medida y combinación de ellas de cada edificio en estudio.	29
Gráfico 1. 8. Reducción en porcentaje de las medidas aplicadas y la combinación de estas para cada edificio.	30
Gráfico 2. 1 Porcentaje de contribución de cada medidor instalado en la UES año 2009.	33
Gráfico 2. 2. Tendencia de Consumo, Demanda y Costo de la UES para el año 2009.	34
Gráfico 2. 3. Porcentaje de contribución de cada medidor instalado en la UES año 2010.	35
Gráfico 2. 4. Tendencia de Consumo, Demanda y Costo de la UES para el año 2010.	36
Gráfico 2. 5. Porcentaje de contribución de cada medidor instalado en la UES año 2011.	37
Gráfico 2. 6. Tendencia de Consumo, Demanda y Costo de la UES para el año 2010.	38
Gráfico 2. 7. Tendencia de consumo y costo durante el periodo en estudio.	39
Gráfico 2. 8. Tendencia de consumo y costo de los edificios seleccionados.	43
Gráfico 2. 9. Perfil de demanda para el edificio de Medicina.	45
Gráfico 2. 10. Perfil de demanda para el edificio de Rectoría.	45
Gráfico 3. 1. Perfil de carga Edificio de Medicina.	48
Gráfico 3. 2. Perfil de carga Edificio de Rectoría.	49
Gráfico 3. 3. Perfil de carga Edificio de Biblioteca Central.	49
Gráfico 3. 4. Perfil de carga Edificio de Oficinas Centrales.	50
Gráfico 3. 5. Consumo eléctrico y costo anual de los edificios en estudio.	51
Gráfico 3. 6. Consumo anual por rubro en cada edificio.	52
Gráfico 3. 7. Porcentaje de consumo anual de cada edificio por rubro.	53
Gráfico 3. 8. Porcentaje de consumo total anual para los cuatro edificios por rubro.	53
Gráfico 3. 9. Indicadores de consumo por año y área construida.	54
Gráfico 3. 10. Indicadores de consumo por año por persona y costo de energía por ocupante.	56
Gráfico 3. 11. Porcentajes de contribución por edificios estudiados en diferentes trabajos respecto al total de la UES.	57
Gráfico 3. 12. Porcentajes totales de contribución de los edificios estudiados en diferentes trabajos respecto al total de la UES.	58
Gráfico 3. 13. Consumo anual por medida aplicada y modelo base.	62

Gráfico 3. 14. Índice de consumo anual por superficie de construcción.....	63
Gráfico 3. 15. Índice de consumo anual por ocupante de las instalaciones.	64
Gráfico 3. 16. Consumo anual por medida y rubro para cada uno de los edificios.....	65
Gráfico 3. 17. Porcentajes de operación por medida y rubro para cada uno de los edificios.....	66
Gráfico 3. 18. Porcentajes de ahorro por medida y rubro para cada uno de los edificios.	67

Índice de figuras

Figura 1. 1 Estructura actual del sector energético nacional.....	12
Figura 1. 2 Estructura Organizativa del Consejo Nacional de Energía.....	14
Figura 1. 3 Conformación y nombramiento de los miembros de los comités.....	20
Figura 1. 4 Geometría Total en SketchUp.....	21
Figura 1. 5 Zonificación del edificio según modelo.....	23
Figura 2. 1. Imágenes de los edificios seleccionados.....	42
Figura 3. 1. Ilustración de los modelos de los edificios seleccionados para el estudio.....	47

Índice de tablas

Tabla 1. 1. Diferencia y el error porcentual entre los resultados medidos con respecto a los simulados.....	22
Tabla 2. 1. Lista de medidores instalados en las acometidas de la UES, con su respectiva ubicación.	32
Tabla 2. 2. Valores de Consumo y gastos por medidor instalado en la UES para cada uno de los años en estudio.	39
Tabla 3. 1. Datos de área construida y persona para cada edificio.....	55
Tabla 3. 2. Consumo de energía anual por medida para cada instalación.....	61
Tabla 4. 1. Costos asociados al consumo de energía tanto para el modelo línea base como para cada una de las condiciones de ahorro establecidas así como la combinaciones de estas.....	70
Tabla 4. 2. Ahorros trasladados al tiempo para cada edificio justo con la inversión respectiva según el tiempo de recuperación.	71
Tabla 4. 3. Factor de anualidad presente para 1 y 2 años de recuperación.	71
Tabla 4. 4. Integración de datos de ahorro en consumo en costo económico de todos los edificios a los cuales se les ha aplicado un estudio de eficiencia energética en la Universidad de El salvador.	72

I. Introducción

El cambio climático y la tendencia al alza de los combustibles fósiles han forzado al gobierno e instituciones no gubernamentales a la búsqueda de medidas que ayuden a disminuir sus efectos. En el país, con la creación del Consejo Nacional de Energía (CNE), se han desarrollado políticas y estrategias energéticas con el objetivo de reducir el consumo eléctrico, utilizar de manera más eficiente la energía eléctrica y reducir costos económicos por el uso de la energía

La factura de energía eléctrica del sector público en el 2009 fue superior a los \$25Millones. Este monto es del orden del 1% del presupuesto nacional, y no incluye ANDA. Una figura similar había sido establecida para la UES, con un presupuesto del orden de \$60Millones. Con una factura mensual del orden mayor a \$100,000, el total anual equivale al 2% del presupuesto anual de la institución.

El uso principal de la energía eléctrica en edificios del sector público es para el funcionamiento de sistemas de iluminación, aire acondicionado, equipo de oficina, y otros. Solamente en aplicaciones especiales, tales como hospitales, este patrón puede ser diferente.

En la actualidad dentro del Órgano Ejecutivo del GOES ha entrado en fase de ejecución el proyecto EEPB (Eficiencia energética en Edificios Públicos). Los proyecto piloto estarán orientados a los sectores salud y educación. Al mismo tiempo, en los ministerios e instituciones que forman parte de la junta directiva del CNE (Consejo Nacional de Energía) se han creado Comités de Eficiencia Energética.

Este trabajo de graduación es una continuación de los diferentes trabajos relacionados con Eficiencia Energética desarrollados en la Escuela de Ingeniería Eléctrica siguiendo la metodología presentada por el CNE para instituciones públicas.

En el primer capítulo podemos encontrar una breve historia acerca de las políticas energéticas a través de los años desde el inicio de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Rio Lempa (CEL), pasando por la situación energética actual del país, mostrando la matriz del mercado mayorista y culminando con la historia de la creación del CNE y las políticas desarrolladas hasta el momento por este organismo.

El capítulo dos trata sobre la situación energética actual de la UES, acá se presentan resultados y gráficos correspondientes a la facturación de los años 2009 al 2011, así como la inspección visual de las instalaciones de los edificios seleccionados que comprende las características térmicas y eléctricas de cada uno de ellos, para así poder determinar posibles medidas de ahorro en el consumo energético de los mismos mediante la implementación de medidas en la simulación en EnergyPlus.

El capítulo tres presenta los resultados de las simulaciones realizadas en EnergyPlus de los edificios seleccionados, en una primera etapa se muestran los resultados de la operación energética actual de los edificios, los cuales son previamente verificados para que el estudio de ahorro de energía sea lo más cercanos a la realidad. En una segunda etapa se hacen las propuestas de ahorro según la metodología seguida en los trabajos de graduación anteriores. Por último en la tercera etapa, se hace la comparación y justificación de los resultados obtenidos de las propuestas de ahorro, etapa en la que se puede observar la importancia de la aplicación de medidas para paliar la situación energética actual de las instalaciones del Campus de la Universidad.

El capítulo cuatro pretende demostrar que el costo de inversión de la aplicación de las medidas puede ser recuperado por medio del ahorro que se tendrá al momento de aplicar las diferentes medidas propuestas. También, en este capítulo y debido a la integración de este trabajo con los trabajos anteriores relacionados a la eficiencia energética, se presentan las evaluaciones correspondientes con este estudio como las obtenidas en un estudio anterior aplicado a los edificios que pertenecen a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

Al final se presentas las conclusiones y recomendaciones que se pudieron obtener por la elaboración de este trabajo de graduación. Siendo las principales la línea que ya se sigue en la Universidad por medio de los estudios que se han hecho en la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Y otra importante recomendación es el interés que las autoridades universitarias deben de tener ante la situación de consumo de energía y costos en que incurre la Universidad.

II. Objetivos

I Objetivo General

- ✓ Estudiar y aplicar las técnicas de administración de energía para completar la línea base de consumo de energía (electricidad y combustible) en una institución representativa del sector público (Universidad de El Salvador), analizar los datos de la línea base resultante (electricidad y combustible), y proponer un plan de acción para mejorar la eficiencia energética en la institución.

II Objetivos Específicos

- ✓ Aplicar las metodologías disponibles para los proyectos del sector publico
 - a) EEPB (Eficiencia energética en edificios públicos); y
 - b) COEES (Comités de eficiencia energética del sector público).
- ✓ Completar indicadores de eficiencia energética (electricidad y combustible) relacionados con la actividad de la institución.
- ✓ Aplicar herramientas disponibles internacionalmente (normas, software, etc.) de análisis de evaluación de desempeño de eficiencia energética, que ya han sido exploradas en la EIE.
- ✓ Elaborar una lista de acciones o proyectos específicos para aprovechar las oportunidades detectadas de ahorro y de mejora de la eficiencia energética (electricidad y combustible) en los edificios del campus central de la UES.
- ✓ Completar la información producida por investigaciones anteriores realizadas en la UES.
- ✓ Integrar los estudios de eficiencia energética realizados en la Universidad de El Salvador a los planes de ahorro energéticos impulsados por Consejo Nacional de Energía (CNE)

III. Alcances

Dentro del marco mundial encaminado al establecimiento de medidas y prácticas eficientes de consumo y ahorro energético, en El Salvador también se hacen estudios y medidas respecto de este campo. Dentro de este marco la Universidad de El Salvador, específicamente desde la Escuela de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, también hace lo respectivo en el estudio del aprovechamiento de los recursos energéticos que se hacen en los edificios, tanto en los diseños eléctricos como el manejo de la electricidad de las personas que utilizan estos edificios.

El presente trabajo tiene como propósito hacer un estudio de consumo y aprovechamiento de los recursos energéticos de los edificios incluidos en las dos facturas de electricidad que afectan a la FIA, para luego proponer un proyecto de mejora de la eficiencia energética (electricidad y combustibles) de este grupo de edificios seleccionados, basado en normas internacionales como en los planes y estudios que se llevan a cabo en el país, principalmente desde el Gobierno Central de El Salvador.

IV. Definiciones, Abreviaturas y Acrónimos

I Definiciones

ASHRAE: Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración, ASHRAE. Se organiza la Sociedad con el propósito de buscar avances en las ciencias y artes de la calefacción, ventilación, aire acondicionado y refrigeración, para el beneficio del público a través de la investigación, escritura de las normas, educación continua y publicaciones.

Aislación térmica: impedir en alguna medida la transferencia de calor desde o hacia el cuerpo aislado. Los materiales de aislación térmica aprovechan en general el hecho de que el aire es un excelente aislante. Por esta razón, la gran mayoría de los materiales usados como aislantes son porosos, manteniendo el aire atrapado en su interior.

Auditoría Energética: es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio, proceso o sistema con el objetivo de comprender la energía dinámica del sistema bajo estudio. Normalmente una auditoría energética se lleva a cabo para buscar oportunidades para reducir la cantidad de energía de entrada en el sistema sin afectar negativamente la salida.

Calor: La cantidad de energía térmica que un cuerpo pierde o gana en contacto con otro a diferente temperatura recibe el nombre de calor. El calor constituye, por tanto, una medida de la energía térmica puesta en juego en los fenómenos caloríficos.

Cámara Aislante: Espacio considerado como adiabático para ayudar a reducir la transferencia de calor de áreas de altas temperaturas a áreas de bajas temperaturas.

Carga Térmica: También nombrada como carga de enfriamiento, es la cantidad de energía que se requiere vencer en un área para mantener determinadas condiciones de temperatura y humedad para una aplicación específica (ej. Confort humano).

Cargas Internas: Son consideradas como ganancias de calor desde la iluminación, equipo eléctrico y personas.

Climatización: consiste en crear unas condiciones de temperatura, humedad y limpieza del aire adecuadas para la comodidad dentro de los espacios habitados.

Coefficiente de desempeño (COP): Se calcula como la relación de la capacidad de enfriamiento en Watts entre la potencia eléctrica de entrada o consumida en Watts y es igual a $EER/3.412$ ó $EER \times 0.2931$.

Confort Térmico: Es la condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico. Es decir, el bienestar térmico del hombre en la situación bajo la cual este expresa satisfacción con el medio ambiente que lo rodea, tomando en cuenta no solamente la temperatura y la humedad propiamente dichas, sino también el movimiento del aire y la temperatura radiante.

Cortasol: Estructura saliente en la fachada de un edificio con la finalidad de bloquear la incidencia de los rayos solares.

EER (Relación de Eficiencia Energética): la relación de la capacidad de enfriamiento de la red en BTU/h con la potencia eléctrica de entrada o consumida en watts bajo condiciones de operación de diseño.

Eficiencia: funcionamiento en las condiciones nominales especificadas en los datos de placa.

Eficiencia energética: es la capacidad para usar menos energía para producir la misma cantidad de iluminación, calor, transporte y otros servicios energéticos.

Energía renovable: es la energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales.

Google SktechUp: es un programa de diseño gráfico y modelado en (3D) tres dimensiones basado en caras. Para entornos arquitectónicos, ingeniería civil, diseño industrial, GIS, videojuegos o películas.

Iluminancia (E): es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en [Lux], de manera que [1Lux = 1 Lumen/m²].

Luminaria: aparato destinado a contener las lámparas y equipos auxiliares, protegido de los agentes exteriores, conseguir un adecuado funcionamiento de los mismos, una distribución luminosa que permita un buen rendimiento luminoso para el nivel de iluminación requerido, así como una buena uniformidad de iluminación. También llamada linterna.

OpenStudio: Es un plugin desarrollado para interactuar los programas EnergyPlus y Google SketchUp, de forma tal que la modelación de edificios sea más amigable.

Plugin: Es un programa de interconexión entre programas permitiendo incrementar o aumentar las funcionalidades de un programa principal.

Simulación por computadora: Quiere decir modelar el edificio en cuanto a su estructura, carga eléctrica y térmica usando un programa por computadora para tal fin, que permita el estudio de su comportamiento con o sin cambios en el uso de las instalaciones.

Tragaluz: es una ventana situada en el techo o la parte superior de una pared utilizada para proporcionar luz a una habitación.

Tragaluz tubular: por lo general de aluminio, que permite dar luz natural a aquellas habitaciones que no pueden iluminarse mediante ventanas convencionales al exterior.

Ventilación natural: es la acción mediante la adecuada ubicación de superficies, pasos o conductos aprovechando las depresiones o sobrepresiones creadas en el edificio por el

viento, humedad, sol, convección térmica del aire o cualquier otro fenómeno sin que sea necesario aportar energía al sistema en forma de trabajo mecánico.

II Abreviaturas y Acrónimos

AA: Aire Acondicionado

AEI: International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)

ASHRAE: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. (Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración)

BTU: British thermalunit (Unidad Térmica Británica)

BTU/h: British thermalunit per hour (Unidad Térmica Británica por hora)

CFM: cubicfeet per minute (Pie Cúbicos por Minuto)

CNE: Consejo Nacional de Energía

COP: Coefficient of performance (Coeficiente de desempeño)

EE: Eficiencia Energética

EER: EnergyEfficiency Ratio (Relación de Eficiencia Energética)

HP: Horsepower (Caballos de Fuerza)

HVAC: Heating, Ventilating, and Air Conditioning (Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado)

Hz: Hertz

kW: kilowatt

kWh: kilowatt-hora

kWh/m²: Kilowatts-hora por metro cuadrado

kWh/persona: Kilowatts-hora por persona

m: Metros

SHGC: SolarHeatGainsCoefficient (Coeficiente de Ganancia de Calor Solar)

SIGET: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones

W: watt

US\$-kWh/persona: Costo kilowatts-hora por persona.

Capítulo I. Referencia Teórica.

1.1. Antecedentes de las políticas energéticas en El Salvador

A lo largo de los años, hasta hoy en día, El Salvador fue testigo de diversos acontecimientos que influyeron en el actual estado económico, político y social; entre tantos tenemos el desenvolvimiento de una “guerra civil” en los años ochenta, que dejó como resultados miles de muertos, el estancamiento del desarrollo económico, la destrucción de una buena parte de su infraestructura y la migración de miles de salvadoreños que abandonaron el país. Durante este periodo difícil que enfrentó El Salvador, los bienes de la Comisión Ejecutiva del Rio Lempa (CEL) empezaron a sufrir daños, principalmente las líneas de transmisión. A pesar de esa situación continuaron estudios y trabajos relativos en la generación hidroeléctrica, así como otras investigaciones y obras de electrificación referentes a diversas fuentes de generación. Es así como el auge de la generación de energía eléctrica fue evolucionando hasta lo que conocemos hoy en día como “El Sector Eléctrico de El Salvador”. Para comprender la influencia de las políticas energéticas desde sus inicios sobre el sector eléctrico en El Salvador, se presenta una breve historia de la evolución de la generación de energía eléctrica en el país.

1.1.1. Historia de la generación eléctrica en El Salvador

En el año de 1925, fueron presentadas las primeras propuestas para aprovechar los recursos fluviales de El Salvador, con fines de generación de energía eléctrica. Sin embargo, éstas no serían desarrolladas sino hasta varios años más tarde.¹

La evolución de la generación de energía eléctrica en El Salvador desde sus principios fue predominada por el recurso renovable “agua”, con la construcción de la primera Represa Hidroeléctrica 5 de Noviembre en 1954, mismo año en que comenzó a prestar los servicios y bajo la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Rio Lempa (CEL – creada en 1945).

Cerca de 10 años prestó los servicios la presa “5 de Noviembre” antes de que otras fuentes generadoras de energía comenzaran a surgir, incluyendo la construcción de otras presas

¹ CEL - http://www.cel.gob.sv/index.php?option=com_content&view=article&id=49&Itemid=84.

hidroeléctricas. La creación de centrales térmicas, geotérmicas, biomasas, etc., surgieron hasta crear hoy en día lo que es el Sector Eléctrico en El Salvador, en la que incluye todo lo relativo el servicio eléctrico, políticas energéticas, normativas regulatorias, etc.

A pesar de la construcción de la represa hidroeléctrica 5 de Noviembre, la entidad encargada de la generación, transmisión y distribución, CEL en ese entonces, se vio forzada en aumentar su producción de energía, pues la tarea de llevar energía eléctrica a ciertas zonas daba lugar que zonas aledañas a estas mostraran su interés por el uso de este servicio comenzando así a formar la red eléctrica en El Salvador. Sin embargo, el interés por el uso de energía no fue el único factor, el aumento de la población demográfica, el ingreso de la industria, el comercio, entre otros variables de crecimiento económicos fueron factores que dieron lugar a que la generación, transmisión y distribución marchara a un nivel que abatieran el crecimiento de la demanda. En sus primeros veinticinco años de labor (hasta 1970), CEL incorporó al patrimonio nacional las siguientes obras:

- Central Hidroeléctrica 5 de Noviembre, con capacidad total instalada de 82 megavatios.
- Central Hidroeléctrica de Guajoyo, con capacidad instalada de 15 megavatios.
- Centrales térmicas de Acajutla, con 70 megavatios de capacidad aproximada, hasta la fecha.
- Sistemas de transmisión, a 115 y 69 kilovatios, que interconectan todas las centrales generadoras y todos los centros de consumo de la República.
- Sistema de sub transmisión, que llevan el fluido eléctrico a ciudades y centros agrícolas importantes.
- Sistemas de distribución rural, que sirven a pequeñas poblaciones, industriales, agropecuarias, haciendas, granjas y comunidades campesinas.

Las centrales de generación por medio de combustible fósil y de recursos renovables llegaron a tomar posición a lo largo de los años, tanto que la generación por tipo de recurso en la actualidad es: generación hidroeléctrica (34.7%), generación geotérmica (24.7%), generación térmica (37.7%) y generación biomasa (2.9%), hasta el año 2010 los boletines estadísticos presentaban solo tres tipos de generación de mayor envergadura: hidroeléctrica, geotérmica y térmica dejando por fuera la generación biomasa, sin embargo para el año

2011 la generación biomasa ha sido incluida en las estadísticas así como lo muestra el gráfico 1.1 donde se puede apreciar la capacidad instalada y la generación neta según el tipo de recurso, mientras que el gráfico 1.2 muestra la evolución de la capacidad instalada de igual manera según el tipo de recurso. Tal como se aprecia en el gráfico se hace constar que por el año 1964 (10 años después de la construcción de la represa 5 de noviembre), otras fuentes comenzaron a surgir hasta llegar hoy en día a los distintos tipos de generación con que cuenta el salvador.

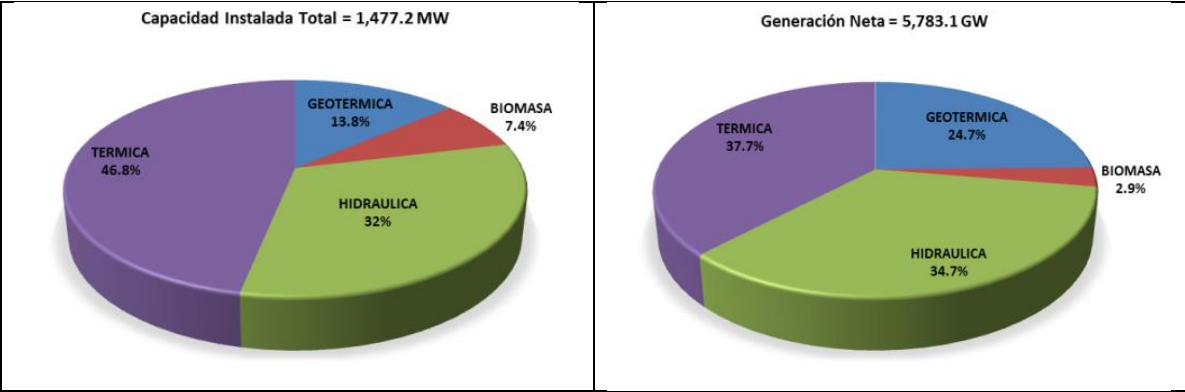


Gráfico 1. 1 Porcentajes de la capacidad instalada y la generación neta según la forma de generación de electricidad.

Fuente: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones - SIGET.

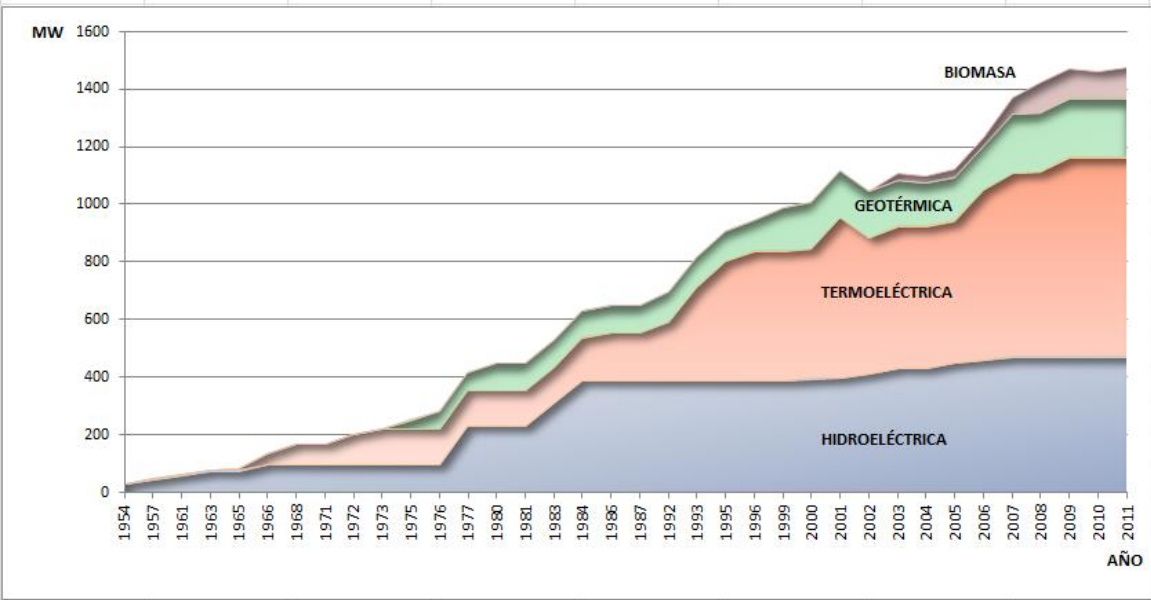


Gráfico 1. 2 Evolución de capacidad instalada en El Salvador a través de los años por tipos de recurso.

Fuente: Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones – SIGET.

Desde hace 7 años hasta hoy en día se está apostando por otras fuentes de generación a base de recursos renovables, tales como la energía solar, la energía del viento, mareomotriz, etc.

Se han realizado diversos estudios e investigaciones para la factibilidad de estos tipos de generación, de hecho, en la actualidad se han implementado diversos proyectos relacionados con la generación de energía a base de energía solar (sistemas fotovoltaicos), entre ellos tenemos Escuela Alemana (San Salvador – 20 kWp), Edificio Administrativo CEL (San Salvador – 24.57 kWp), Escuela de Ingeniería Eléctrica (UES – 2.6 kWp con futuros proyectos de ampliación), sin embargo hace falta mucho por recorrer, pues el uso de esta tecnología sigue siendo inalcanzables para muchos que desean participar en este campo, en cuanto a las entidades gubernamentales respectivas están haciendo un esfuerzo para que estos tipos de generaciones tengan más vigor, desarrollando las políticas respetivas y otras investigaciones de proyectos para dichas generaciones.

1.1.2. Aparición de las políticas energéticas

Al comienzo del auge de la generación eléctrica se dictaron los primeros pasos hacia la creación de políticas energéticas del cual crean una regulación organizada de las acciones de generación, transmisión y distribución. Fue hasta el 3 de octubre de 1945, cuando el entonces presidente General Salvador Castaneda Castro, emitió el Decreto Ejecutivo de Creación de la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), que fue publicado en el Diario Oficial No. 139 del 8 de octubre del mismo año. Durante más de 50 años, CEL fue la única empresa en El Salvador encargada de todas las actividades del sector eléctrico.

La Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET), fue creada por Decreto Legislativo No. 808 del 12 de septiembre de 1996, cuyos objetivos es la de vigilar el cumplimiento de la Ley y de aprobar las tarifas eléctricas. En 1998, Se reprivatizó la distribución de electricidad, se separaron las principales actividades de CEL formándose las empresas LAGEO (Geotérmica Salvadoreña, 1999) y ETESAL (Empresa Transmisora Salvadoreña, 1999); además se creó la Unidad de Transacciones que opera el Mercado de Contratos y el Mercado Regulador del Sistema en 1998, con las funciones de operar el sistema de transmisión, mantener la seguridad del sistema y asegurar la calidad mínima de los servicios y suministros, así como, operar el mercado mayorista de energía eléctrica.

A mediados del año 2005, a raíz de los altos precios internacionales del petróleo, el gobierno salvadoreño creó la Comisión Nacional de Emergencia, la cual estaba enfocada en

atender los altos precios del petróleo que se estaban experimentando, esto con el objetivo de analizar e impulsar medidas para minimizar los impactos que tal problemática podría generar en el país. En este sentido, dicha comisión promovió una serie de acciones específicas que estaban orientadas a conseguir que los efectos de tal problemática no fueran tan significativos. A menos de un año de haberse creado esta comisión, se reconoció que existía la necesidad de ampliar el campo de acción de la misma, lo cual implicó la creación, en el mes de julio de 2006, del Consejo Nacional de Energía (CNE), el cual estaría encargado de proponer, gestionar y contribuir con los organismos a cargo de la aprobación de estrategias energéticas para alcanzar un desarrollo socioeconómico en el país mediante la generación de energía renovable y la modificación de las pautas de consumo, y de esta forma lograr un uso eficiente de la energía en armonía con el medio ambiente. En la figura 1.1 se aprecia la estructura del sector eléctrico nacional en la actualidad.

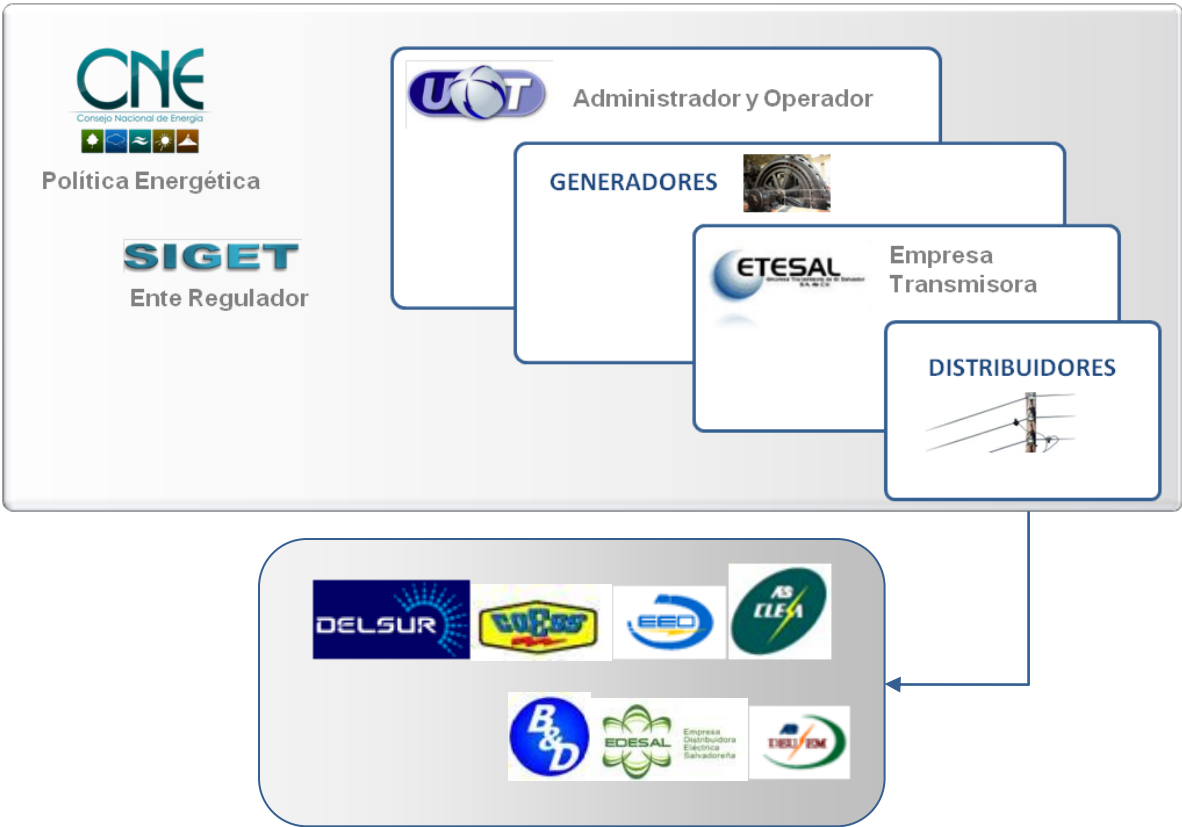


Figura 1. 1 Estructura actual del sector energético nacional.
Fuente: Consejo Nacional de Energía (CNE)

La industria de la energía eléctrica en El Salvador, se encuentra dividida en tres subsectores:

Compañías Generadoras: son las entidades poseedoras de una o más centrales de producción de energía eléctrica mediante la utilización de diversas fuentes, entre las que destacan el agua (energía hidroeléctrica), mediante el aprovechamiento del calor del interior de la tierra (energía geotérmica) y gas natural, carbón y petróleo (energía termoeléctrica), y que luego la comercializan en forma total o parcial. En el territorio salvadoreño, las empresas generadoras que participan en el mercado eléctrico mayorista son: la Comisión Ejecutiva Hidroeléctrica del Río Lempa (CEL), DukeEnergy International, LaGeo, NejapaPowerCompany, Cemento de El Salvador, Inversiones Energéticas, Textufile, Generadora Eléctrica Central, Energía Boreales, HilcasaEnergy, Compañía Azucarera Salvadoreña, Ingenio El Ángel e Ingenio La Cabaña.

Compañías Transmisoras: son las entidades poseedoras de la infraestructura destinada para la transportación de la energía eléctrica en redes de alto voltaje, las cuales conducen a la electricidad una subestación. Dichas subestaciones tienen transformadores que convierten la electricidad de alto voltaje a electricidad de menos voltaje, para luego ser distribuida en el mercado de consumidores finales. En El Salvador, la transmisión de energía en alta tensión es desarrollada por la Empresa Transmisora de El Salvador (ETESAL), quien tiene además la responsabilidad de elaborar el planeamiento de la expansión, la construcción de nuevas ampliaciones y refuerzos de la red de transmisión, así como el mantenimiento de la misma.

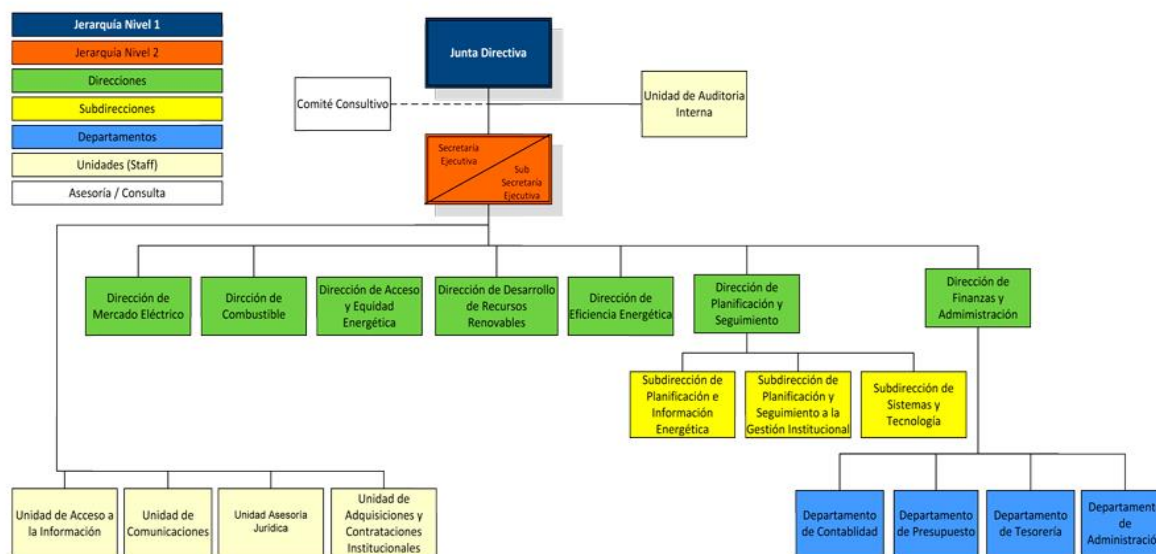
Compañías Distribuidoras: son las entidades poseedoras y al mismo tiempo operadoras de las redes e instalaciones que tienen como finalidad la conducción de energía eléctrica de bajo voltaje, y que mediante las cuales es transportada desde las subestaciones hasta los usuarios finales. La actividad de distribución en El Salvador la realizan DELSUR, S.A. de C.V.; EDESAL, S.A. de C.V.; B&D, Servicios Técnicos; ABRUZZO y el Grupo AES El Salvador, conformado por las empresas distribuidoras CAESS, S.A. de C.V.; AES-CLESA, S. en C. de C.V.; EEO, S.A. de C.V. y DEUSEM, S.A. de C.V.

1.2. Creación del Consejo Nacional de Energía

Dada la vulnerabilidad de los precios de combustibles fósil en los últimos años, ha generado la preocupación por los efectos adversos que este comportamiento pueda ocasionar, tales como la reducción en el crecimiento de la economía y el aumento de los

precios de los productos de consumo y de los servicios básicos. Situación que ha hecho necesaria la puesta en marcha de acciones para mitigar los efectos antes indicados y proponer medidas dirigidas al uso racional de la energía y el desarrollo de fuentes energéticas alternativas en el mediano plazo.

Ante el contexto energético antes señalado, en agosto de 2007, la Asamblea Legislativa aprobó la Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía (CNE), como la autoridad superior, rectora y normativa en materia de Política Energética y como coordinadora de los distintos sectores del sector energético. Con la creación y puesta en marcha del Consejo Nacional de Energía se establece una solución institucional para, unificar los aspectos relacionados con la formulación y coordinación de la política energética nacional, buscando una visión integrada del tema energético en el país, elaborar además un sistema de información energética para la toma de decisiones de política sectorial, elaboración del Balance Energético Nacional y promoción de la aprobación de leyes y reglamentos propios del sector energético, entre otros. Una estructura organizativa del CNE se puede apreciar en la figura 1.2.



APROBADA EN SESION DE JUNTA DIRECTIVA DEL 9 DE ENERO DE 2012, SEGÚN ACTA No. 1

Figura 1. 2 Estructura Organizativa del Consejo Nacional de Energía.

Fuente: Consejo Nacional de Energía (CNE).

El CNE ha iniciado funciones en agosto de 2009 y para cumplir su misión de ser el Ente Rector de la Política Energética Nacional debe contar con los recursos tecnológicos adecuados para el logro de los establecidos en su marco legal.

1.2.1. Filosofía del Consejo Nacional de Energía

Visión Ser reconocida como la institución rectora de la política energética de El Salvador y como referente a nivel regional e internacional por su capacidad innovadora, solidez y calidad profesional.

Misión Establecer e impulsar una política y estrategia energética que contribuya con el desarrollo sustentable de El Salvador.

Valores

- Transparencia** Procedemos con honestidad, rendimos cuentas sobre nuestras actuaciones y promovemos el ejercicio de la contraloría ciudadana.
- **Compromiso y responsabilidad** Buscamos ante todo el bien común y asumimos nuestro trabajo con plena conciencia y sentido del deber.
- **Excelencia** En todo lo que hacemos buscamos el máximo nivel eficiencia, eficacia y calidad.
- **Innovación** Resolvemos nuestros desafíos con ingenio y creatividad.
- **Equidad** Asumimos las diferencias entre las personas y promovemos que todas y todos tengan acceso a oportunidades y beneficios sin discriminación alguna.

Objetivos Estratégicos:

Diseñar e impulsar en consulta con los actores claves, una *Política Nacional de Energía (PNE)* orientada a diversificar la matriz energética del país, con énfasis en las energías renovables.

Fortalecer el rol del Estado, promoviendo un marco regulatorio e

- institucional, que permitan la adecuada implementación de la Política Nacional de Energía (PNE) y sus estrategias.

Propiciar una nueva cultura en la ciudadanía, el Estado y las empresas, de manera que asuman el uso racional y eficiente de la energía.

- *Desarrollar y consolidar la institucionalidad del CNE* como ente rector de la política energética nacional.

1.2.2. Principios, fundamentos y objetivos de la Política Energética Nacional

Los principios que fundamentan y sirven de sustento a la Política Energética Nacional definen la profundidad y el alcance de la misma y son los siguientes:

- La energía es un bien de utilidad pública por lo que el Estado debe garantizar que toda la población tenga acceso y pueda hacer uso de ésta.
- La Política Energética constituye una especificación particular de la política nacional de desarrollo, que se ha definido conscientemente como “sustentable”, definiendo al desarrollo sustentable como “un desarrollo que satisface las necesidades del presente sin menoscabar la capacidad de las futuras generaciones de satisfacer sus propias necesidades”, lo cual se refleja en cuatro diferentes planos: social, económico, ambiental y político.
- Esta Política Energética es un emprendimiento de mediano y largo plazo que debe desarrollarse en situaciones de poder compartido; en consecuencia, la construcción de su viabilidad debe inscribirse en esa estrategia de país en la que deben concurrir con sus correspondientes funciones el Estado y la inversión privada.

Se han desarrollado cuatro grandes objetivos generales, los cuales consideran los desafíos y los principios de la Política Energética Nacional de El Salvador:

- Garantizar un abastecimiento de energía oportuno, continuo, de calidad, generalizado y a precios razonables a toda la población.
- Recuperar el papel del Estado en el desarrollo del sector energético, fortaleciendo el marco institucional y legal que promueva, oriente y regule el desarrollo del mismo, superando los vacíos y debilidades existentes que impiden la protección legal de las personas usuarias de estos servicios.
- Reducir la dependencia energética del petróleo y sus productos derivados, fomentando las fuentes de energía renovables, la cultura de uso racional de la energía y la innovación tecnológica.
- Minimizar los impactos ambientales y sociales de los proyectos energéticos, así como aquellos que propician el cambio climático.

1.2.3. Líneas Estratégicas de la Política Energética Nacional

Las líneas estratégicas de la Política Energética Nacional dan solución a los desafíos previamente planteados y consideran un proceso de consulta a los principales actores del sector energético. Los lineamientos que se han integrado en seis grandes grupos con una fuerte interrelación entre sí son los siguientes:

1. Diversificación de la Matriz Energética y Fomento a las Fuentes Renovables de Energía. Con el objetivo de impulsar la diversificación de la matriz energética nacional, promoviendo e incentivando el uso de Fuentes de **Energía Renovables** y la incorporación de nuevos **combustibles** en los subsectores de electricidad e hidrocarburos, reduciendo progresivamente la dependencia del petróleo y sus derivados.

2. Fortalecimiento de la Institucionalidad del Sector Energético y Protección al Usuario. En función de: a)-Recuperar el papel del Estado en el desarrollo del sector energético, fortaleciendo el marco institucional y legal que promueva, oriente y regule el desarrollo del mismo, superando los vacíos y debilidades existentes que impiden la protección legal de las personas usuarias de estos servicios. b)-Fortalecer el funcionamiento

del Consejo Nacional de Energía y desarrollar el papel estratégico que debe cumplir en función del desarrollo energético del país.

3. Promoción de una Cultura de Eficiencia y Ahorro Energético. Con el objetivo de promover el ahorro y uso adecuado de los recursos energéticos, incentivando el uso de tecnologías más eficientes en el sector público, el comercio, la industria, los servicios y el hogar, así como en el sector transporte, a través de normativas, incentivos y promoción educativa del **ahorro energético**, buscando disminuir la emisión de gases de efecto invernadero.

4. Ampliación de Cobertura y Tarifas Sociales Preferentes. Teniendo como finalidades: a) Propiciar el acceso a las diferentes formas de energía a toda la población, priorizando en las zonas rurales de difícil acceso y de menores Índices de Desarrollo Humano con la inversión en sistemas alternativos y renovables. b) Garantizar la focalización de los subsidios, particularmente los dirigidos al consumo doméstico de las familias de escasos recursos.

5. Innovación y Desarrollo Tecnológico. Con el interés de impulsar la investigación y desarrollo (I+D) de tecnologías energéticas, especialmente las tecnologías limpias, con participación de universidades, centros de investigación, la empresa privada, organismos Internacionales y otros grupos, fomentando el intercambio y la transferencia de tecnología y conocimiento con diferentes países de América Latina y el Mundo, con el fin de proporcionar soluciones reales e innovadoras a la problemática del sector energético y contribuir con el desarrollo sostenible del país en dicho sector.

6. Integración Energética Regional. Bajo el objetivo de impulsar y apoyar la integración de los mercados energéticos a fin de disponer de fuentes energéticas diversificadas y a menor costo.

1.3. Antecedentes de Estudios de Eficiencia Energética en El Salvador

Con la creación del CNE y las políticas energéticas, y bajo el reflejo del consumo de energía a nivel nacional y los costos que estos representan, se impulsaron los proyectos pilotos para promover los Comités de Eficiencia Energética (año 2010) en diferentes

instituciones públicas quienes propondrán, ejecutarán y darán seguimiento con tiempos específicos a las acciones identificadas y determinarán metas de ahorro energético en cada institución, tomando en cuenta los costos que estas metas implican.

Las instituciones públicas involucradas para estos proyectos son: Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN); Defensoría del Consumidor (DC); Ministerio de Economía (MINEC); Ministerio de Obras Públicas (MOP); Secretaría Técnica de la Presidencia (STP); el Ministerio de Hacienda (MH), y el propio Consejo Nacional de Energía (CNE).

La estructura que el comité debe de tener se presenta en la figura 1.3, la integración de las diferentes áreas permite la correcta funcionalidad de este. Las funciones que los comités deben seguir a través de las diferentes áreas, son:

- Realizar campañas internas de información y concientización sobre el tema de eficiencia energética,
- La divulgación del programa dentro de las instalaciones,
- Evaluar la factibilidad de modificar infraestructura y espacios con técnicas de bioclimática,
- Sugerir la compra de equipos y maquinaria eficiente, y,
- El monitoreo permanente de los indicadores de ahorro del gasto energético que se hayan contemplado.

Entre los principales beneficios que se espera obtener con el impulso del Comité Energético es lograr un cambio cultural hacia un uso más eficiente de la energía entre los funcionarios que permita a un mediano plazo una reducción del gasto público con el fin de rentabilizar mejor los recursos de la institución.

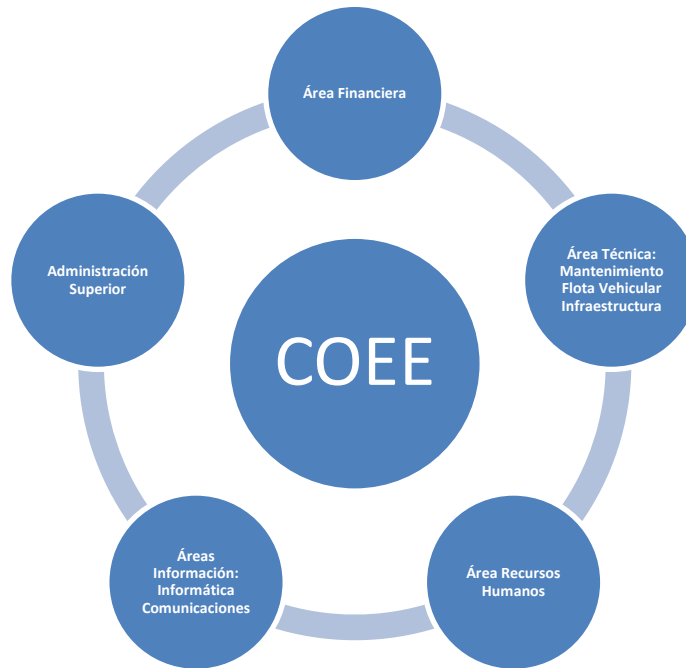


Figura 1. 3 Conformación y nombramiento de los miembros de los comités.
Fuente: Consejo Nacional de Energía (CNE).

Hay que recordar que una de las funcionalidades del CNE es dar seguimiento a los estudios de EE de las instituciones que son participe, para ello se debe establecer un mecanismo de comunicación para que los COEE's reporten la información energética e ir generando Estadísticas Energéticas del Sector Público.

1.4. Estudios preliminares de Eficiencia Energética en la Universidad de El Salvador

En la universidad de el salvador se han realizado estudios sobre eficiencia energética, dos de ellos siguen la misma metodología que este trabajo de graduación, por lo que nos enfocaremos en ellos. Uno se denomina Aplicación de simuladores de Energía, que trata sobre el uso de simuladores de carga térmica y consumo eléctrico, específicamente el uso de EnergyPlus, aplicado a la Escuela de Ingeniería Eléctrica. El otro se llama Eficiencia Energética en edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador y se basa en el estudio y análisis de consumo energético que se presentan en los edificios que conforman esta Facultad.

A continuación se presentan de forma compacta los resultados obtenidos en estos estudios.

1.4.1. Resultados obtenidos en el trabajo de graduación Aplicación de Simuladores de Energía.

Este trabajo de graduación tenía como objetivo principal la familiarización con simuladores de energía, principalmente EnergyPlus², por medio del estudio de carga térmica y consumo eléctrico del edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

Este trabajo se enfoca en el uso de EnergyPlus por ser una herramienta de simulación bastante completa para el análisis de carga térmica y consumo eléctrico de edificaciones, ya sea en diseño o en edificios en operación, como es el caso de este y otros estudios de eficiencia energética.

El levantamiento de edificios a través de EnergyPlus se hace de una forma más fácil y amigable mediante el uso de Google SketchUp, mediante el pluginOpenStudio. Este plugin es importante ya que permite crear una geometría del edificio: agregar las zonas, dibujar las superficies de transferencia de calor, dibujar las ventanas y las puertas, dibujar las superficies de sombreado, etc.

En la figura 1.1 se muestra la geometría total del Edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, con todas las superficies y sub-superficies, así como sus zonas.

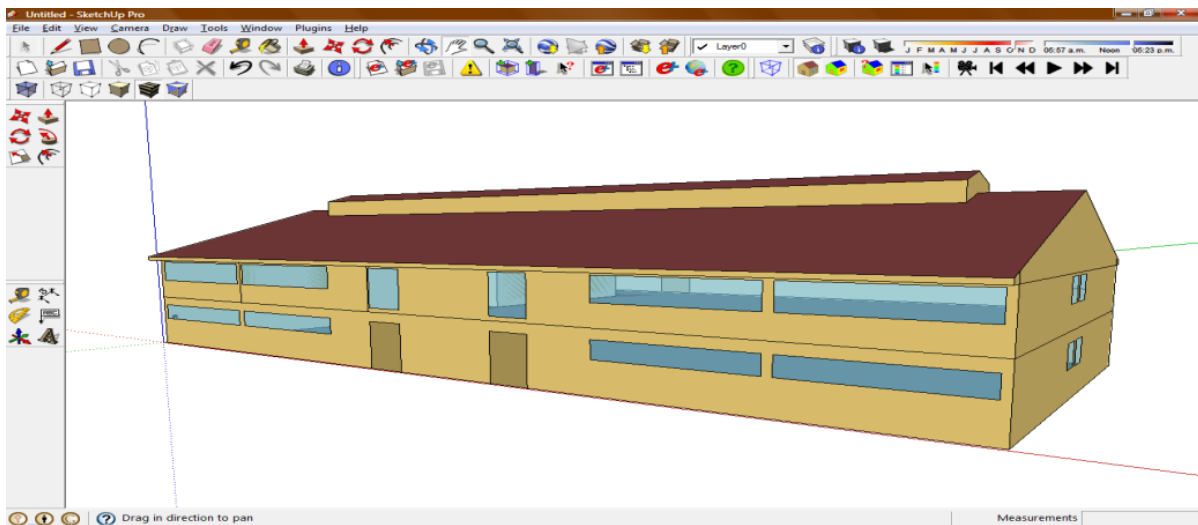


Figura 1. 4 Geometría Total en SketchUp

La figura 1.5 se presenta el desglose de todas las zonas identificadas en el edificio de la escuela de eléctrica, aplicando el concepto de zonificación.

1.4.1.1 Comparación entre Resultados Simulados y Medidos.

El error porcentual entre los resultados simulados con respecto a los medidos es el que se presenta en la tabla 1.1, así mismo en el gráfico 1.3, se grafican ambas en un mismo sistema de coordenadas para observar la diferencia entre las potencias eléctricas (perfiles de carga).

² Para más información sobre EnergyPlus ver el anexo

	Potencia Eléctrica Simulada con EnergyPlus [W]	Potencia Eléctrica Medida con Analizador de Energía marca FLUKE 434 [W]	% Error
Lunes	47,583.52	49,091.15	-3.07
Martes	78,975.86	84,425.99	-6.46
Miércoles	96,588.92	98,991.50	-2.43
Jueves	109,811.32	114,635.93	-4.21
Viernes	135,807.07	103,172.34	31.63
Lunes	57,473.16	42,213.00	36.15
Total	526,239.84	492,529.90	6.84

Tabla 1. 1. Diferencia y el error porcentual entre los resultados medidos con respecto a los simulados

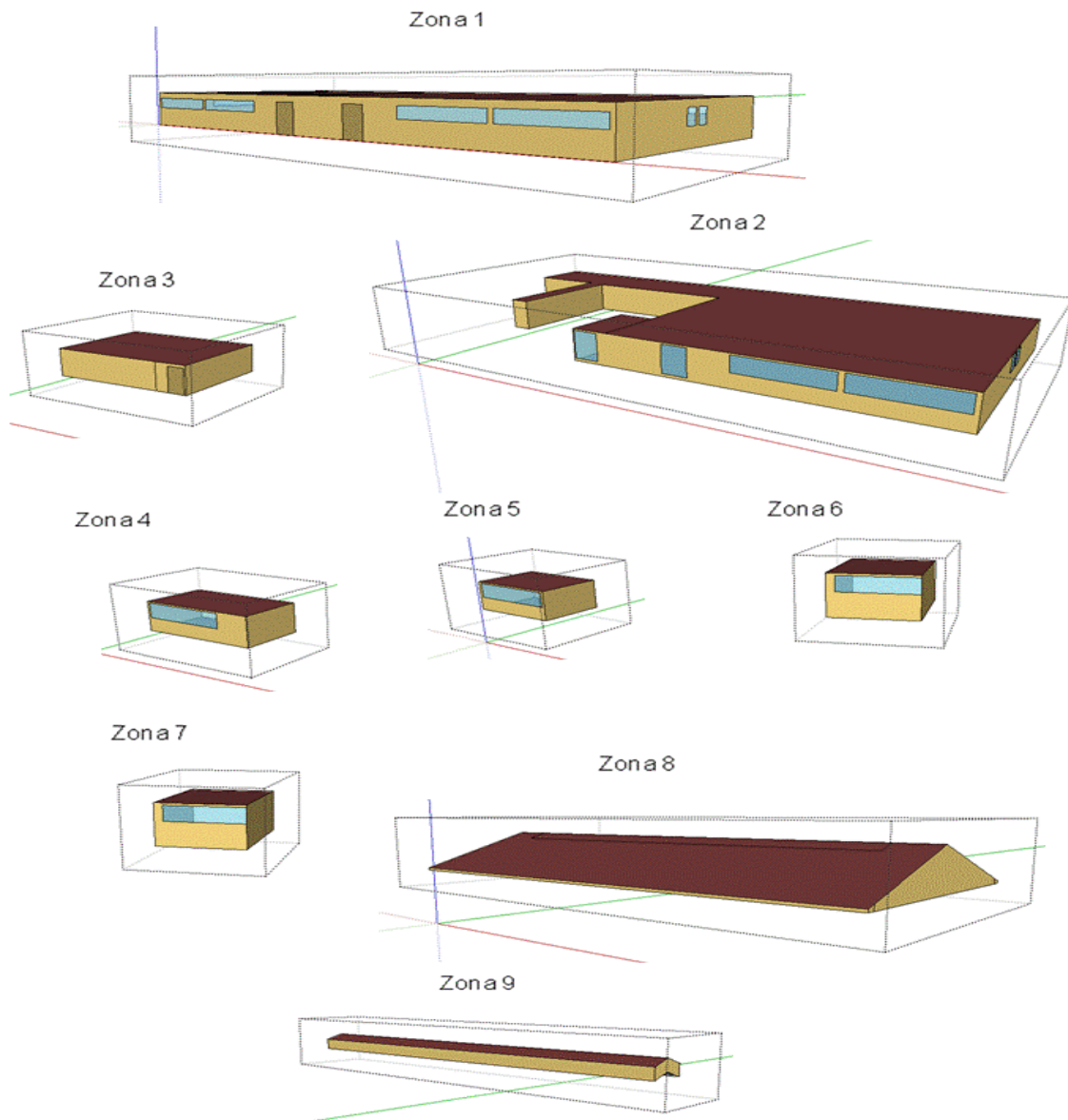


Figura 1. 5 Zonificación del edificio según modelo

1.4.2. Resultados obtenidos en el trabajo de graduación Eficiencia Energética en edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Este es otro de los trabajos de graduación que utiliza EnergyPlus para el estudio de eficiencia energética, y que es tomado como referencia en este trabajo de graduación. Al igual que el descrito anteriormente (Ver sección 1.4.1), este trabajo de graduación es una base para completar estudios en el Campus de la Universidad.

Este trabajo sigue la misma línea del uso de EnergyPlus para el estudio de eficiencia energética esta vez, aplicado a los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura.

A continuación se presentan los resultados más relevantes que se obtuvieron en este trabajo de graduación.

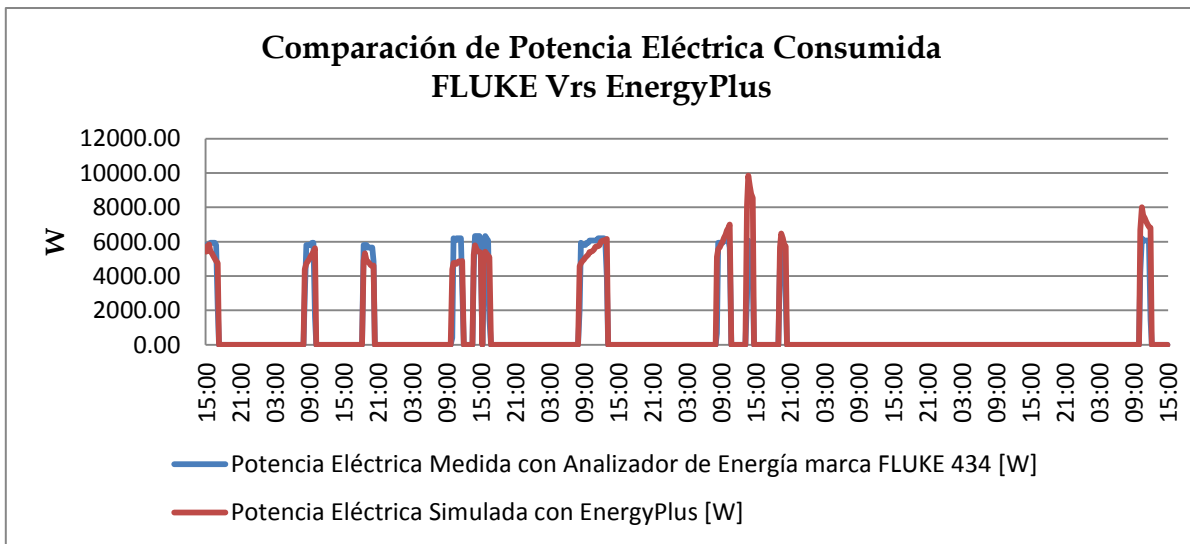


Gráfico 1. 3. Comparación de la Potencia Eléctrica Consumida Semanal entre el FLUKE y EnergyPlus

1.4.2.1. Edificios seleccionados para el estudio.

Los edificios a estudiar pertenecen a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la UES, los cuales se encuentran conectados por dos medidores de energía para la facturación. Estos edificios se mencionan a continuación:

- Administración Académica
- Biblioteca
- Escuela de Ingeniería Eléctrica
- Edificio de las Escuelas de Ingeniería Industrial e Ingeniería en Sistemas Informáticos

- Unidad de Ciencias Básicas
- Centro de Investigaciones Nucleares
- Edificios de Aulas B, C y D (Escuela de Arquitectura)
- Edificios de las Escuelas de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Química

1.4.2.2. Perfiles de carga de edificios seleccionados.

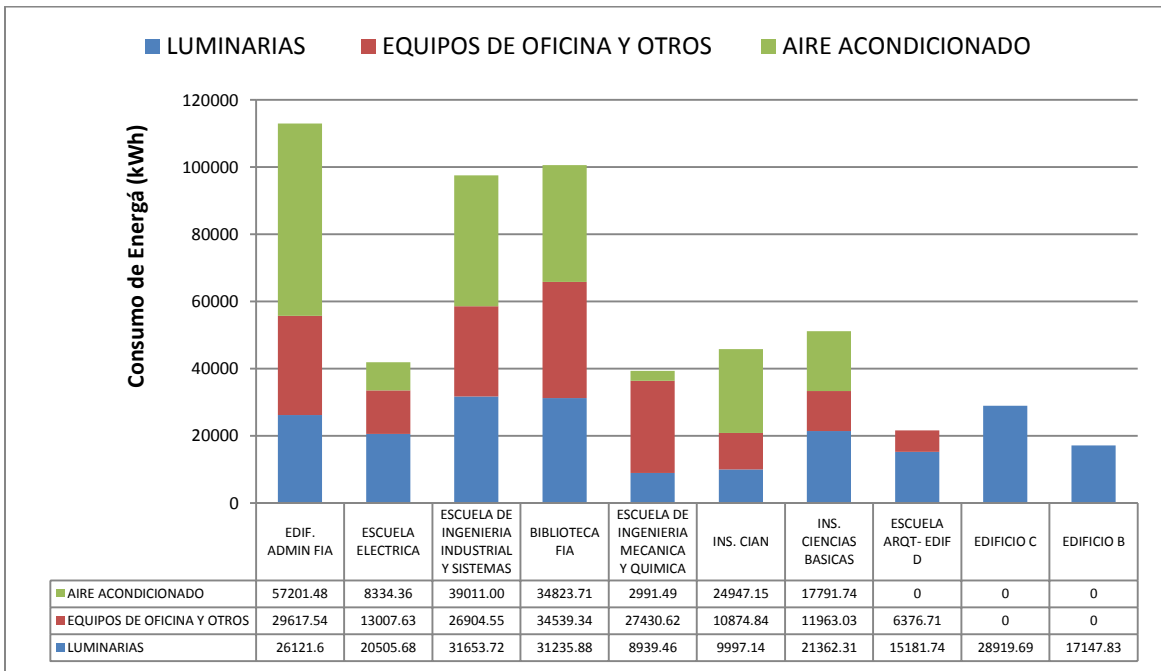
Seguidamente se presentan los resultados y condiciones para los perfiles de carga consumidos, así como de costos incurridos anuales para todos los edificios de la FIA. En el gráfico 1.4 encontramos el perfil de consumo de energía anual para cada rubro energético en cada uno de los edificios de la FIA, en este caso también se utiliza el indicador de consumo energético por unidad de superficie construida. En el gráfico 1.5 se puede ver estos mismos rubros como porcentajes de la máxima demanda. Los rubros a tomar en cuenta son Luminarias, Equipos de Aire Acondicionado y Equipos de oficina y otros consumidores de energía.

1.4.2.3. Modelo de Ahorro de Energía.

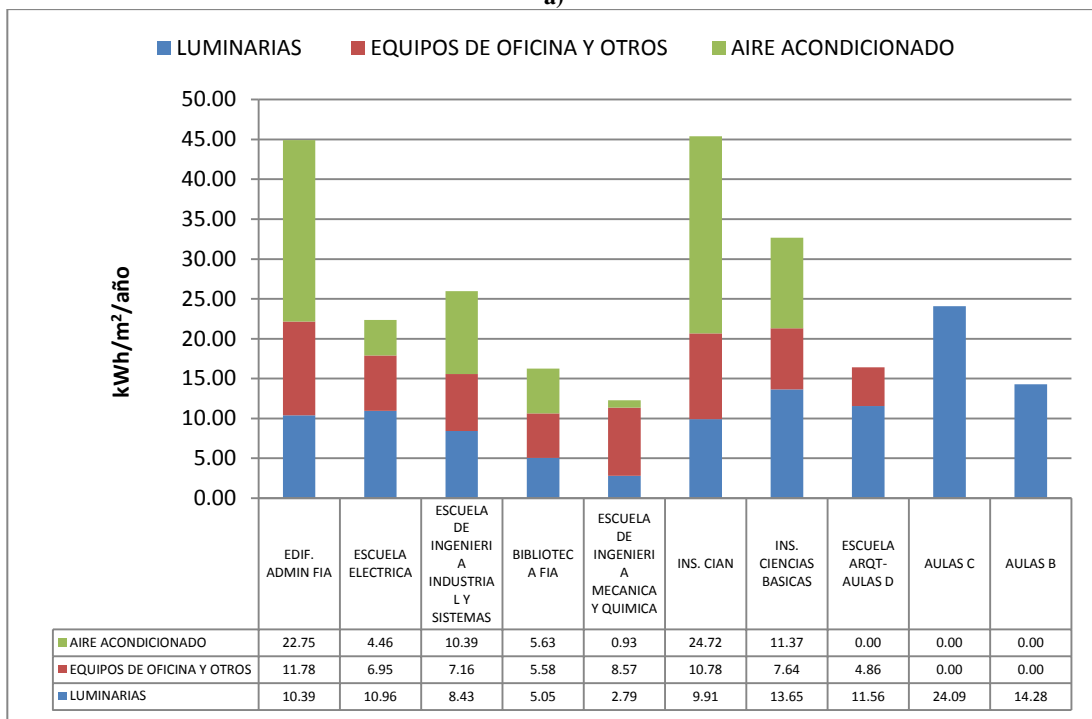
En esta sección se hizo notar la importancia de la aplicación de medidas que permitan el ahorro energético y con ello el costo por pago de facturas, utilizando nuevamente las simulaciones con el programa EnergyPlus. Esto es lo que ha denominado como Modelo de bajo consumo de energía.

Son tres las medidas que se aplican a los edificios analizados, la primera se denomina hábitos de ahorro energéticos, la cual consiste en cambiar las actitudes de las personas ante el despilfarro y desperdicio en el uso de la electricidad. La segunda medida es el acondicionamiento ambiental interno, que incluye reparación, sustitución o eliminación de equipos de Aire Acondicionado, instalación de ventiladores, cortasoles, aislación térmica, escapes de calor entre el cielo falso y el techo y la ventilación natural. Como tercera medida tenemos la iluminación, que incluye cambio de luminarias T12 a T08, distribución eficiente de luminarias, colocación de tragaluces. Al final se obtiene la combinación de estas para evaluar los resultados.

Estos resultados son graficados también de una forma normalizada para observar de mejor manera el comportamiento de las medidas. Ver gráfico 1.6.



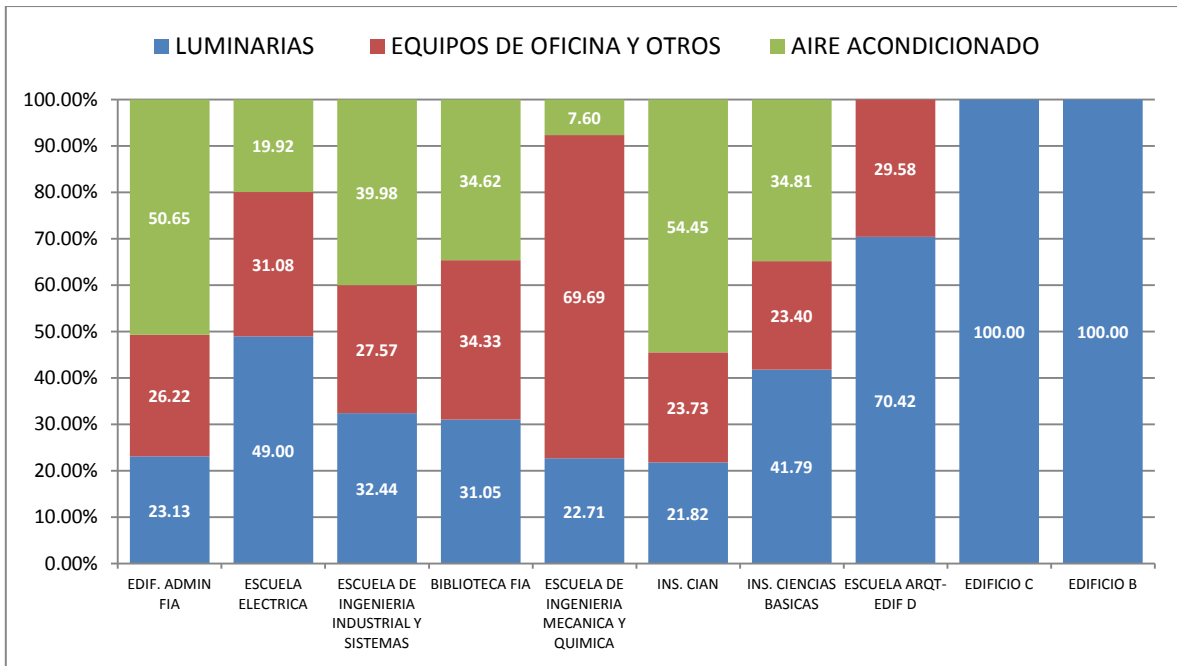
a)



b)

Gráfico 1. 4. Perfil de consumos de energía anuales por cada una de los rubros energéticos y para cada uno de los edificios en estudio.

a) Consumo de energía (kWh/año), b) Consumo de energía por superficie construida (kWh/m²/año). (Datos obtenidos de simulación)



**Gráfico 1. 5. Perfil de porcentajes de la máxima demanda de potencia por variables energéticas para cada uno de los edificios.
(Obtenidos de Simulación)**

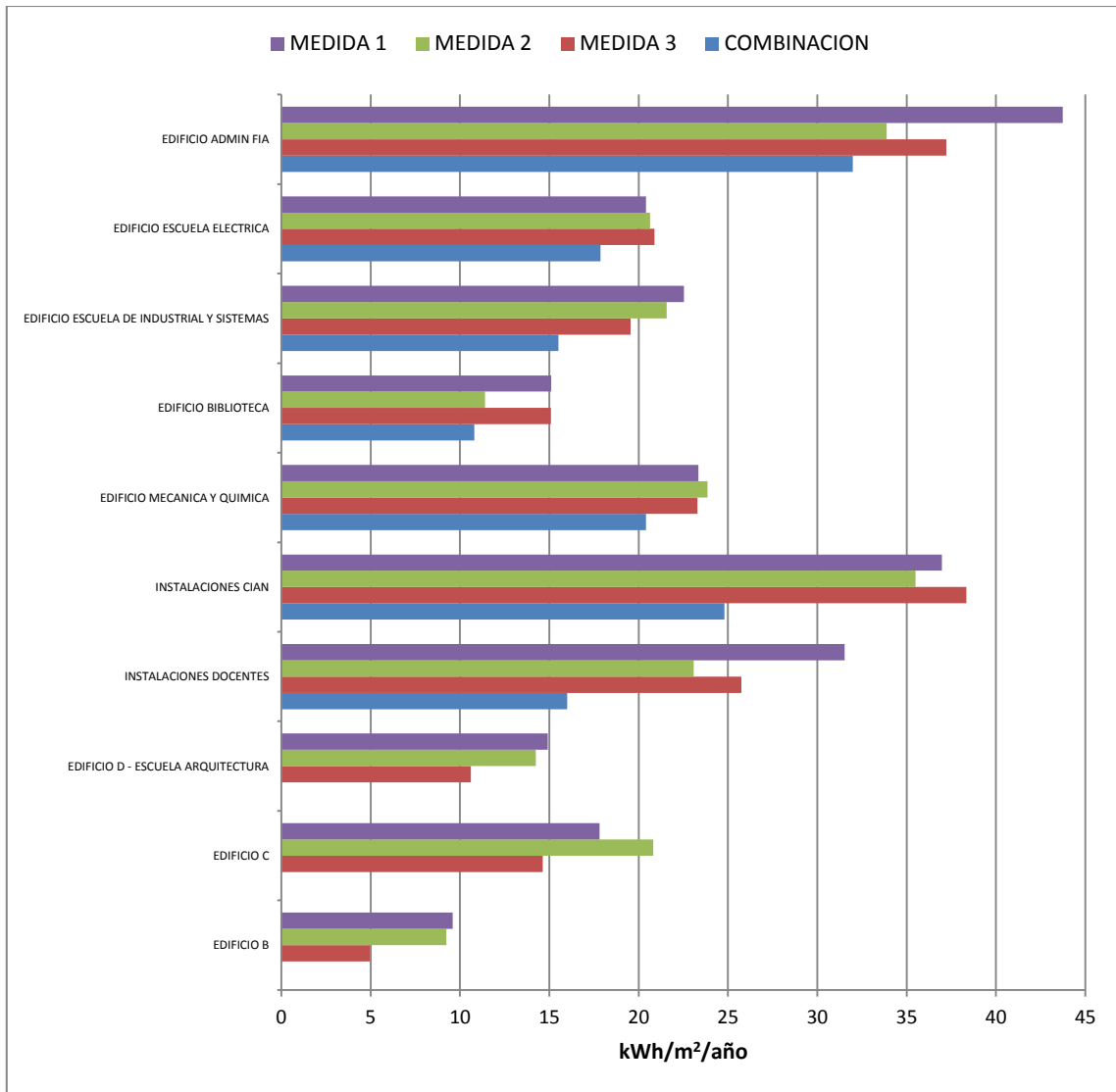


Gráfico 1. 6. Resultados previos del consumo de energía por superficie cuadrada anual de las medidas aplicadas y la combinación de ellas según cada edificio.

1.4.2.4. Análisis y Evaluación de los Modelos.

El gráfico 1.7 presenta el consumo de energía por área construida de edificio, se grafica este indicador para posibilitar la comparación y comprensión del rendimiento entre medidas aplicadas y entre infraestructuras que fueron objeto de análisis.

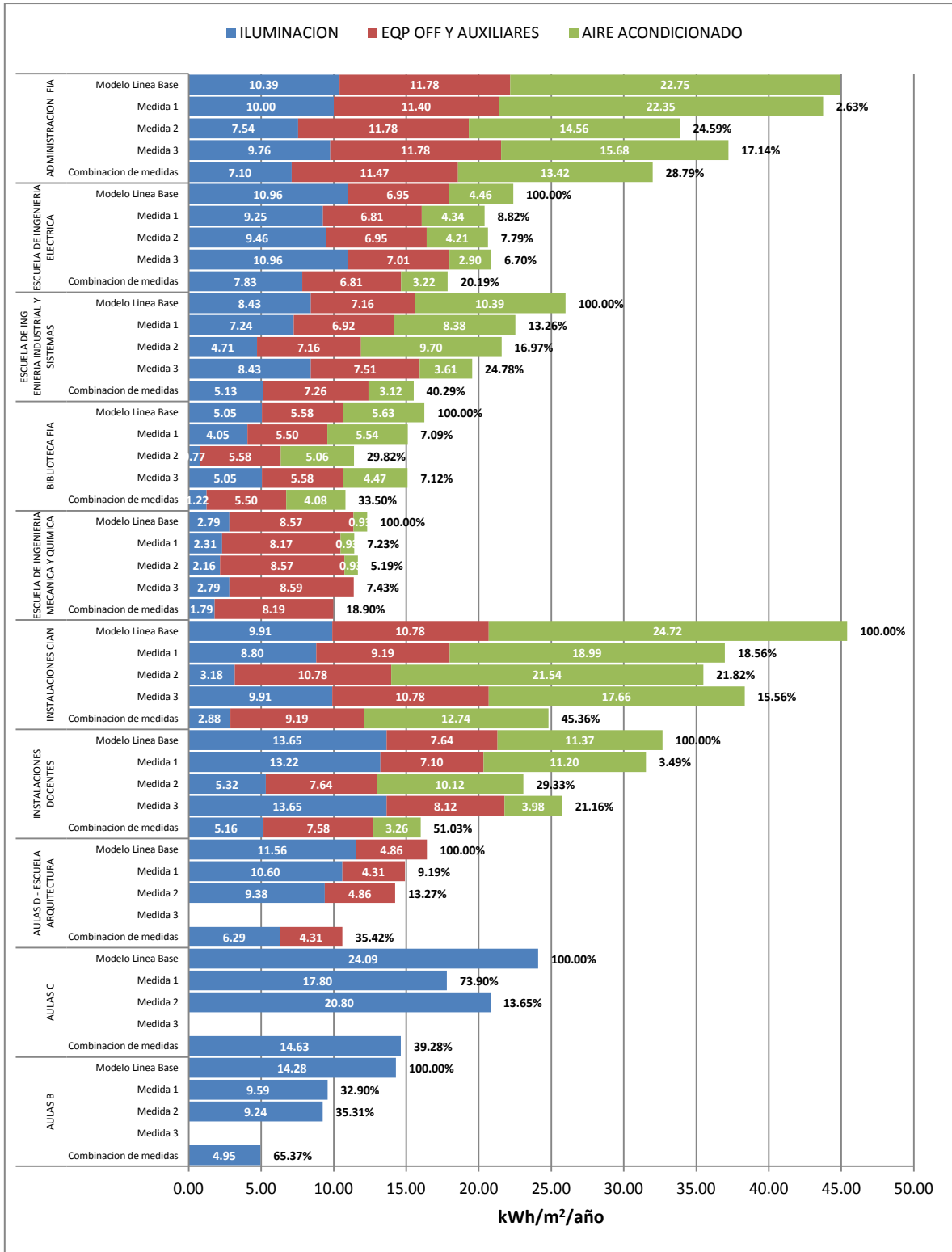


Gráfico 1.7. Comparación del indicador consumo de energía por superficie cuadrada anual para cada medida y combinación de ellas de cada edificio en estudio.

En el gráfico 1.8 se observa la reducción de las medidas aplicadas en porcentaje y la combinación de éstas para cada edificio.

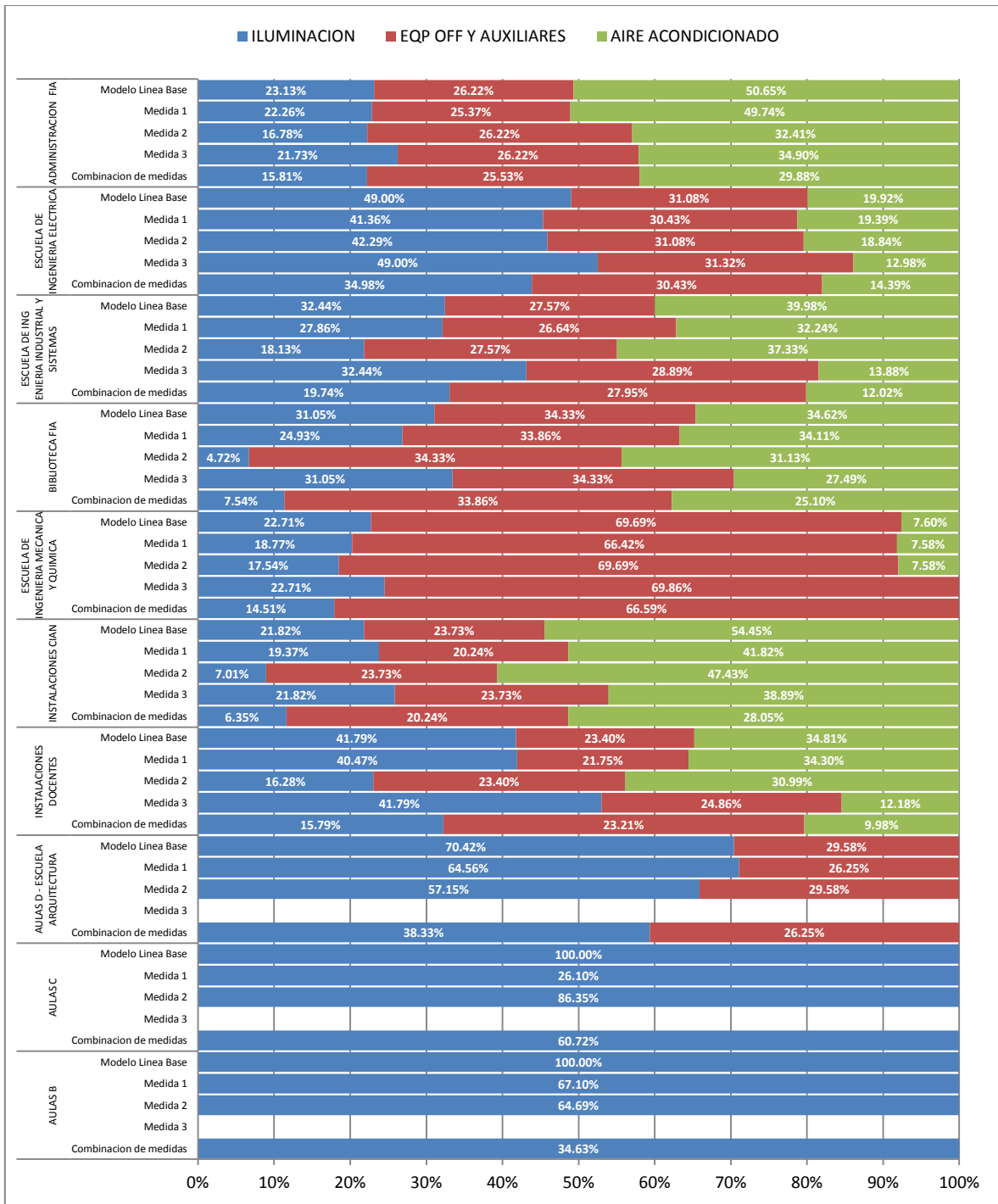


Gráfico 1.8. Reducción en porcentaje de las medidas aplicadas y la combinación de estas para cada edificio. También representa el porcentaje de aportación por rubro.

CapítuloII. Situación energética actual de la UES.

Un estudio de eficiencia energética debe contener tanto un análisis de consumo de energía eléctrica como un análisis de consumo de combustible, por lo que debe de analizarse el consumo de estos servicios y así tener una percepción del comportamiento de demanda o consumo de las instalaciones.

En este capítulo se describe la situación energética de la UES esto se refiere al estudio de las facturas eléctricas tanto mensual como anual, esto consiste en un análisis detallado de dichas facturas para poder detectar cualquier anomalía en el comportamiento de las tendencias de consumo y demanda de energía. En lo que respecta a un análisis de combustible no se llevó a cabo dado que la institución no lleva un registro adecuado (ver sección Análisis de Facturas de Combustible).

También así se enuncian los aspectos importantes a tener en cuenta en la selección de los edificios a los que se les hará el estudio de eficiencia energética, del mismo modo se listan las detecciones de oportunidades de ahorro que se pudieron apreciar cuando se realizaron las respectivas visitas a los edificios seleccionados, que son puntos importantes con los cuales se puede conseguir ahorro energético.

2.1. Análisis de facturación.

Con el análisis de la facturas se pretende determinar si la institución está contratando los parámetros óptimos de energía eléctrica que ofrecen las distribuidoras, lo cual llevaría a generar ahorro económico.

Al realizar un estudio estadístico de consumo se puede determinar si existen problemas, demandas elevadas, o elaborar índices de comparación para tomar medidas de corrección que conlleven a tener ahorros en el consumo de energía y por ende ahorros económicos.

2.1.1. Facturas de Consumo Eléctrico.

Las facturas analizadas en este trabajo corresponden a los medidores descritos en la tabla 2.1 con sus ubicaciones correspondientes.

El tiempo de adquisición y análisis de facturas eléctricas es del año 2009 al 2011, que es el periodo necesario para poder obtener una percepción clara del comportamiento de consumo de energía eléctrica que tiene la UES, cabe destacar que como mínimo de solicitud de facturas debe de ser no menor de tres años.

N^o. Contrato	N^o. Medidor	Tipo de Medidor	Potencia Contratada	Dirección del Suministro
2500671	FTE. ANDA (95203319)	GD2 - MT con Medición Horario. CAESS	258.00kW	Av. Don Bosco Fte. Edificio Alas Tobar, Aulas Facultad Ciencias Económicas U E S - Sector Noroeste. fteANDA
2500672	MEDICINA (95271914)	GD2 - MT con Medición Horario. CAESS	80.00kW	Av. Don Bosco Fte. Edificio Alas Tobar, Aulas Facultad Ciencias Económicas FACULTAD DE MEDICINA
2500673	AGRONOMÍA (95203324)	GD2 - MT con Medición Horario. CAESS	542.40kW	Av. Don Bosco Fte. Edificio Alas Tobar, Aulas Facultad Ciencias Económicas UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR- FAC. AGRONOMIA
2500674	INGENIERÍA-FOSA (95888646)	GD2 - MT con Medición Horario. CAESS	168.00kW	Av. Don Bosco Fte. Edificio Alas Tobar, Aulas Facultad Ciencias Económicas FACULTAD DE INGENIERIA-FTE. COMUN. LA FOSA
2501343	DERECHO (00749315)	GD2 - MT con Medición Horario. CAESS	51.00kW	Av. Don Bosco Fte. Edificio Alas Tobar, Aulas Facultad Ciencias Económicas FACULTAD DE DERECHO
5050160	COMPLEJO - FIA (95293325)	GD2 - MT con Medición Horario. CAESS	99.00kW	Av. Don Bosco Fte. Edificio Alas Tobar, Aulas Facultad Ciencias Económicas COMPLEJO DEPTVO ENT FAC INGRIA Y ARQ
5068525	ECONOMÍA – ADMON (95112906)	G - General CAESS	10.00kW	Av. Don Bosco Fte. Edificio Alas Tobar, Aulas Facultad Ciencias Económicas FAC CC ECONOM, ESC ADMON EMPRESAS
5076737	ADMON - ODONTOLOGÍA (95597649)	G - General CAESS	10.00kW	25 Av. Norte, Cabaña, Admon. Odontología. CABAÑAS ADMINISTRACION FAC.ODONTOLOGIA

Tabla 2. 1. Lista de medidores instalados en las acometidas de la UES, con su respectiva ubicación.
Fuente: Facturas Eléctricas de la UES.

Teniendo las facturas eléctricas, las principales variables a analizar son:

- ✓ Tarifas del periodo.
- ✓ Periodo facturado.
- ✓ Demanda facturada (kW)
- ✓ Energía Consumida (kWh)
- ✓ Factor de potencia.

El conjunto de datos de estas variables mencionadas anteriormente se anotaran y analizaran en una hoja de cálculo para así poder graficarlos y poder ver la tendencia de consumo de energía eléctrica.

2.1.2. Análisis de Facturas Eléctricas año 2009.

Registrando los datos de facturación del año en estudio, se puede comparar que instalaciones presentan mayor consumo y costos de energía del total facturado a la UES. El gráfico 2.1, muestra los porcentajes decargos atribuidos a la facturación. Obsérvese que el medidor identificado como Facultad Agronomía (No. de contrato 2500673) presenta un 44% del total de cargos facturados a la UES. En el Anexo se muestran las tablas que contienen detalladamente los cargos mensuales y anuales para el año 2009 por si el lector quiere comprobar dichos valores.

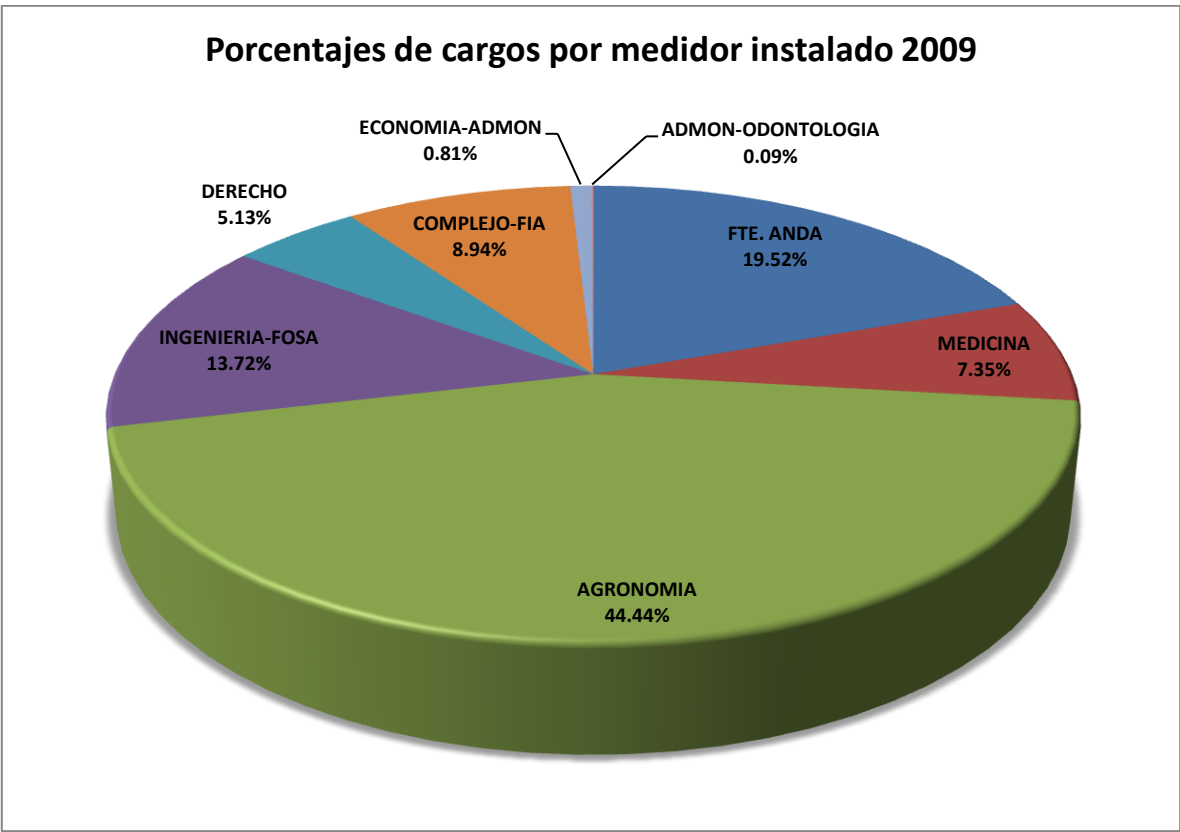


Gráfico 2. 1Porcentaje de contribución de cada medidor instalado en la UES año 2009.
Fuente: Facturas Eléctricas de la UES.

Aunque el medidor instalado en la entrada de la facultad de agronomía posee el mayor porcentaje de facturación cabe mencionar que no necesariamente se refiera a las

instalaciones de dicha facultad pues este medidor puede estar censando otros edificios según la distribución eléctrica de este sector.

En el gráfico 2.2 podemos ver la tendencia en el consumo, demanda y costo económico que tuvo la UES para el año en análisis, destacando varios puntos.

En primer lugar podemos decir que el mayor consumo registrado para la UES fue en el mes de octubre con 510,502.87kWh y un costo de \$84,715.89, este hecho se puede deber a que hubo un mayor uso de las instalaciones en cuanto a los recursos que se disponen. Para el mes de Mayo se facturó un costo de \$91,433.57 con un consumo de 501,895.96kWh, tal elevado costo puede haber ocurrido debido a las variaciones del precio del servicio de energía eléctrica, es decir, durante este periodo se produjo un aumento en las tarifas eléctricas.

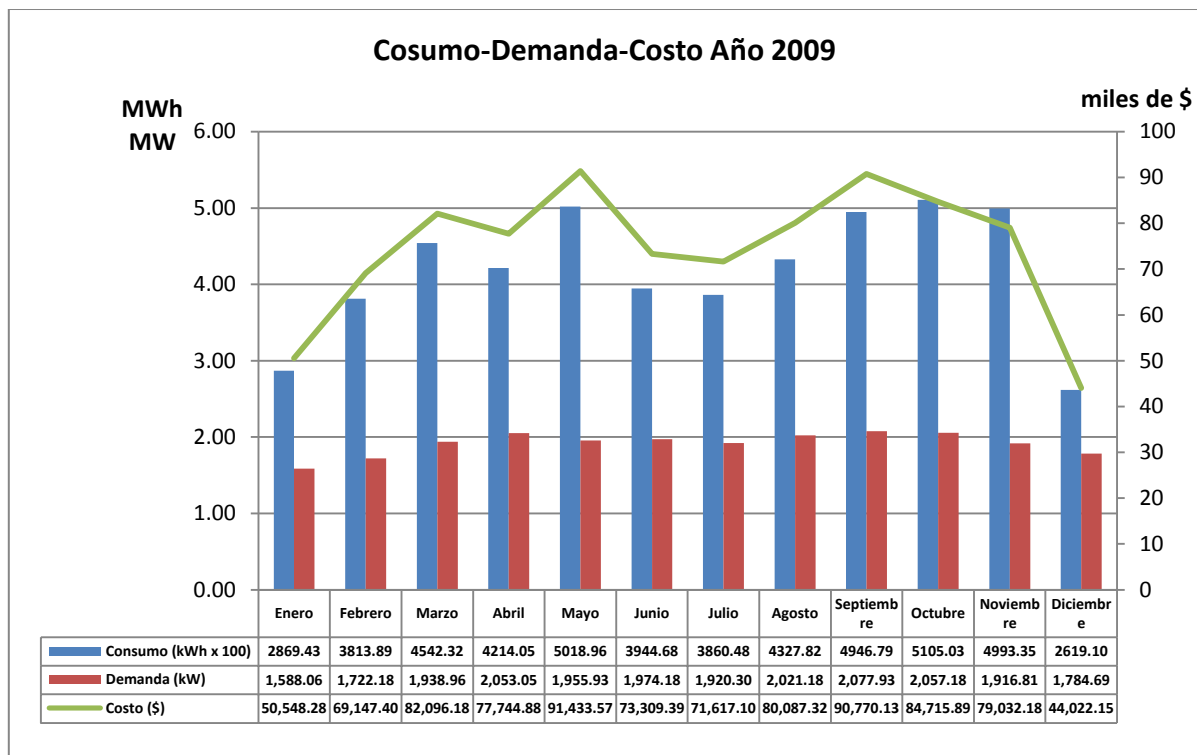


Gráfico 2. 2. Tendencia de Consumo, Demanda y Costo de la UES para el año 2009.
Fuente: Facturas Eléctricas de la UES.

Por último basándonos en el gráfico 2.2 podemos explicar la tendencia de la demanda total máxima de la UES durante el año 2009, es decir la suma de todas las demandas máximas, destacando que este valor ocurrió en el mes de septiembre con 2,077.93 kW. Este dato es resultado de una mayor utilización de los recursos eléctricos que estas instalaciones poseen.

2.1.3. Análisis de Facturas Eléctricas año 2010.

Al igual que con el año anterior, el medidor instalado en la entrada de la facultad de agronomía continua siendo el de mayor porcentaje de cargos atribuidos a la facturación de la UES, sin embargo para el año en estudio presenta un aumento de porcentaje llegando a 51.04% (Ver gráfico 2.3), 10% más al año anterior, este hecho se debe a la eliminación del medidor instalado en la Facultad de Medicina influyendo en el aumento de los cargos. Profesionales respectivos al área eléctrica notificaron a las autoridades superiores sobre una contratación errónea del suministro eléctrico al edificio de medicina, por lo cual sugirieron la eliminación de esta contratación, destinando esta carga eléctrica a la distribución eléctrica que comprende el medidor de Facultad de Agronomía.

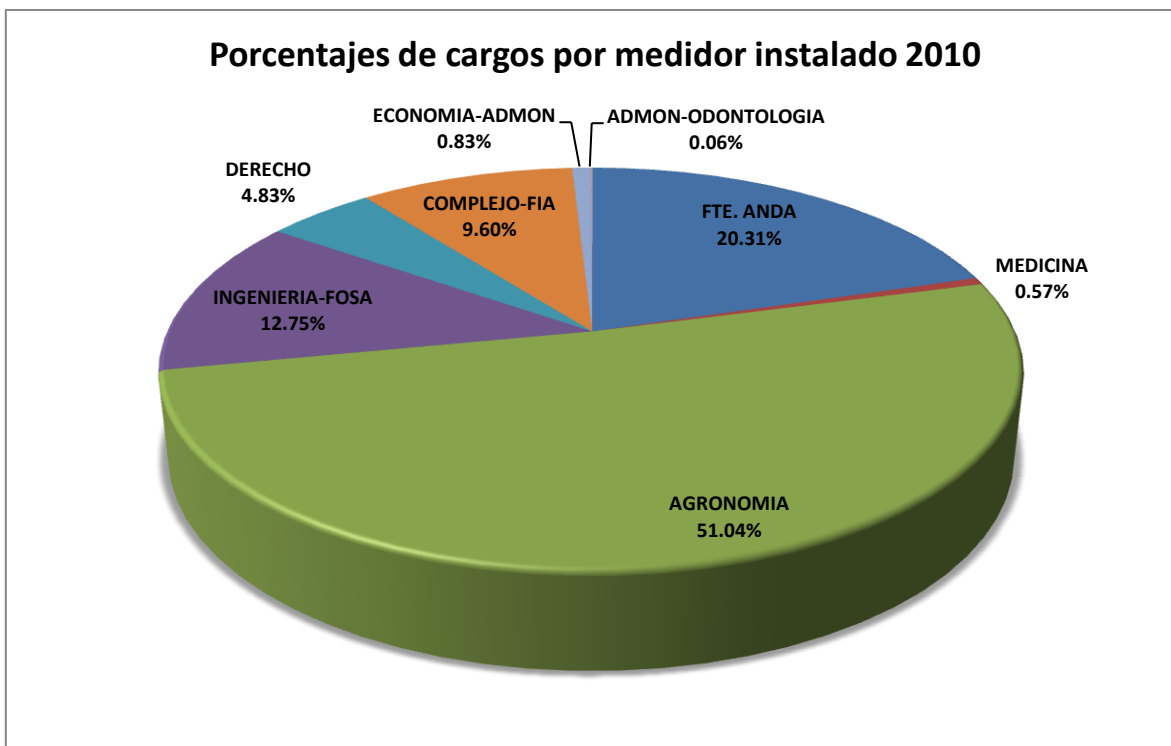


Gráfico 2. 3. Porcentaje de contribución de cada medidor instalado en la UES año 2010.
Fuente: Facturas Eléctricas de la UES.

En el gráfico 2.4 se puede apreciar el comportamiento mensual de los cargos para el año 2010, la existencia de un costo elevado puede deberse al aumento en las tarifas eléctricas o al aumento de la operación de los recursos eléctricos o ambos, tal situación sucedió en el mes de abril con \$95,197.04 como costo eléctrico y 516,624.24kWh de consumo de energía facturados.

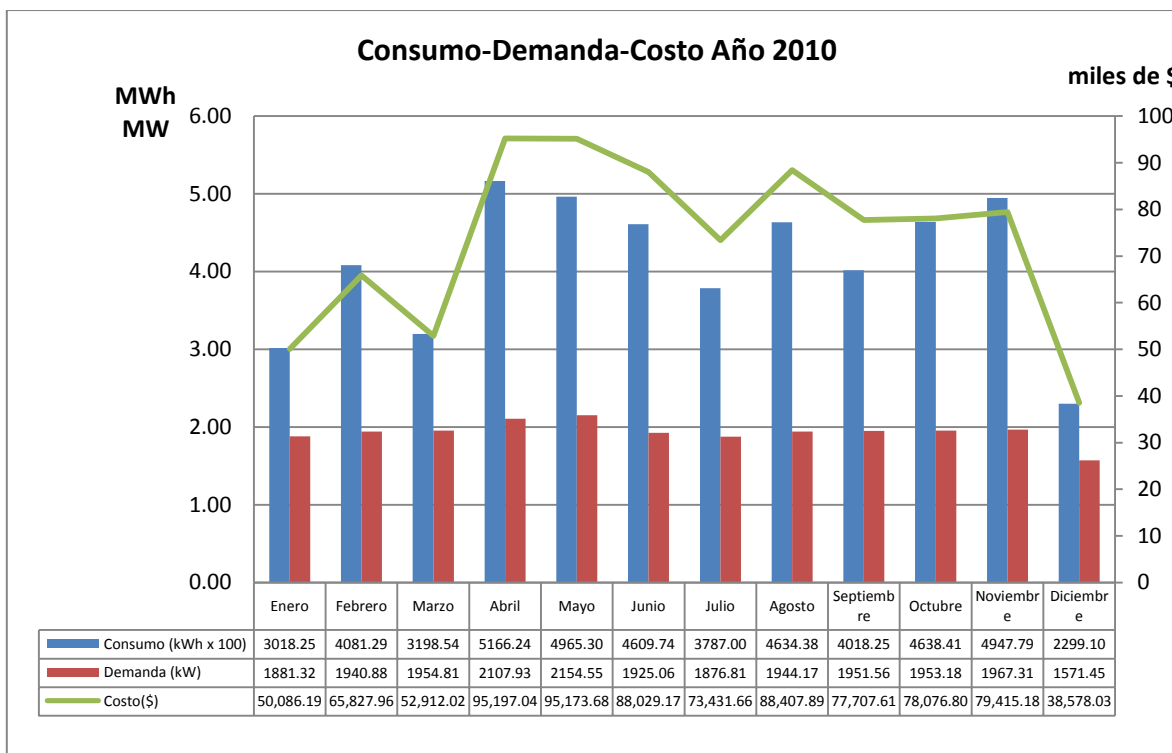


Gráfico 2. 4. Tendencia de Consumo, Demanda y Costo de la UES para el año 2010.
Fuente: Facturas Eléctricas de la UES.

Si la universidad estuviera regida por una sola distribución y por ende un solo punto de medición, este registraría la demanda máxima de 2,154.55kW para el mes de mayo, así como se aprecia en el gráfico2.4, tal evento pudo haber ocurrido por un uso mayoritario de recursos eléctricos en las instalaciones.

2.1.4. Análisis de Facturas Eléctricas año 2011.

Prosiguiendo con el análisis del último año en estudio de este trabajo se muestra el gráfico 2.5, como ha sido común en los años anteriores el medidor instalado en la Facultad de Agronomía es el que presenta el mayor porcentaje de cargos que se le facturan ala UES en cuanto al consumo eléctrico de esta, manteniéndose aproximadamente igual al año 2010.

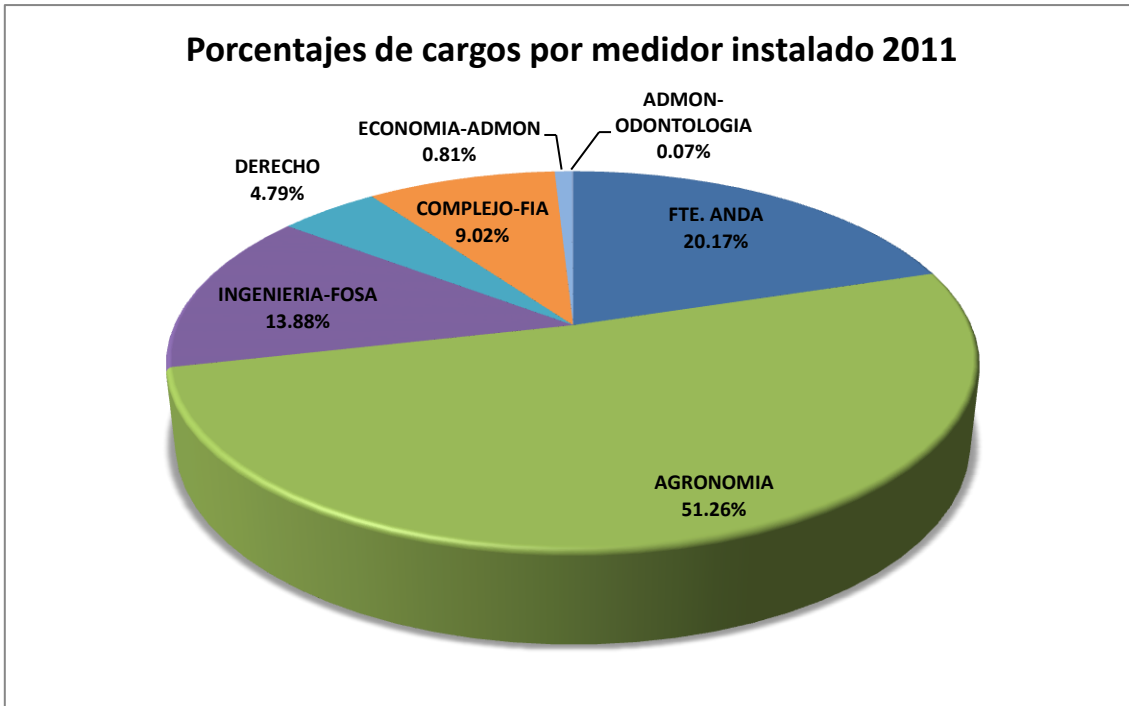


Gráfico 2. 5. Porcentaje de contribución de cada medidor instalado en la UES año 2011.
Fuente: Facturas Eléctricas de la UES

En el gráfico 2.6 se puede ver la tendencia que tienen los cargos que la UES tiene en cuanto a los recursos eléctricos que gasta mensualmente, como se puede apreciar el costo mayor se dio en el mes de Septiembre teniendo un valor de \$104,614.67 con un consumo de 447,100.36kWh, cabe destacar que como se puede apreciar en este gráfico la tendencia de costo en los últimos meses del año se mantiene casi constante a la alza esto puede ser efecto de alzas en los precios de los combustibles fósiles y por ende elevación de las tarifas eléctricas.

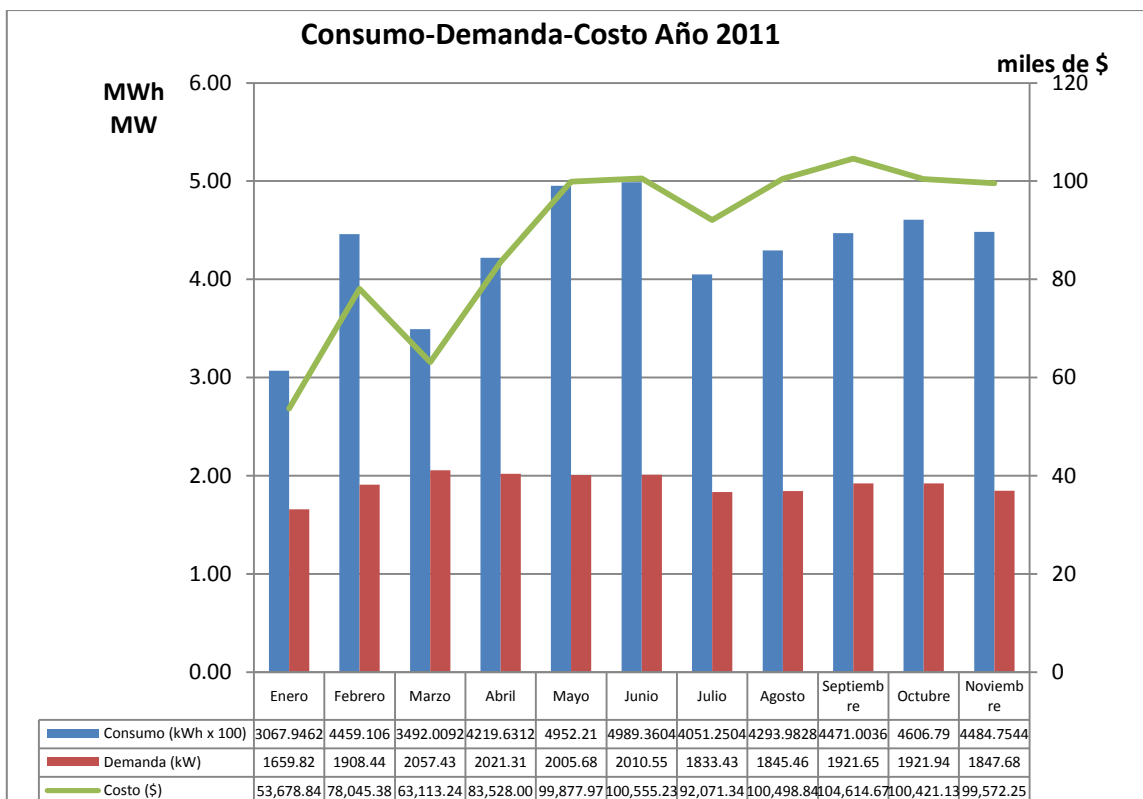


Gráfico 2. 6. Tendencia de Consumo, Demanda y Costo de la UES para el año 2010.

Fuente: Facturas Eléctricas de la UES

Como se observa en el gráfico anterior la UES en el mes de Marzo tuvo el valor más alto que puede ser efecto de un incremento en la utilización de los recursos eléctricos que la institución posee.

2.1.5. Análisis Anual de la Facturación Eléctrica

Finalizado el análisis mensual de las facturas para el período en estudio, se procede a analizar anualmente las facturas para los tres años que comprende del 2009 al 2011.

Como se aprecia en el gráfico 2.7 el consumo de la universidad para el año 2009 y 2010 se mantuvo aproximadamente igual con una leve disminución en el 2010, pero para el año 2011 se puede notar una considerable disminución que equivale al 4.61% con respecto al año 2010, esto puede ser efecto de alguna manera en la concientización de las personas en cuando a tener una cultura eléctrica para no malgastar los recursos eléctricos que posee la institución, así como también en la utilización de tecnología ahorradora en cuanto al tipo de iluminación, equipo eléctrico utilizado por el personal que labora en la institución y los equipos de aire acondicionado, entre otros factores que ayuden a minimizar los cargos.

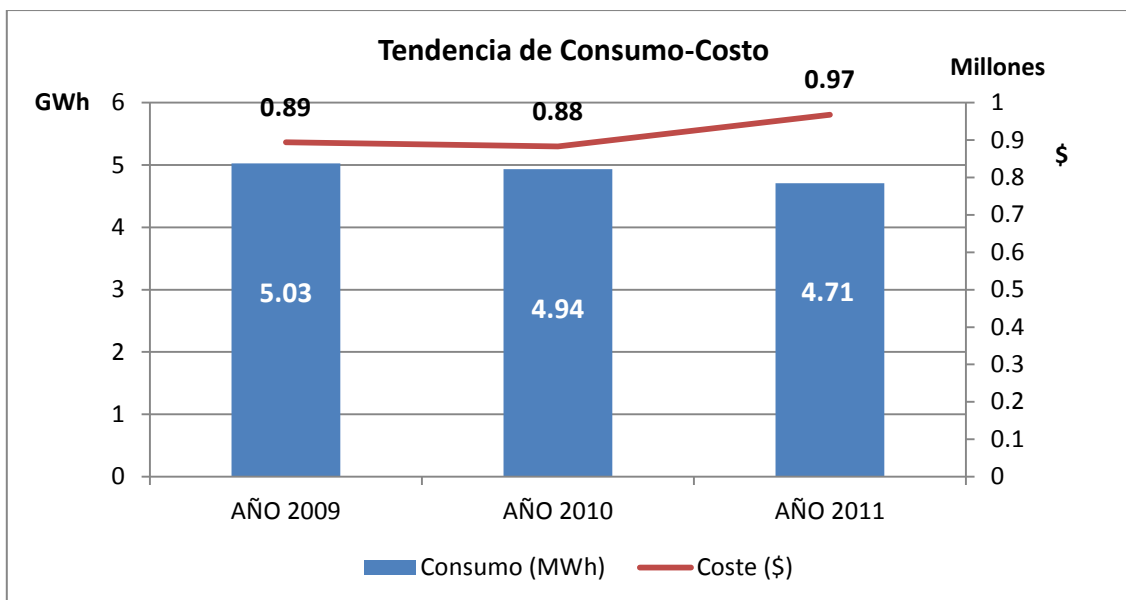


Gráfico 2. 7. Tendencia de consumo y costo durante el periodo en estudio.

Fuente: Facturas Eléctricas de la UES

En cuanto a la tendencia del costo, tal como se aprecia en la gráfica 2.7, se puede notar que para los años 2009 y 2010 se mantuvo casi constante, como se ve en el año 2011 hay un incremento considerable en el costo de la energía utilizada por la UES, con un valor de \$967,849.88 (ver tabla 2.2) este valor puede ser resultado del incremento en las tarifas eléctrica a causa del elevado precio de los combustibles fósiles, razón por la cual es necesario un estudio de eficiencia energética a esta institución.

MEDIDOR	2009		2010		2011	
	kWh	\$	kWh	\$	kWh	\$
FTE. ANDA	985,932.00	174,597.20	1002,576.00	178,569.20	949,932.00	195,690.54
MEDICINA	372,848.00	65,733.90	28,000.00	4,927.45		
AGRONOMIA	2223,342.00	397,554.08	2519,660.00	452,097.14	2413,697.00	499,515.21
INGENIERIA-FOSA	684,431.00	122,729.34	629,362.00	112,948.40	653,748.44	135,428.90
DERECHO	253,459.31	45,888.21	238,614.31	43,556.02	225,368.98	50,491.55
COMPLEJO-FIA	465,487.00	79,988.67	474,100.00	81,860.13	424,789.00	85,287.98
ECONOMIA-ADMON	36,240.00	7,261.00	41,145.00	8,295.47	38,132.00	717.85
ADMON-ODONTOLOGIA	3,851.00	772.07	2,973.00	589.42	3,137.00	717.85

Tabla 2. 2. Valores de Consumo y gastos por medidor instalado en la UES para cada uno de los años en estudio.

Fuente: Facturas Eléctricas de la UES

2.1.6. Facturas de Consumo de Combustibles.

Por el motivo de que la UES no lleva un registro ordenado de las facturas de consumo de combustibles no se pudieron obtener para su análisis y así determinar medidas de ahorro que nos llevarían a tener un ahorro económico en el gasto de este servicio.

En el análisis de facturas de combustible comprende en la identificación de las variables de consumo de combustible, es decir kilometraje recorrido, cantidad de galones de combustible y gastos en el servicio de transporte así como también cualquier maquinaria que haga uso de combustibles fósiles (como un ejemplo plantas eléctricas).

Aunque no se hace un estudio exhaustivo de este servicio se presentan las condiciones para obtener un mejor rendimiento en el uso eficiente del combustible, estas son:

- ✓ Usar la unidad de transporte solo si es sumamente necesario.
- ✓ Dar mantenimiento regularmente a las unidades automotoras, de esta manera estarán en buenas condiciones para su uso.
- ✓ Tomar rutas alternativas de manera de minimizar la distancia hacia el destino.
- ✓ Evitar lo más que se pueda la utilización de sistemas de climatización en los vehículos.
- ✓ Orientar al personal que hace uso de las unidades acerca del buen manejo de estas, es decir arrancar el motor si pisar el acelerador, mantener la velocidad de circulación lo más uniforme posible, evitando frenazos bruscos, etc.
- ✓ Evitar la sobrecarga del vehículo No es conveniente cargar el vehículo en exceso ni tampoco sobrepasar el "aforo" del vehículo. Está comprobado que **por cada 100 kilogramos de peso adicional el consumo de combustible se incrementa en un 5%.**
- ✓ Es recomendable que se mantenga un registro ordenado de los gastos en gasolina para controlar el consumo. Esto ayudará también a detectar anomalías en el rendimiento del vehículo.

Con respecto al último punto, la UES carece de un registro adecuado para mantener un control del uso de combustible.

2.2. Selección de edificios a estudiar.

Para identificar edificios con un comportamiento inusual de consumo de energía hay que valerse de ciertos criterios, que permitan determinar las condiciones a las que están sujetos los edificios, tales criterios son:

- a) Obtención de perfiles de carga por cada edificio que conforma la institución.
- b) Visualización centrada en el edificio para poder detectar posibles oportunidades de ahorro existentes en la infraestructura.
- c) La inspección realizada al edificio con la colaboración de los encargados, aquí se toma en cuenta las lecturas de los documentos solicitados, sobre todo de los planos arquitectónicos de cualquier índole y de las facturas de consumo eléctrico y de combustible, se incluyen también las mediciones hechas de parámetros de interés.
- d) La experiencia de los encargados del edificio que observan el comportamiento energético, sobre todo de aquellos encargados en el mantenimiento o jefe de planta de la infraestructura y que estén ligados a la contabilidad del consumo energético.

Para nuestro estudio se seleccionaron cuatro edificios, los cuales son Edificio Medicina, Rectoría, Oficinas Centrales y Biblioteca Central (ver figura 2.1 abajo). Esta selección se basó en los criterios descritos arriba pero sobre todo en la experiencia de algunos docentes, especialmente en el área de Ingeniería Eléctrica, que le han dado importancia al uso irracional de energía eléctrica que posee la UES, es decir, ellos han realizado estudios respectivos del comportamiento energético que los edificios presentan actualmente.

La mejor forma de evaluar un edificio, es medir sus parámetros eléctricos con equipos adecuados por un periodo de un mes, de esta manera se puede estimar el comportamiento energético de los edificios ya sea mensual o anual. La grafica 2.8 presenta el consumo de energía y los costos anuales de los edificios seleccionados tomados de los resultados de la simulación, en tal grafica se observa que el edificio de biblioteca central puede considerarse como el edificio más crítico en cuanto al consumo irracional de energía.



Edificio de Rectoría.



Biblioteca Central.



Oficinas Centrales

Figura 2. 1. Imágenes de los edificios seleccionados.



Edificio de Medicina

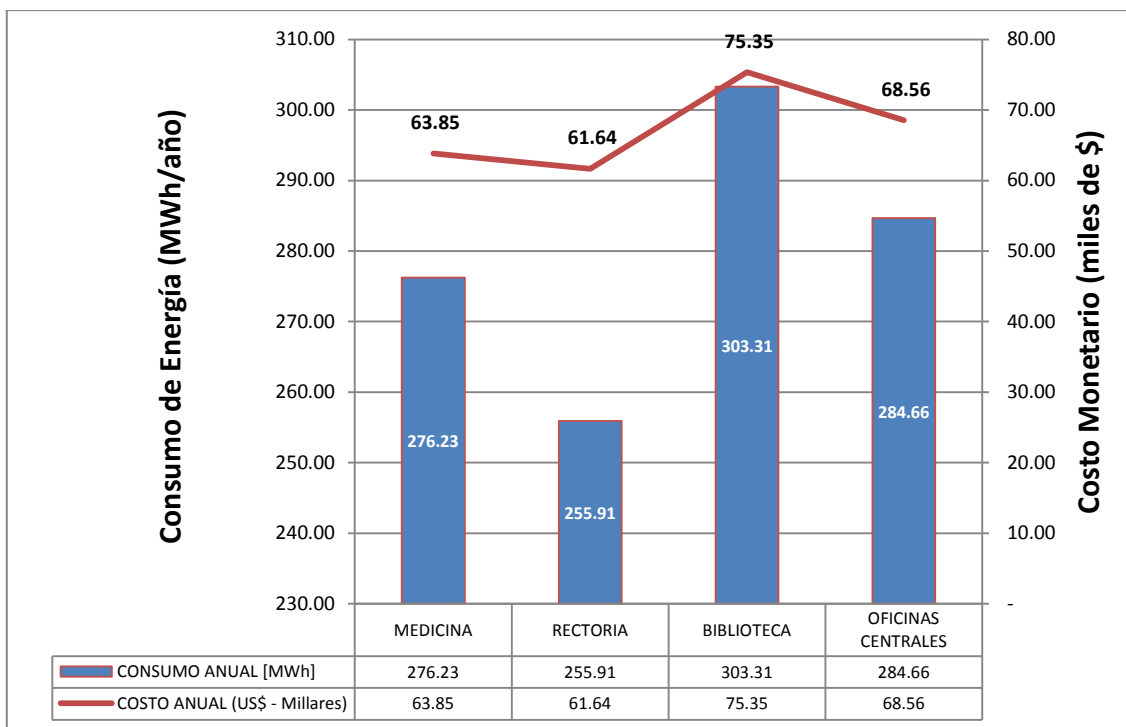


Gráfico 2. 8. Tendencia de consumo y costo de los edificios seleccionados.

Se puede notar que el que consume más es el edificio de Biblioteca Central con 303.31MWh/año y un costo anual de \$75,350. Fuente: Simulación en EnergyPlus.

2.3. Detección de oportunidades de ahorro.

Una vez seleccionados los edificios a analizar, se procede a la inspección de estos, con el objeto de identificar las irregularidades que tienden a incrementar el consumo eléctrico.

La inspección consiste en realizar las visitas necesarias a las instalaciones, entrevistar a los encargados de los edificios o al personal de mantenimiento que estén relacionados con el consumo eléctrico además de registrar las anomalías observadas tales como mal diseño de la fachada e interior del edificio, uso inadecuado de los recursos energéticos, es decir, activación de luminarias y equipos eléctricos innecesarias (computadoras, fotocopiadoras, impresoras, etc.), mal control de temperatura en áreas climatizadas, entre otros.

Durante la inspección hecha a los edificios seleccionados se observaron las siguientes irregularidades:

- La filosofía de diseño en cuanto a la fachada de los edificios, exceptuando el edificio de Medicina, no está sujeto a una operación eficiente de energía.
- Existe una mala distribución de lámparas en cuanto a la iluminancia que se necesita, además de la utilización de tecnologías obsoletas como el uso de lámparas con tubos fluorescentes tipo T12.
- No se aprovecha en su totalidad el uso de la luz natural sobre todo en aquellas áreas que poseen un espacio considerado como auditorium, sala de sesiones, etc. El personal limita la luz natural colocando persianas interiores en las ventanas.

- En zonas climatizadas, el nivel de temperatura esta fuera del rango de confort. Esta condición se debe a que el personal considera que el enfriamiento en tales zonas no era lo suficiente, por lo que ellos tienden a manipular el control de temperatura llevándole a un nivel entre 17° a 22° C.
- En ocasiones el personal dejaba computadoras encendidas mientras realizaban otras actividades fuera de su espacio de trabajo, además del funcionamiento innecesario de otros equipos de oficinas.
- La apertura de ventanas y puertas durante periodos considerados en áreas climatizadas hacen que ingrese más carga térmica de lo debido, con lo que la operación de los equipos de aire acondicionado trabajen de forma exigida. Fue una actitud común que se observó durante la inspección a los edificios.
- Carencia de orientación hacia una cultura de ahorro energético
- Las luminarias de los pasillos permanecen encendidas todo el periodo que laboran los ocupantes de las instalaciones.

2.4. Perfiles de carga de edificios seleccionados.

Para obtener resultados que se aproximen a la realidad es necesaria la medición de variables eléctricas de interés en las instalaciones.

Es aconsejable realizar una medición de por lo menos 30 días o el periodo suficiente como para registrar la cantidad de datos necesarios que clarifiquen el comportamiento energético de los edificios.

En la sección 2.2 se menciona acerca de la selección de los edificios para este estudio, los cuales son Biblioteca Central, Rectoría, Oficinas Centrales y Medicina.

Los edificios de Rectoría y Medicina poseen medidores dedicados que registran el consumo de energía, demanda, factor de potencia entre otras variables eléctricas y que están siendo monitoreadas desde la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Estas mediciones fueron obtenidas con el fin de que los resultados de las simulaciones se asemejen al perfil de carga real.

Para obtener los perfiles de carga de los edificios de Biblioteca Central y Oficinas Centrales se valió solo de los horarios de operación de estos edificios observado durante la inspección.

En gráfico 2.9 y 2.10 se muestran los perfiles de carga de los edificios que tienen medidores dedicados, en la cual se puede notar que los datos obtenidos de las simulaciones se aproximan a los medidos.

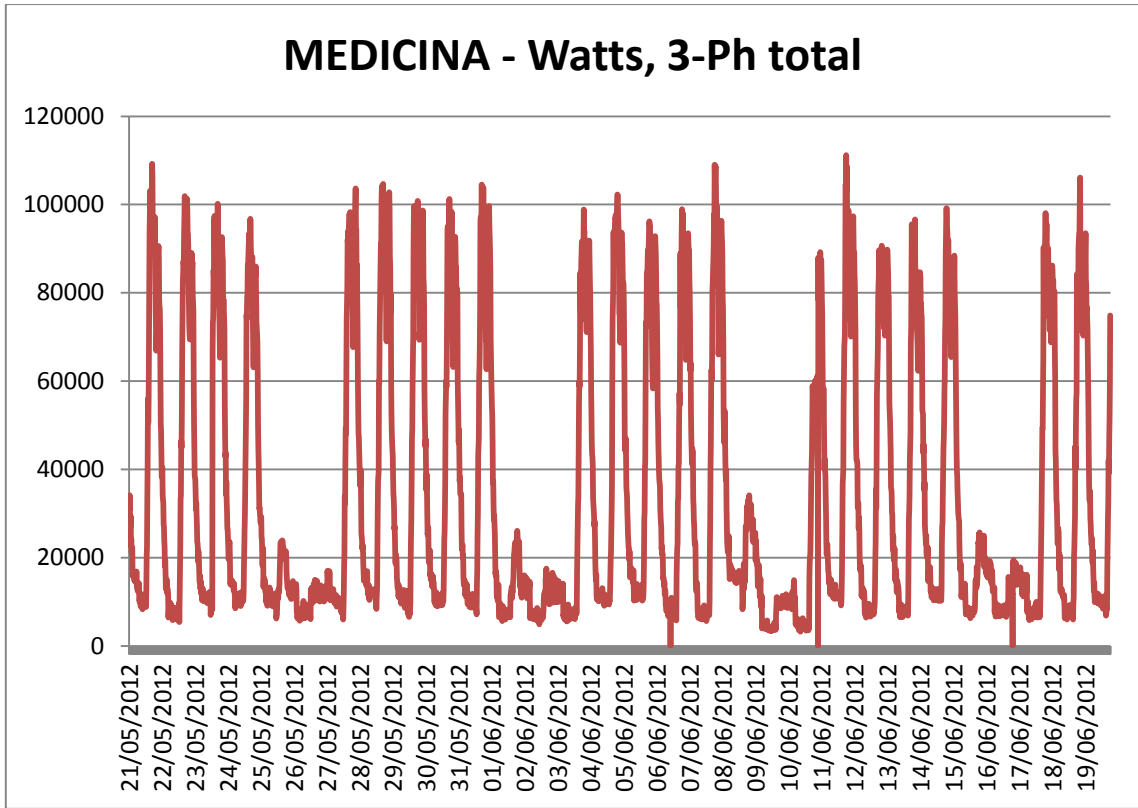


Gráfico 2. 9. Perfil de demanda para el edificio de Medicina.

Fuente: Simulación en EnergyPlus.

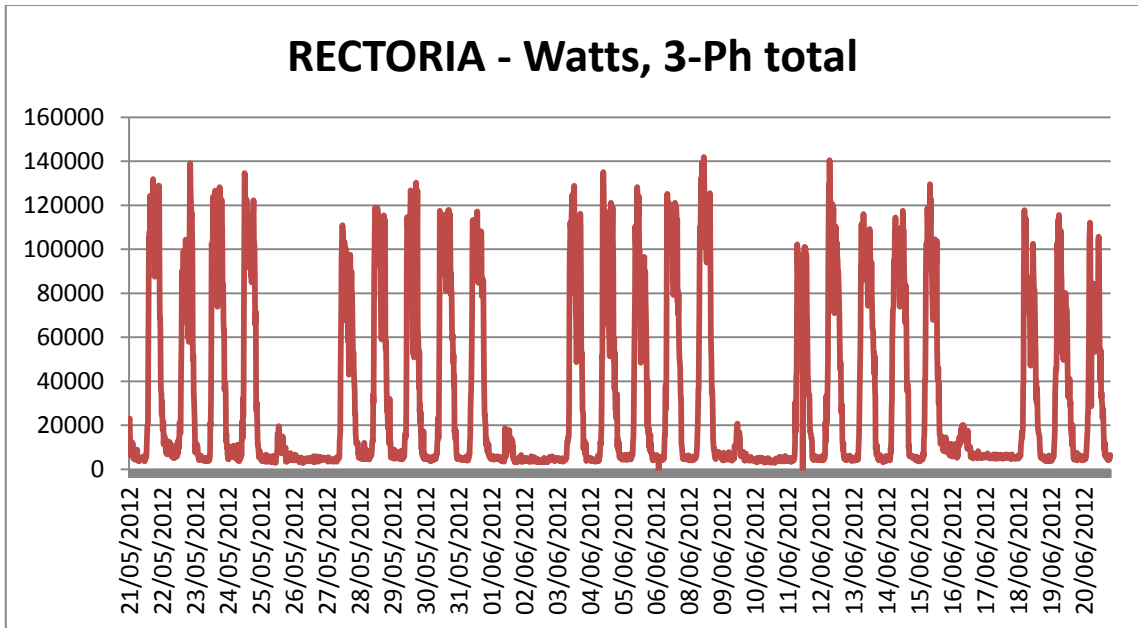


Gráfico 2. 10. Perfil de demanda para el edificio de Rectoría.

Fuente: Simulación en EnergyPlus.

Capítulo III. Modelación de edificios y resultado de medidas.

En el siguiente capítulo se hace el estudio de los edificios seleccionados, modelados en dos diferentes etapas, usando programa de simulación por computadora³, la primera tiene como objetivo presentar las condiciones usuales de operación de los edificios, a saber, consumo de energía, demanda de potencia y costo de electricidad, y, con ello, observar las diferentes oportunidades de ahorro energético, las cuales servirán como referencia para aplicar en un segundo momento, a esta primera etapa se le llama *operación energética base de los edificios seleccionados*.

En el segundo caso, denominado *propuesta de ahorro de energía*, se aplican las oportunidades de ahorro detectadas en la primera etapa, para disminuir los cargos en consumo de energía, demanda de potencia y costo de electricidad.

Para culminar con el estudio, tenemos un tercera etapa, *comparación y justificación de las medidas*, en ésta, se hace una comparación de los resultados obtenidos en ambas etapas y justificar de esta manera los potenciales de ahorro que poseen los edificios.

3.1. ETAPA I. Operación base energética de los edificios seleccionados.

La operación base energética de los edificios es la manera en que las instalaciones están siendo utilizadas en la actualidad, esta etapa se basa en la identificación de los edificios, la solicitud de la información y la visualización de operación de los mismos, con lo cual se crea una modelación simulada por software para interpretar el comportamiento de los edificios. Con esto se obtiene un perfil de consumo para detectar indicadores que nos presenten un nivel de consumo no deseable.

3.1.1. Modelación virtual de los edificios.

Para poder obtener la operación actual de las instalaciones a estudiar, es preciso construir un modelo virtual, éste se logra mediante el programa ENERGY PLUS. Los modelos para los edificios seleccionados son los que se muestran en la figura 3.1, hay que recalcar que esta es una modelación por lo que no se muestran todos los detalles de las edificaciones, por ejemplo, el edificio de Medicina que en su estructura posee cortasoles, una especie de

³ Para la simulación por computadora se utiliza el programa de análisis de consumo y carga térmica, ENERGYPLUS, del cual se puede encontrar información en el anexo.

persianas metálicas externas, las cuales no se muestran en la figura porque son ingresadas en el simulador, así como otros detalles en las demás edificaciones.

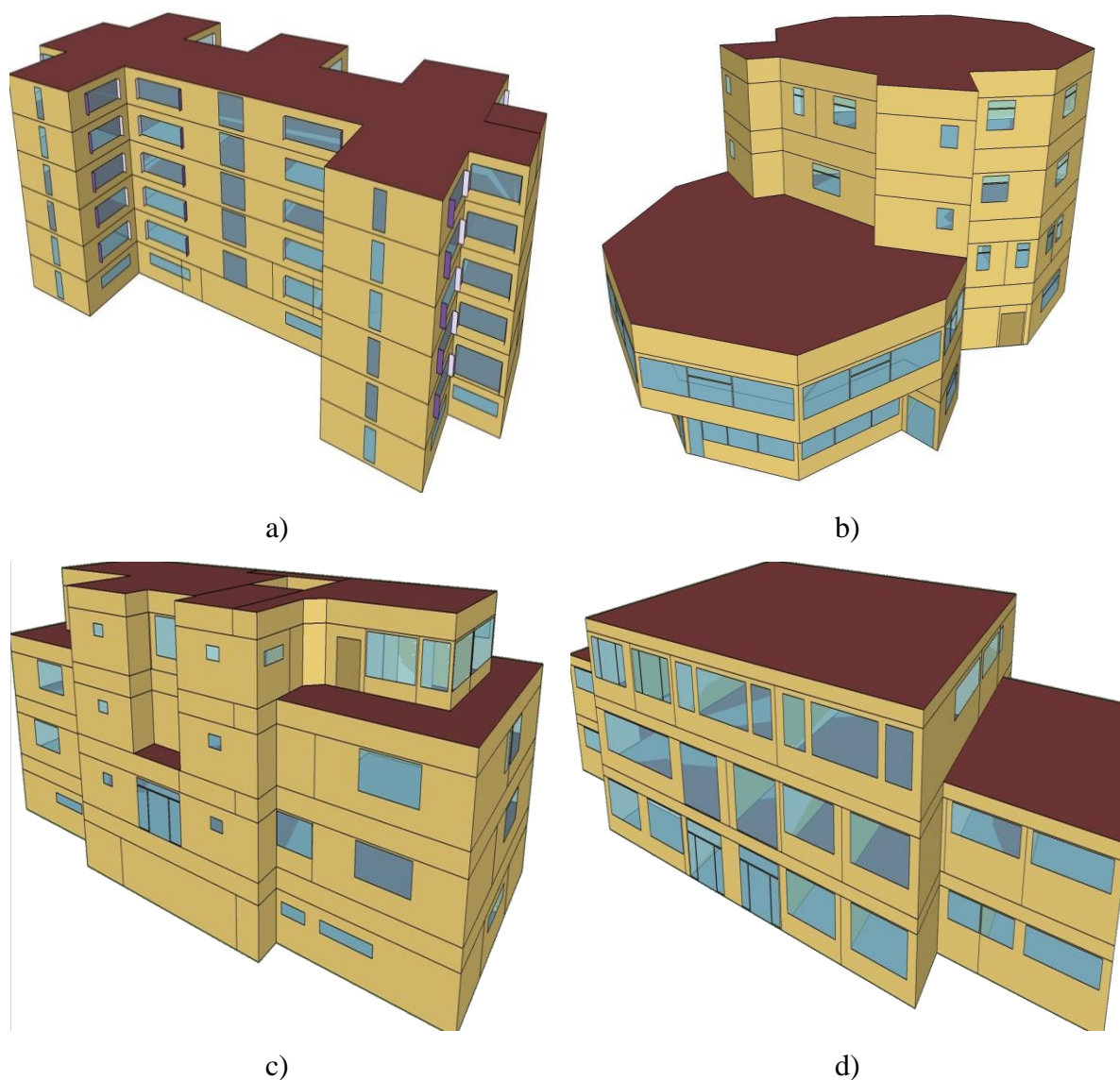


Figura 3. 1. Ilustración de los modelos de los edificios seleccionados para el estudio.
a) Edificio de Medicina, b) Edificio de Rectoría, c) Edificio de Oficinas Centrales, d) Edificio de Biblioteca Central.

3.1.2. Verificación de los datos.

Los perfiles de carga obtenidos por la monitorización de los medidores instalados en el Campus de la Universidad sirven para la verificación de los datos ingresados en el programa, de tal manera que la operación simulada concuerde con la operación real de los edificios estudiados. Hay que recordar que únicamente para los edificios de Medicina y

Rectoría se puede hacer esta verificación ya que, de los edificios seleccionados, poseen medición propia como vimos en los gráficos en el capítulo II. Observando los gráficos se pueden obtener los datos para los perfiles en un período de 7 días, una semana, en aquellos días que son más altos los consumos, y son como se muestran en los gráficos 3.1 y 3.2 para Medicina y Rectoría, respectivamente. En los gráficos 3.3 y 3.4 se muestran los perfiles de los otros dos edificios, Biblioteca Central y Oficinas Centrales, respectivamente, aclarando que aunque no se obtuvieron los perfiles reales, éstos se pueden simular y concluir que son aproximados, debido a las mediciones y observaciones de campo, así como la comparación de cargas entre edificios. Puede observarse la similitud de los datos reales, para Medicina y Rectoría, por lo que se asume un funcionamiento similar para los edificios de Biblioteca Central y Oficinas Centrales.

El edificio de Medicina tiene un máximo de 111kW, Rectoría 140kW aproximadamente.

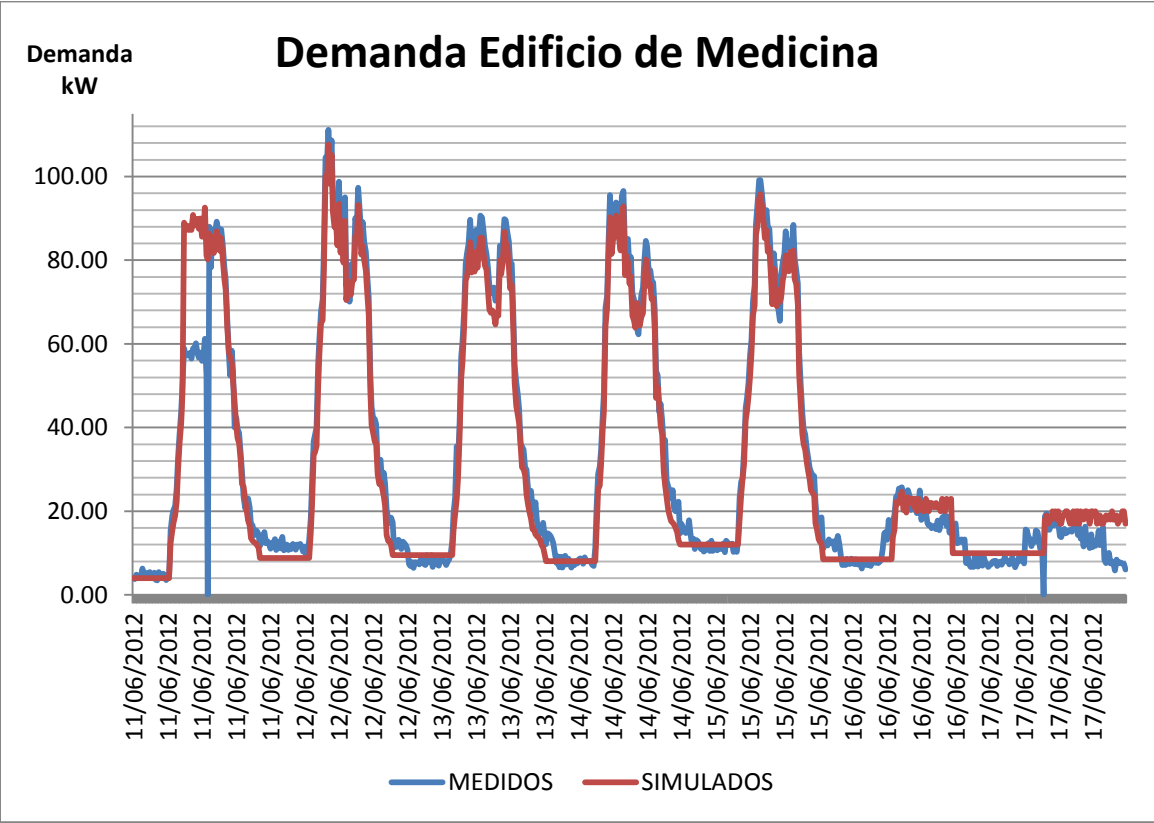


Gráfico 3. 1. Perfil de carga Edificio de Medicina.
Fuente: Medidores monitoreados desde la EIE y de resultados de simulación.

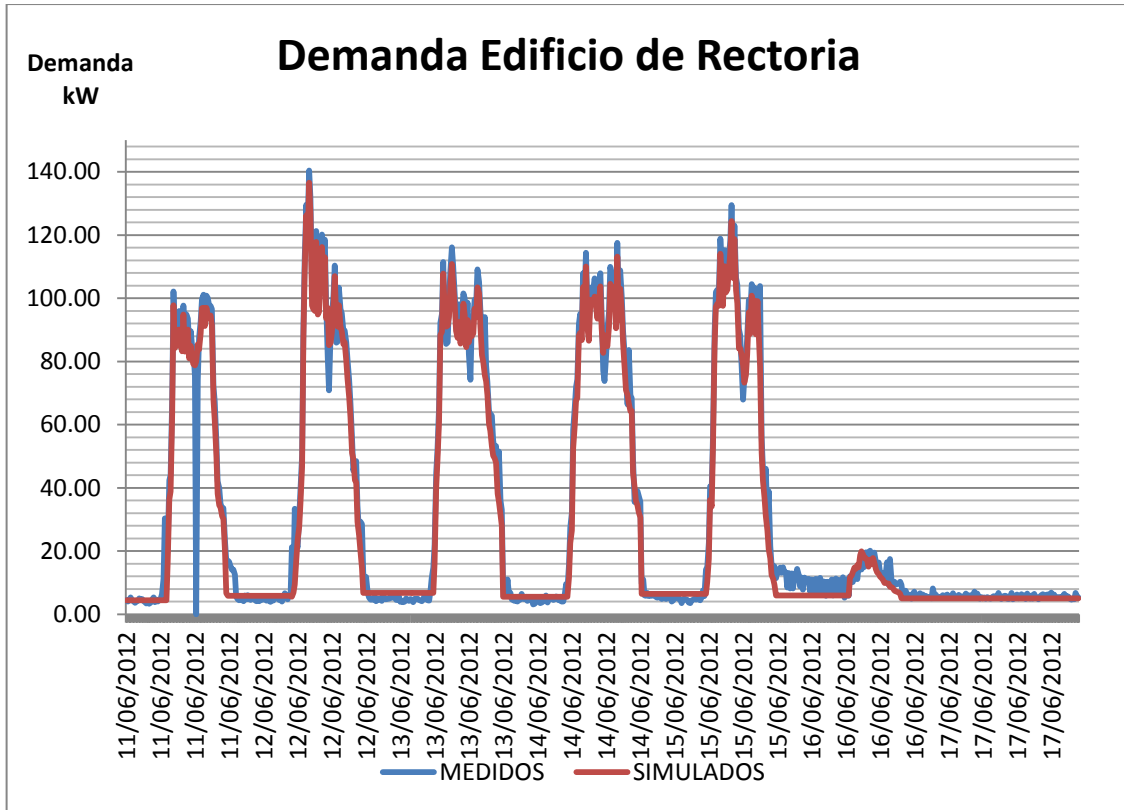


Gráfico 3. 2. Perfil de carga Edificio de Rectoría.
 Fuente: Medidores monitoreados desde la EIE y de resultados de simulación.

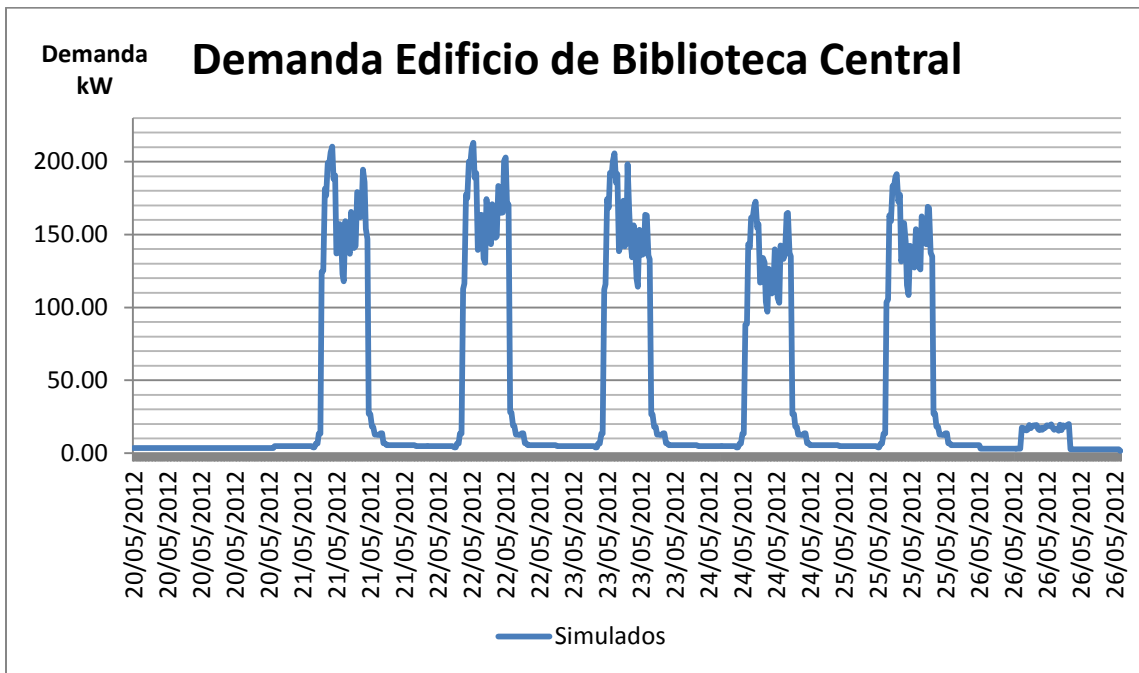


Gráfico 3. 3. Perfil de carga Edificio de Biblioteca Central.
 Fuente: Resultados de simulación.

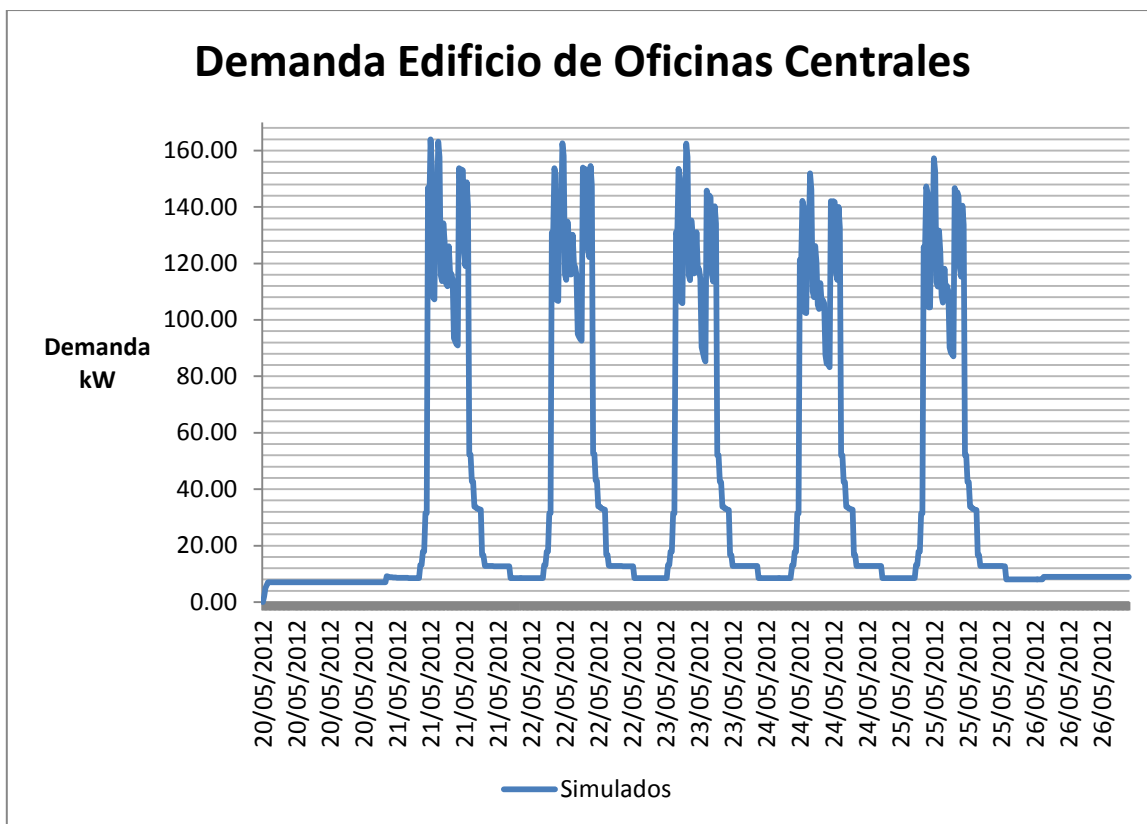


Gráfico 3. 4. Perfil de carga Edificio de Oficinas Centrales.
Fuente: Resultados de simulación.

3.1.3. Resultados de la operación actual.

La ventaja de utilizar un programa de simulación por computadora es que podemos tener acceso a un gran número de variables con las cuáles podemos estudiar y analizar lo que sucede y podría suceder de operación real de una situación, en este caso, de los edificios seleccionados del Campus de la UES.

3.1.3.1. Consumo anual

Ahora pasemos a lo que nos incube, con los siguientes gráficos explicaremos el uso que se le da a las instalaciones según la indagación hecha como se mencionó en la sección de Detección de Oportunidades de Ahorro del Capítulo II, los datos de estos resultados son anuales simulados para el año 2012.

En el gráfico 3.5 tenemos tanto el consumo como los costos anuales en que incurre la Universidad por cada uno de los edificios. La línea verde corresponde al gasto anual, mientras que el gráfico de barras corresponde al consumo total anual para cada uno de

ellos. El edificio de Biblioteca Central es el que más consume al año 303.31MWh con un costo de \$75,350, sin embargo esto queda a verificación debido a que no se parte de datos reales, como para el caso de las instalaciones de Medicina y Rectoría.

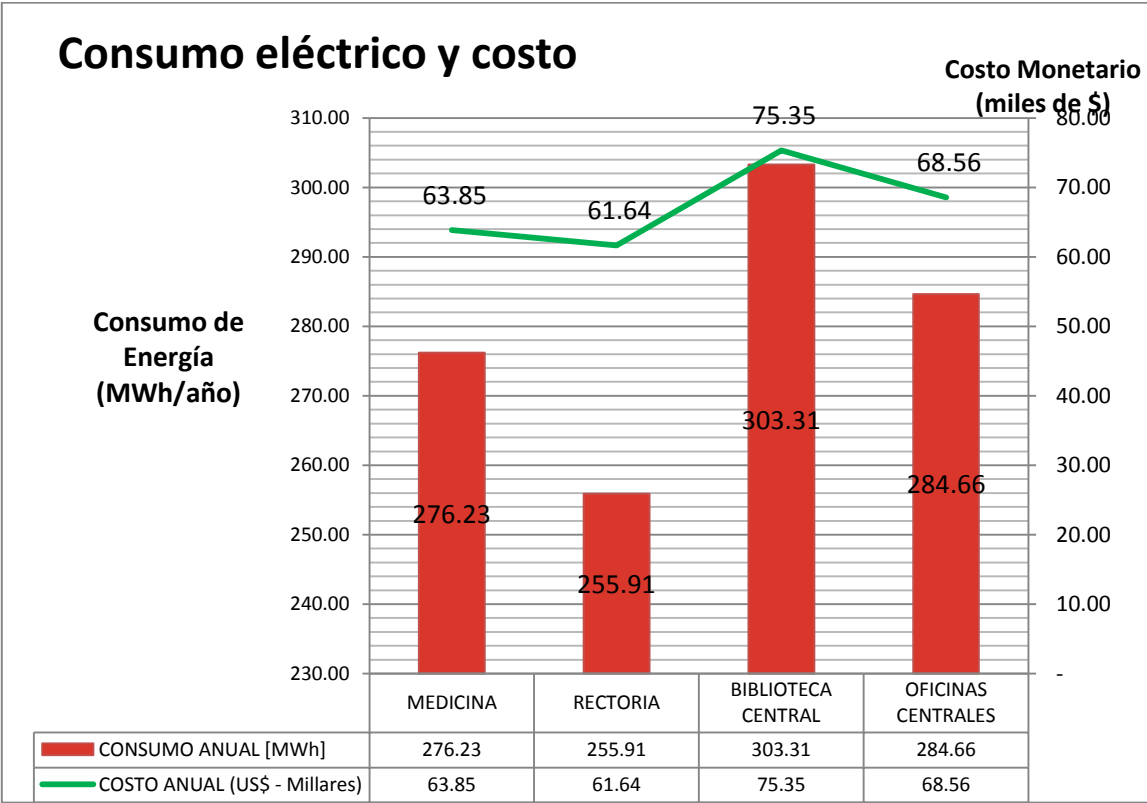


Gráfico 3. 5. Consumo eléctrico y costo anual de los edificios en estudio.
Fuente: Resultados de simulación.

Otro de los datos importantes a tomar en cuenta para plantear oportunidades de ahorro, consiste en saber cómo son utilizadas las instalaciones, es decir, en que se utiliza la energía eléctrica que se consume y esto nos permite también observar si la simulación y los datos ingresados corresponden de forma adecuada al uso real de las instalaciones, ver gráfico 3.6. Por ejemplo, para el edificio de Medicina, el mayor uso que se le da es en luces, aproximadamente 163MWh/año. En cambio, en el edificio de Rectoría hay un consumo más equilibrado, aunque un poco mayor los aires acondicionados, aproximadamente 115MWh/año. En los otros dos edificios se tienen consumos mayores de aires acondicionados para la Biblioteca Central (212MWh/año) y de equipos eléctricos, 126MWh/año, que incluye, computadoras, equipo auxiliar de oficina, entre otros aparatos eléctricos, para el de Oficinas Centrales, por lo que, teniendo en cuenta el tipo de uso para

cada instalación, se puede considerar que los resultados son adecuados para proseguir con el estudio.

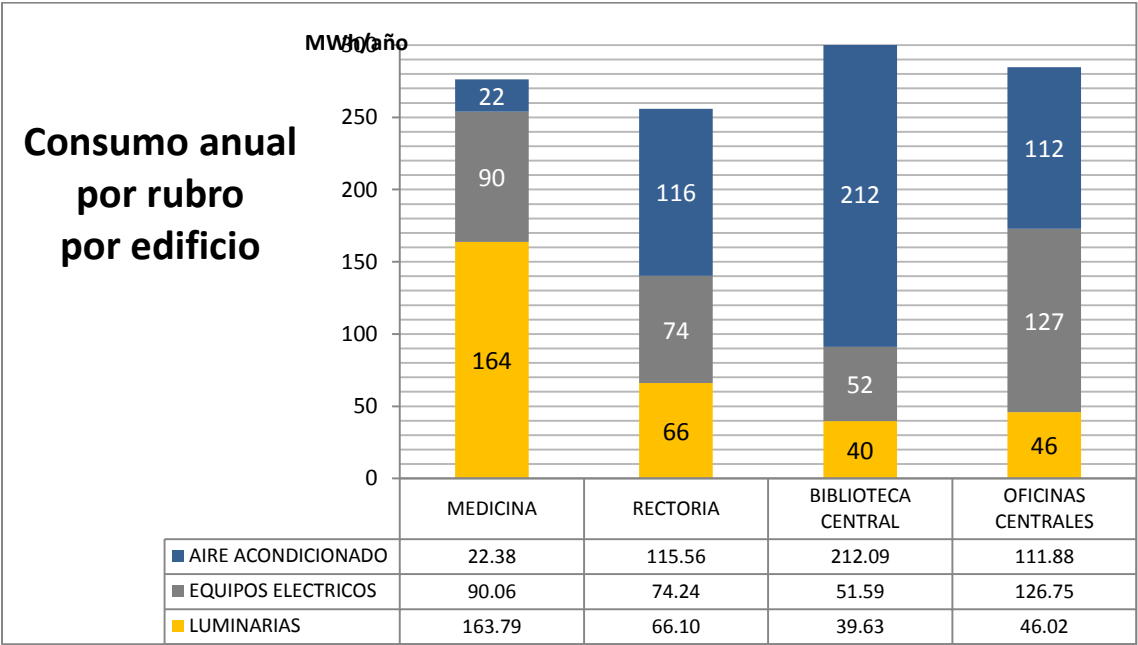


Gráfico 3. 6. Consumo anual por rubro en cada edificio.
Fuente: Resultados de simulación.

En el gráfico 3.7 nuevamente se presentan los consumos por rubros, se observan los resultados en porcentajes respecto del total consumido por cada instalación, de forma que se muestra la misma situación que en el gráfico anterior. Medicina consume 59% en luces, Rectoría 45% en equipos de Aire Acondicionado, Biblioteca Central basa su consumo en equipos de Aires Acondicionados en un 69% y Oficina Central gasta un 44% en equipos de oficina, computadoras y otros equipos eléctricos.

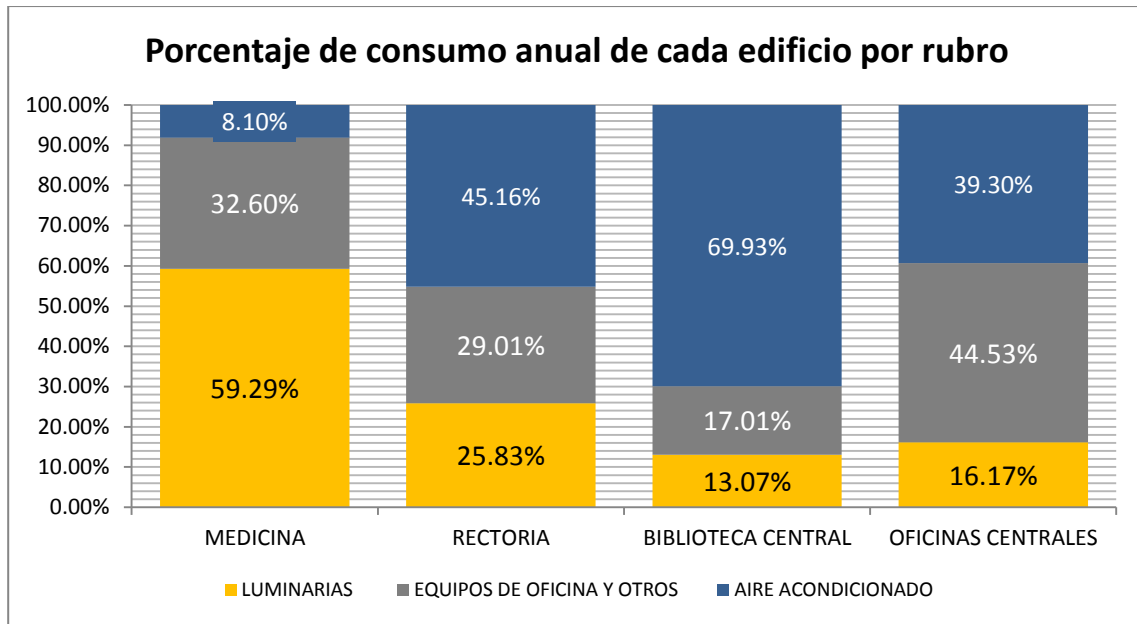


Gráfico 3. 7. Porcentaje de consumo anual de cada edificio por rubro.
Fuente: Resultados de simulación.

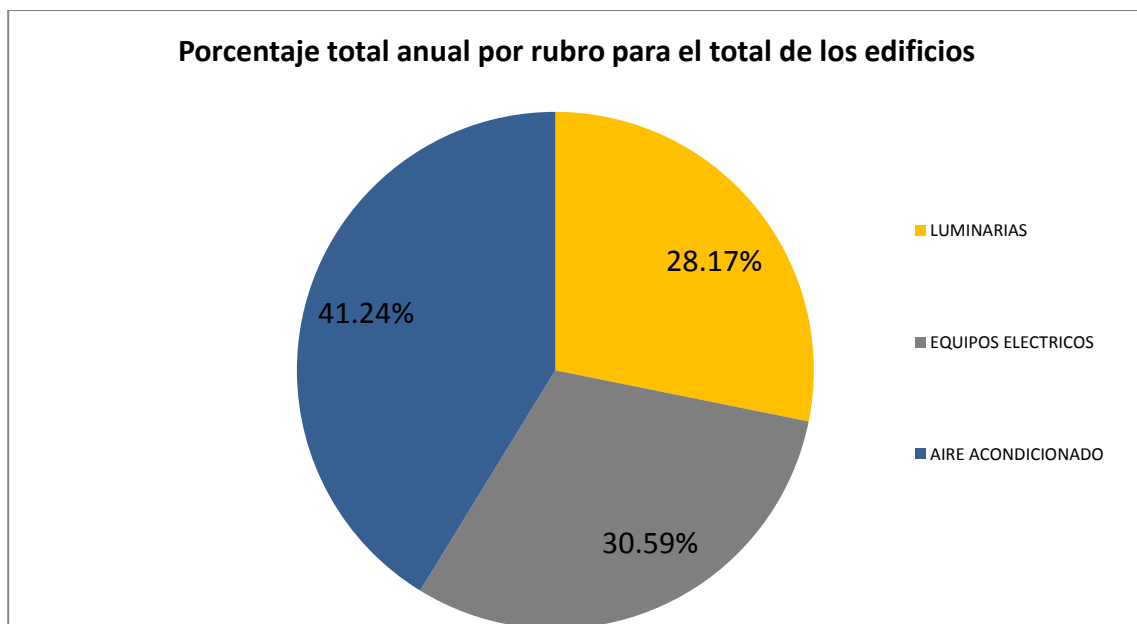


Gráfico 3. 8. Porcentaje de consumo total anual para los cuatro edificios por rubro.
Fuente: Resultados de simulación.

Otro parámetro interesante es el comportamiento de los rubros por el total de los edificios, esto se observa en porcentajes respecto del total de los cuatro edificios en estudio en el gráfico 3.8, de nuevo el mayor porcentaje, un 41%, se consume en equipos de aire acondicionado.

Ya con esto se puede ir pensando en las líneas que orientarán el estudio hacia el ahorro de energía y disminución de costos para las cuatro instalaciones.

3.1.3.2. Indicadores energéticos por superficie de construcción

Otra forma de analizar las instalaciones en cuanto a rendimiento, es comparar los edificios por medio de indicadores, tenemos así, un indicador de consumo de energía por unidad de superficie y otro indicador de consumo por ocupante, se verá más adelante.

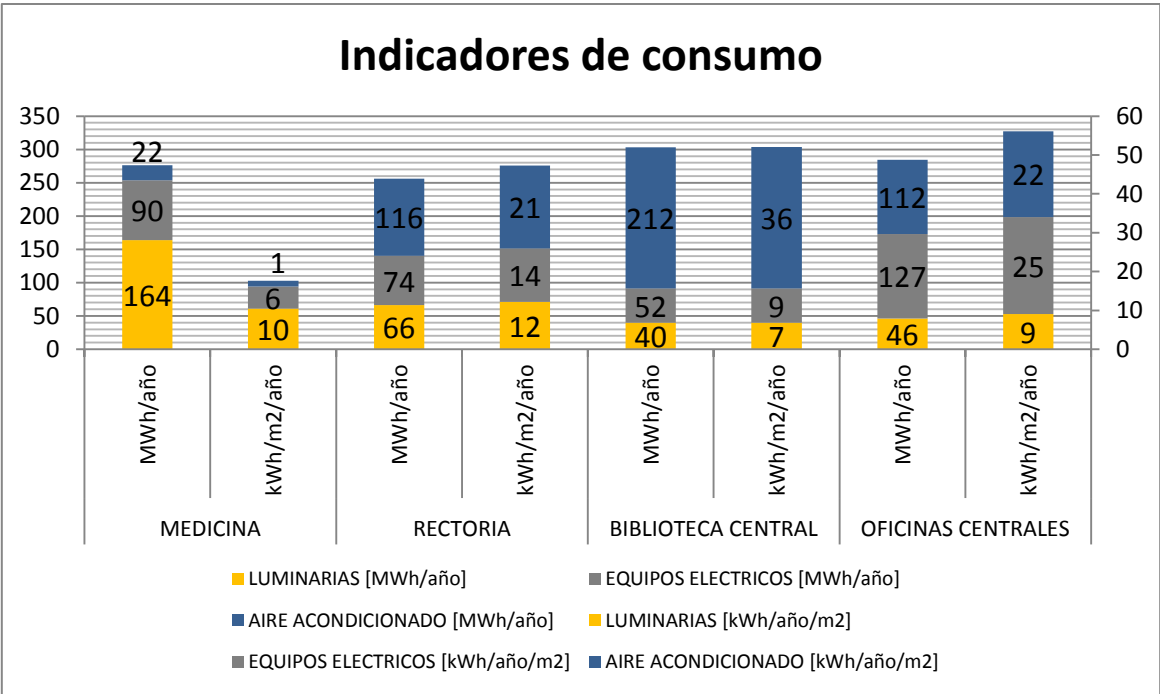


Gráfico 3.9. Indicadores de consumo por año y área construida.
Fuente: Resultados de simulación.

El gráfico 3.9 muestra los indicadores de energía tanto de consumo anual como consumo anual por superficie. Los edificios tienen aproximadamente la misma área de construcción, excepto el edificio de Medicina, según se nota en la tabla 3.1, se debería esperar que el consumo de energía sea en base a su tamaño; Medicina es el que menos consume por área, se debe a su diseño de construcción y aplicación diferente al resto de los edificios así como no posee demasiados equipos de climatización. Aun así su consumo de iluminación por área está en el rango de los edificios restantes.

	MEDICINA	RECTORIA	BIBLIOTECA CENTRAL	OFICINAS CENTRALES
AREA CONSTRUIDA [m ²]	15694.78	5410.04	5830.18	5072.65
PERSONAS	1571	259	416	196

Tabla 3. 1. Datos de área construida y persona para cada edificio.
Fuente: Resultados de simulación.

3.1.3.3. Indicadores energéticos por ocupante

Otro de los indicadores que pueden dar a conocer como son utilizadas las instalaciones es el indicador de energía anual consumida por personal que utiliza las instalaciones, en el gráfico 3.10 tenemos esta situación, según los datos recabados de la tabla 3.1 el edificio más grande es Medicina y es el que tiene una mayor cantidad de ocupantes; es el que menos consumo y costos tiene para la Universidad. Los otros tres edificios quedan desplazados notablemente en cuanto a consumo por ocupante.

3.1.4. Contribución de edificios al consumo y costos totales de la UES.

Uno de los objetivos de este trabajo es la continuación de los estudios de EE hechos por la EIE para los edificios del Campus de la UES. Un trabajo anterior a este se enfocó en los edificios que corresponden a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Este estudio incluye diez edificios, los cuáles son retomados acá para hacer una comparación de consumos y costos con el total de La Universidad. El gráfico 3.11 muestra los porcentajes en que contribuyen cada uno de ellos. Puede verse que, aun cuando, el estudio anterior presentaba una mayor cantidad de instalaciones, los que representan un mayor porcentaje de contribución son los cuatro seleccionados en este estudio, con un porcentaje más grande incluso que los más altos de la FIA, Administración Académica, Escuelas de Ingeniería Industrial y Sistemas Informáticos y Biblioteca.

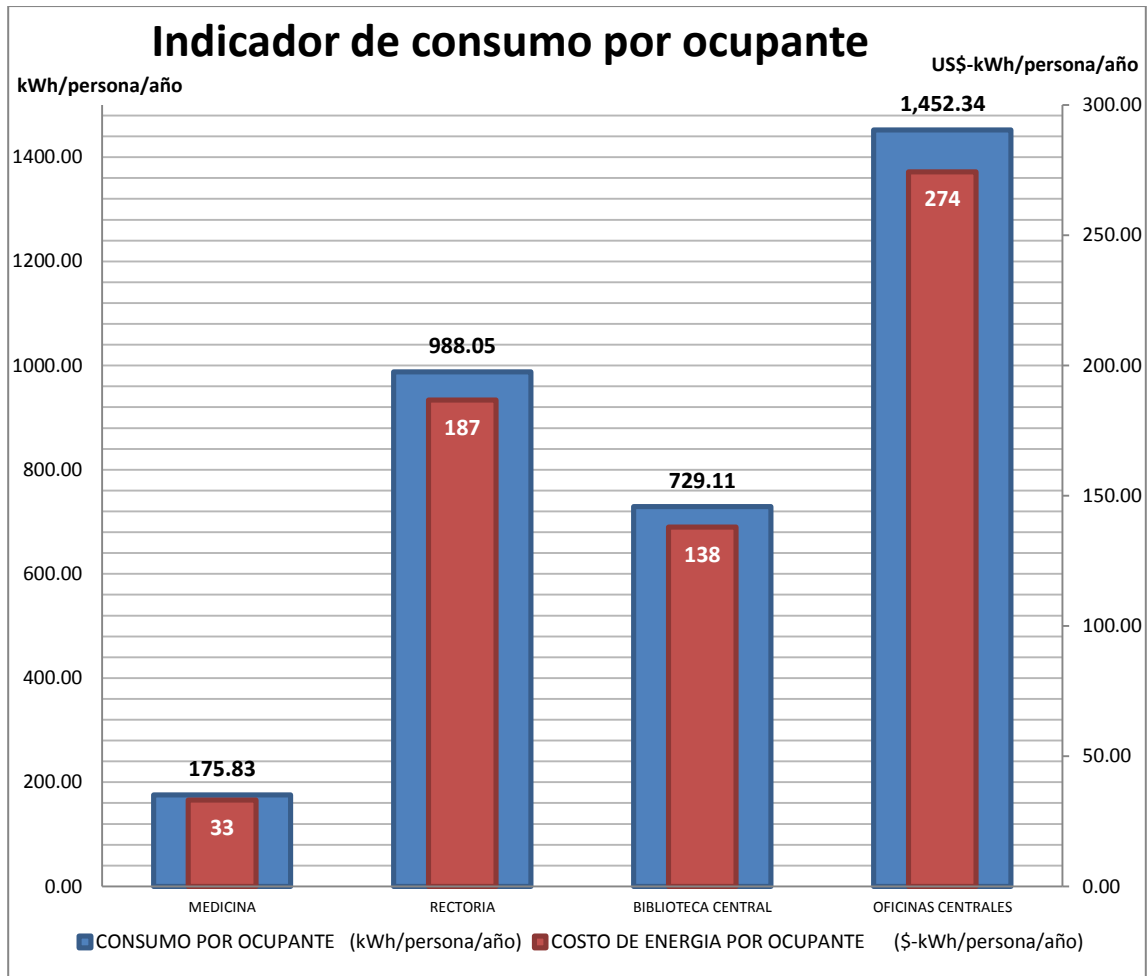


Gráfico 3. 10. Indicadores de consumo por año por persona y costo de energía por ocupante.
Fuente: Resultados de simulación.

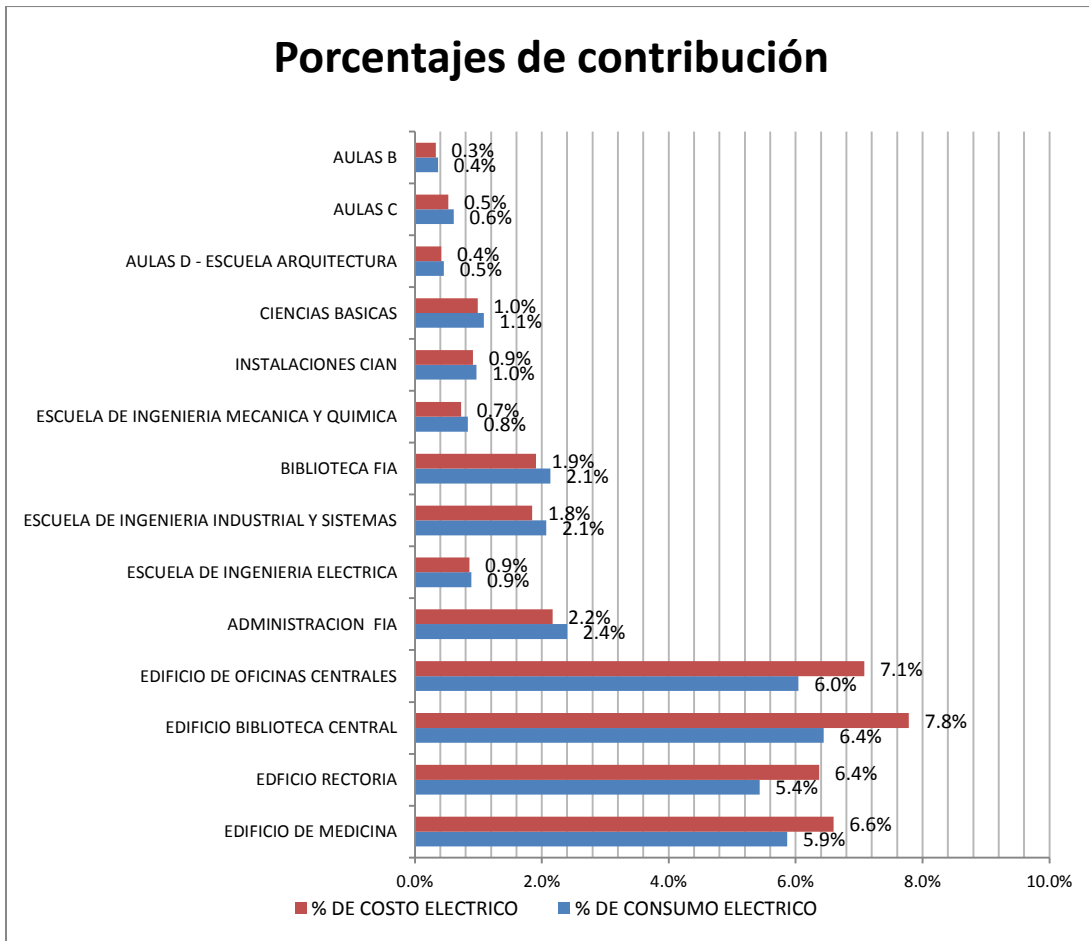


Gráfico 3. 11. Porcentajes de contribución por edificios estudiados en diferentes trabajos respecto al total de la UES.

Fuente: Resultados de simulación.

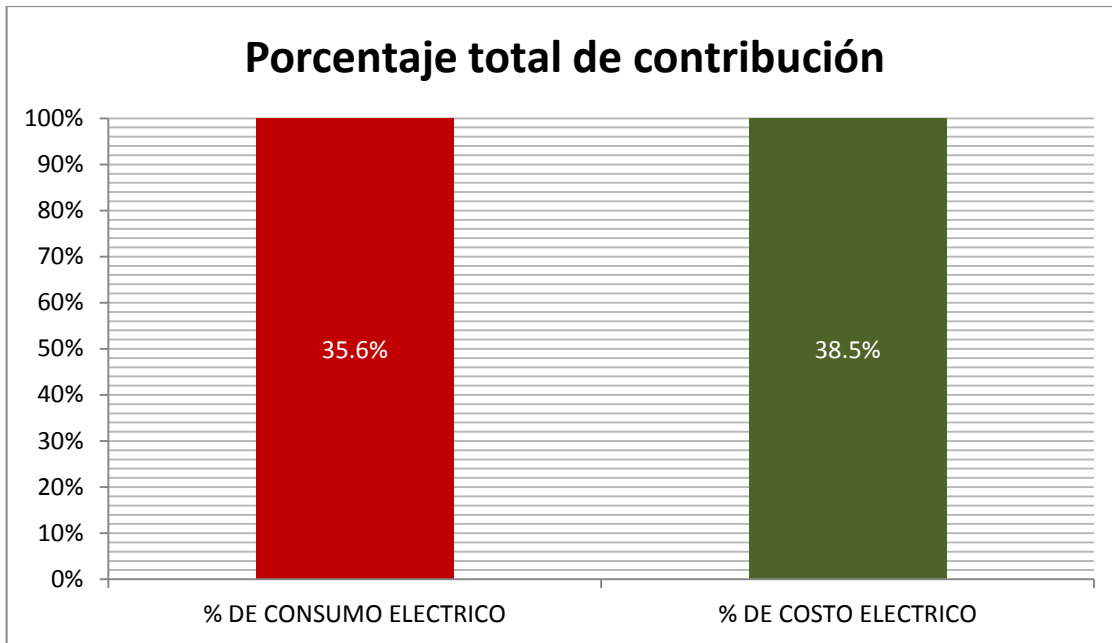


Gráfico 3. 12. Porcentajes totales de contribución de los edificios estudiados en diferentes trabajos respecto al total de la UES.

Fuente: Resultados de simulación.

3.2. ETAPA II. Propuesta de ahorro de energía.

Después de haber identificado los indicadores energéticos y analizado la operación base energética de los edificios seleccionados, pasaremos con las medidas que podrían ser aplicadas para lograr una reducción en el consumo de energía eléctrica y los costos que de ello se originan. Estas propuestas son una serie de acciones que se insertan en modelación virtual base de la sección anterior. Algunas medidas que comúnmente se presentan en EE son:

- Una de las principales medidas es el cambio en actitud de los ocupantes y usuarios de las instalaciones hacia el ahorro de energía. Ya sea con signos visibles como la colocación de viñetas en sitios visibles para recordarle al usuario sobre la importancia de un ahorro de energía o por medio de comités que se preocupen por esta situación.
- Las características de construcción de algunas zonas del edificio. Por ejemplo la instalación de cortasoles o persianas metálicas externas para disminuir la incidencia directa de los rayos solares sobre los vitrales de las instalaciones.
- Utilización de tecnología de aislamiento térmico. Aun cuando se hacen cambios en la fachada del edificio, la utilización de tecnologías de aislación térmica en la

envolvente no está de más. Algunas tecnologías de ejemplo pueden ser: aislación exterior de las paredes, ventana de doble vidrio hermético, etc.

- Cambio y/o instalación de equipos climáticos antiguos por equipos de climatización eficientes. Por ejemplo, los equipos fabricados desde el 2006, los sistemas residenciales fabricados en USA deben tener como mínimo un factor de SEER 13
- Sistemas de iluminación eficiente, por medio de la reestructuración en la envolvente del edificio, teniendo como objetivo bloquear un porcentaje de la luz natural, se debe considerar la cantidad de luz natural que entra al área. Así como debe instalarse un control de encendido y apagado, utilizando por ejemplo Sistemas de control de iluminación automáticos o sencillos como sensores.

Una vez elegidas la lista de acciones para los edificios en estudio, se insertan en el modelo virtual y se realizan prácticas simuladas con el software de análisis térmico y energético, luego se registran los datos para el análisis de comparación y justificación de las medidas.

En esta etapa debe de utilizarse las correspondientes normas para aquellas medidas que tengan cambios físicos en el edificio. Por ejemplo, si se requiere volver hacer un cálculo de luminarias considerando la luz natural se debe de utilizar normas que implique diseño de iluminación, normas de consideraciones de utilización de luz natural, normas de construcción de edificio, etc.

3.2.1. Medidas Energéticas implementadas para los edificios

Recordando las oportunidades de ahorro mencionadas en secciones anteriores, se aplican las medidas de ahorro para las instalaciones. De estas estas oportunidades se toman las medidas ahorrativas de manera que ayuden a reducir los fenómenos visualizados en la infraestructura y el uso de las instalaciones. Las medidas a ser aplicadas se han establecidos en tres grupos tales como:

1. *Cultura de Ahorro Energético.*
 - a. *Apagar luces cuando no se ocupan o en lugares innecesarios*
 - b. *Poner equipos de oficina en modos de bajo consumo o incluso apagarlos cuando no se usen por largo rato*
 - c. *Usar equipos de climatización sólo lo necesario*

2. *Sistema de Iluminación.*
 - a. *Consideración de luz natural*
 - b. *Colocación de tragaluces*
3. *Aires Acondicionados.*
 - a. *Colocación de cortasoles en la fachada del edificio*
 - b. *Eliminación de equipos de A.A. innecesarios o con un grado de eficiencia debajo de la normativa.*
 - c. *Instalación de ventiladores*
 - d. *Aislación térmica en divisiones internas y externas*
 - e. *Escape de calor almacenado en el espacio que existe entre el cielo falso y el techo*
 - f. *Disponibilidad de ventilación natural*
4. *Combinación de las tres medidas anteriores*

Cada una de estas medidas reduce los cargos en un porcentaje respectivo, como se verá más adelante, el ahorro final se hace por medio de la combinación de las tres medidas, produciendo el porcentaje total de ahorro.

3.3. ETAPA III. Comparación y justificación de las medidas.

Las medidas mencionadas anteriormente son aplicadas a los edificios por medio de modelación virtual, de esto se obtienen los resultados que se pueden registrar y observar el comportamiento que cada una de las instalaciones va obteniendo al ir ejecutando cada una de las medidas. Como se dijo también es interesante observar el efecto que tiene sobre las instalaciones la aplicación de las tres medidas en combinación y así justificar el hecho de la necesidad de un cambio en la visión sobre el consumo de electricidad.

3.3.1. Consumos anuales por medida

Luego de haber simulado los consumos anuales por medida para cada uno de los edificios, se obtienen los datos de la tabla 3.2. Puede identificarse como cada los consumos base se van reduciendo en proporción de las medidas aplicadas para obtener un perfil de bajo consumo al aplicar la combinación de medidas.

En el gráfico 3.13, se puede ver más claramente la situación de reducción por medida, se nota como el consumo base se reduce en proporción por cada una de las medidas aplicadas, por ejemplo para el edificio de medicina la medida individual que tiene mayor ahorro es la de sistema de iluminación, y será la que más influye en el ahorro total. Lo que queda claro es que cualquiera de las medidas que se apliquen tendrá un impacto dentro de la reducción del consumo energético, aun la que no tiene costo de inversión, la cultura del ahorro.

CONSUMO DE ENERGIA (kWh/año)					
	BASE	CULTURA DE AHORRO	SISTEMA ILUMINACION	AIRES ACONDICIONADOS	COMBINACION
MEDICINA	276229.28	254313.95	174043.43	259188.65	152255.43
RECTORIA	255905.59	236712.63	228965.87	188352.57	184081.88
BIBLIOTECA CENTRAL	303309.37	286469.2	277725.19	122951.54	125052.81
OFICINAS CENTRALES	284659.6	262636.01	270637.23	275119.67	247171.39

Tabla 3. 2. Consumo de energía anual por medida para cada instalación.
Fuente: Resultados de simulación.

3.3.2. Índices de consumo anual por superficie de construcción

Como se había dicho con anterioridad, uno de los indicadores que refleja el uso adecuado de energía es el de consumo por superficie de construcción, es decir, se puede esperar que en base a la proporción o tamaño de una infraestructura así será su consumo energético, sin embargo, vimos que los edificios más pequeños son los más consumidores de energía, entre otras causas, es la aplicación a la que están destinados.

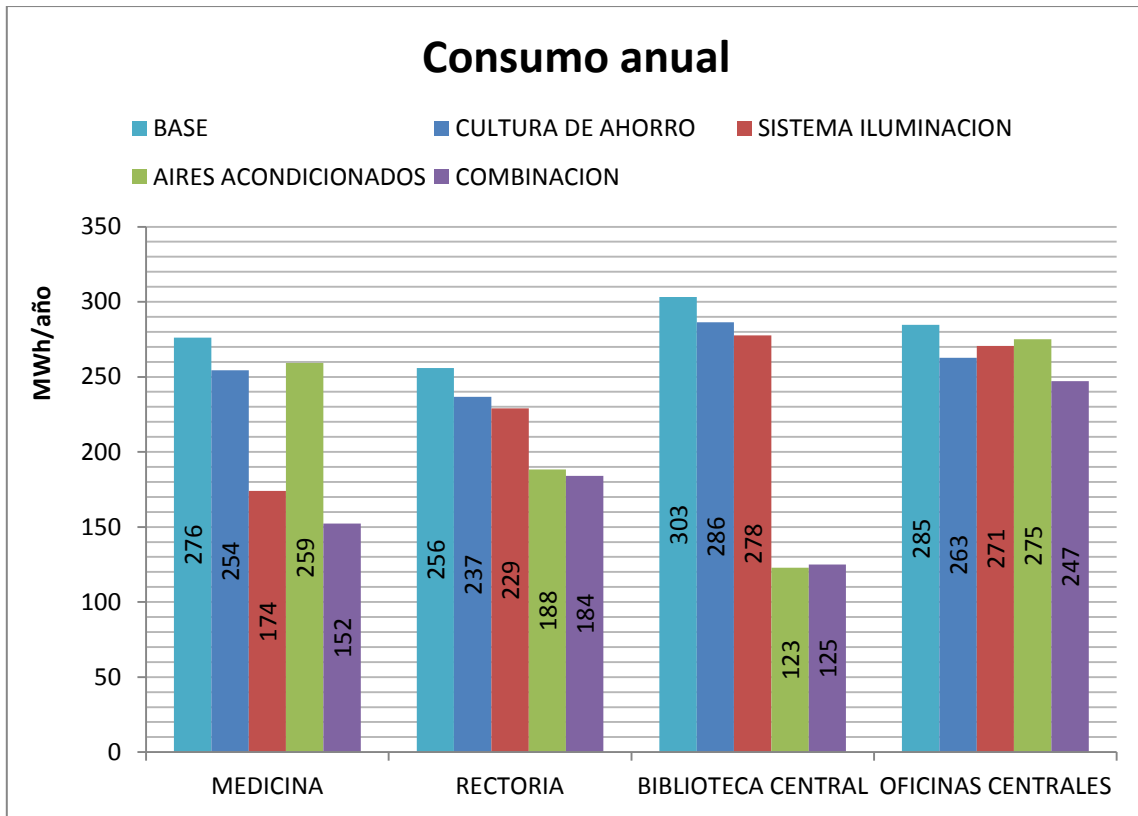


Gráfico 3. 13. Consumo anual por medida aplicada y modelo base.
Fuente: Resultados de simulación.

El gráfico 3.13 muestra el consumo anual de los cuatro edificios comparando el consumo base con el resto de medidas aplicadas a cada edificio, así como la combinación de ellas. En éste, puede verse como las medidas reducen el consumo por cada aplicación, por ejemplo para Medicina, se obtiene una mayor reducción en la medida Sistema de Iluminación, para Rectoría se reduce más el consumo en la medida aplicada a Aires Acondicionados, así para el resto de los edificios.

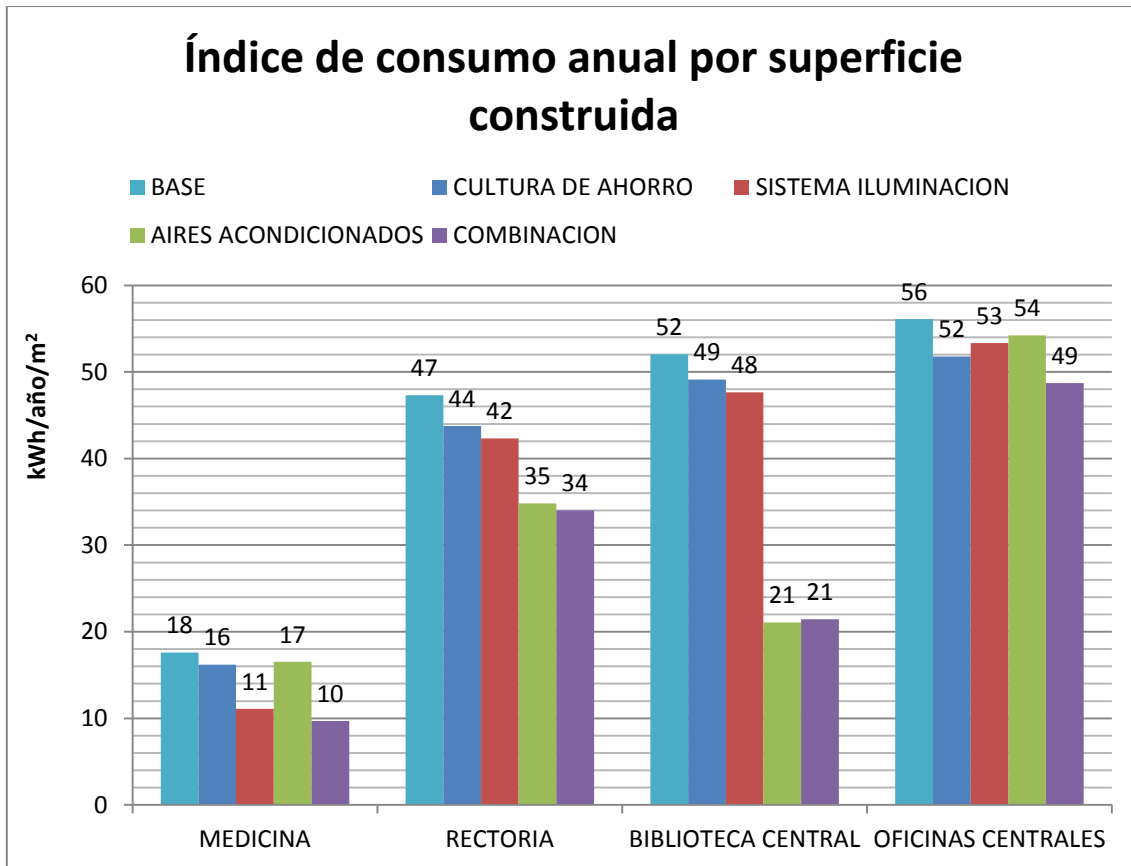


Gráfico 3. 14. Índice de consumo anual por superficie de construcción.
Fuente: Resultados de simulación.

El gráfico 3.14 se puede apreciar cómo los consumos anuales por área se ven afectados, con la aplicación de las medidas. La combinación de medidas muestra en este gráfico cómo los edificios quedarían, en una probable operación, al aplicarse las medidas. En cuanto a proporciones, nuevamente Medicina es la instalación con un menor consumo por superficie de construcción, como en el caso de la operación base.

En el gráfico 3.15 se revelan los consumos anuales por ocupante de las instalaciones, comparando para cada una de las medidas, con la operación base y la combinación. En este caso para el edificio de Biblioteca Central se tiene el indicador más bajo.

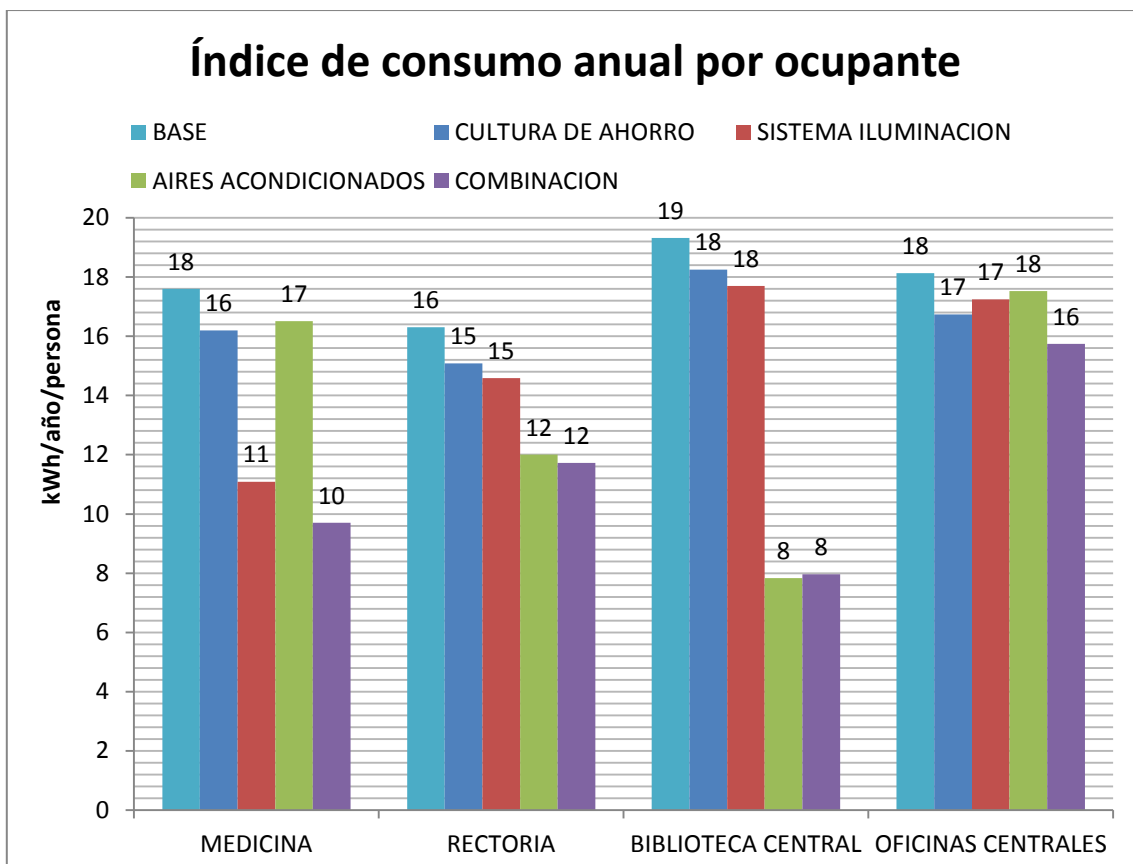


Gráfico 3. 15. Índice de consumo anual por ocupante de las instalaciones.

Fuente: Resultados de simulación.

Por último para esta comparación de resultados, en el gráfico 3.16 se tienen los resultados anuales por medida y por rubro para cada uno de los edificios utilizando el indicador de consumo por área. Nótese como para algunos casos prácticamente se vuelven nulos algunos consumos, como el caso de Medicina para los equipos de Aires Acondicionados, esto debido a la cantidad que de ellos poseen las instalaciones.

Luego se observa la similitud para los edificios restantes en los diferentes rubros, manteniéndose casi constante en lo referente a las luminarias de las instalaciones.

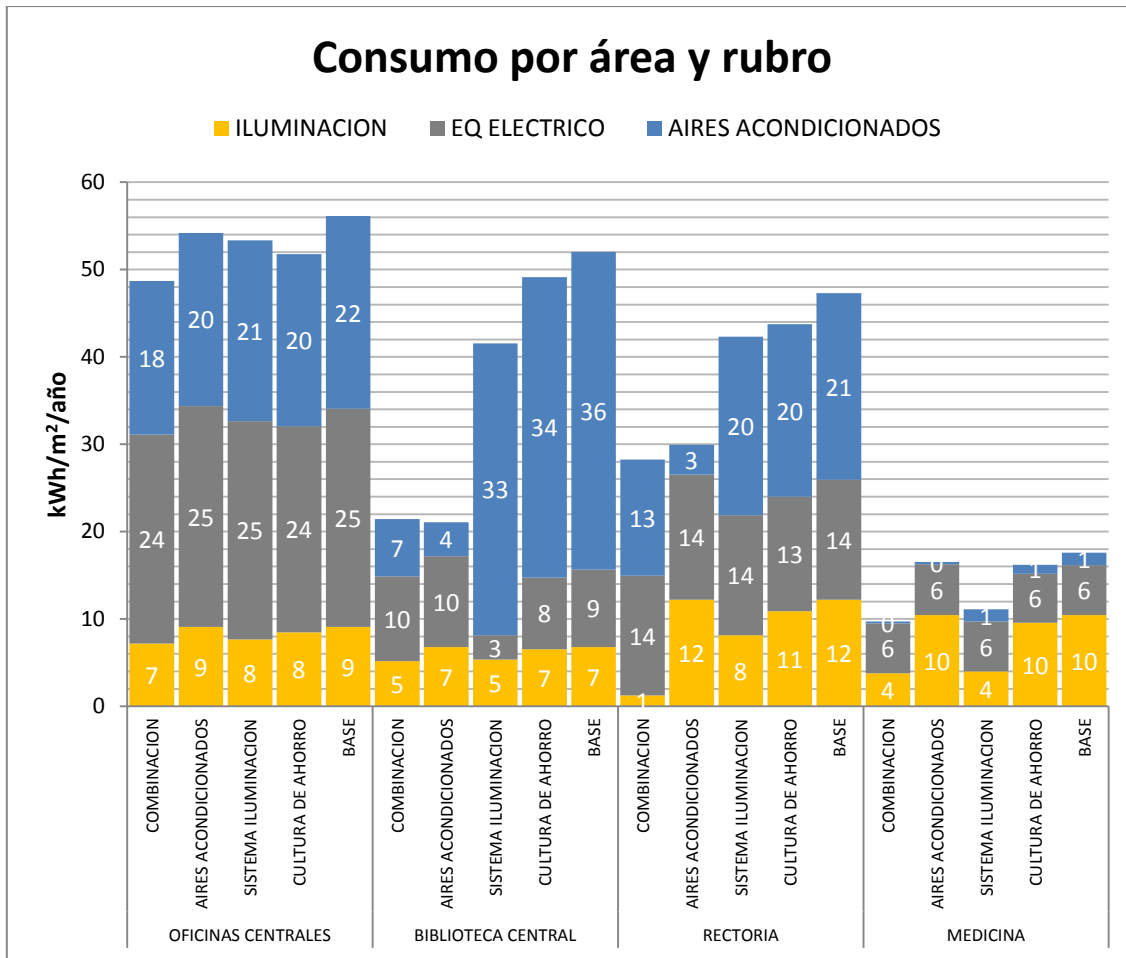


Gráfico 3. 16. Consumo anual por medida y rubro para cada uno de los edificios.
Fuente: Resultados de simulación.

3.3.3. Ahorro por aplicación de medidas

Los gráficos de la sección anterior muestran cómo las medidas aplicadas a los edificios en su operación base energética surten efecto en esa misma operación. En el gráfico 3.17 se pueden observar los porcentajes de operación de los edificios por cada uno de los rubros de uso energético identificados. Esto porcentajes representa una operación de los rubros y las instalaciones en dado caso se llegarán a implementar estas medidas de ahorro energético, de forma individual o en la combinación como se ha venido mencionando.

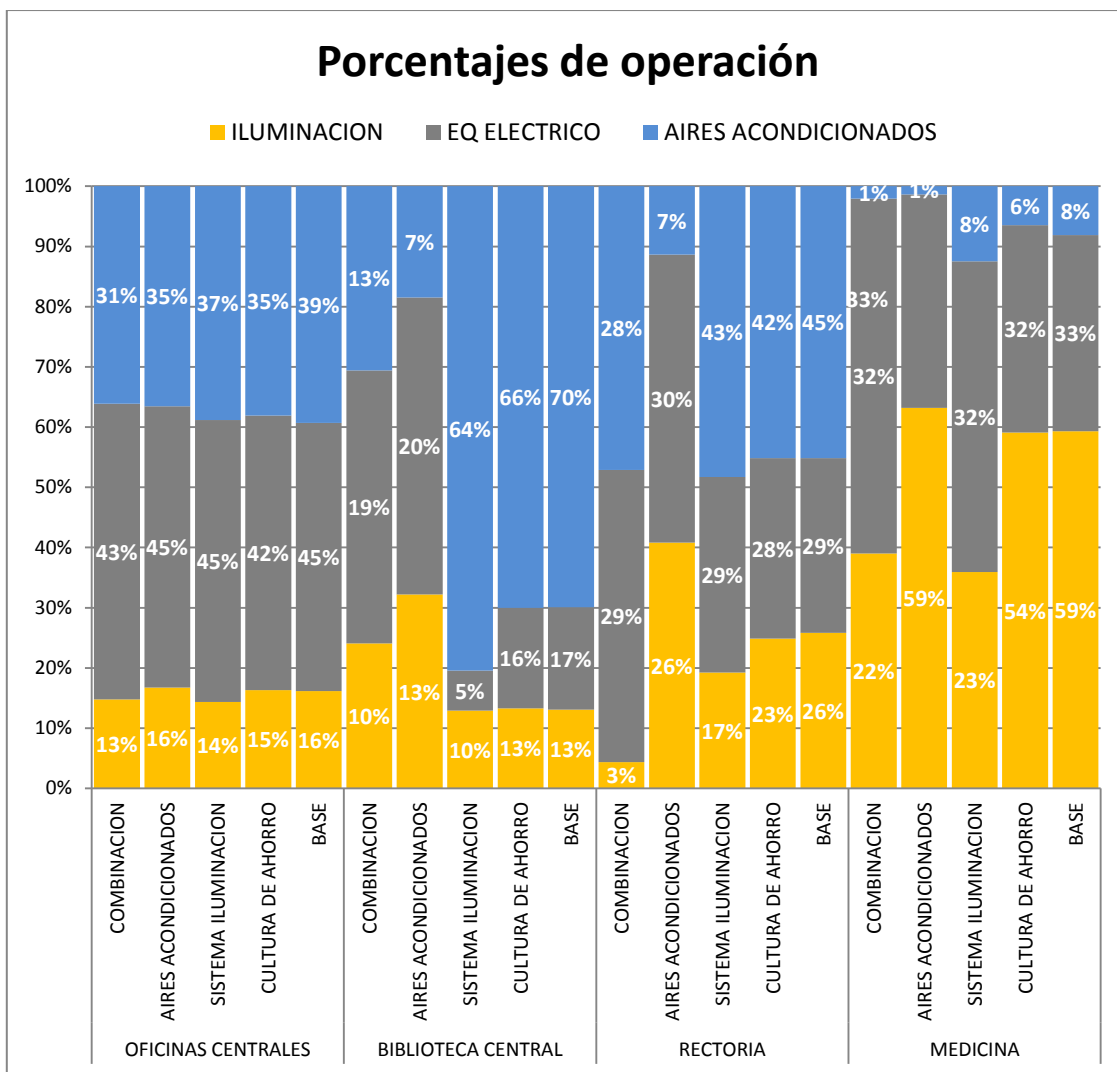


Gráfico 3. 17. Porcentajes de operación por medida y rubro para cada uno de los edificios.
Fuente: Resultados de simulación.

En el gráfico 3.18 se muestra la misma situación que para el gráfico anterior, con la salvedad de haber agregado los porcentajes de reducción al tope de la barra para tener una idea más clara de cuánto porcentaje se reduce por cada medida aplicada en cada uno de los edificios, así en el caso de Medicina se obtiene un porcentaje de reducción de 8% para cultura de ahorro, un 37% para la medida Sistema de Iluminación y un 6% en la de Aires Acondicionados. Nótese que la combinación no es la suma del porcentaje de reducción de todas las medidas anteriores sino que debido a la implementación de las medidas en su conjunto produce una reducción de 45% en el caso de Medicina. La operación base no produce ahorro.

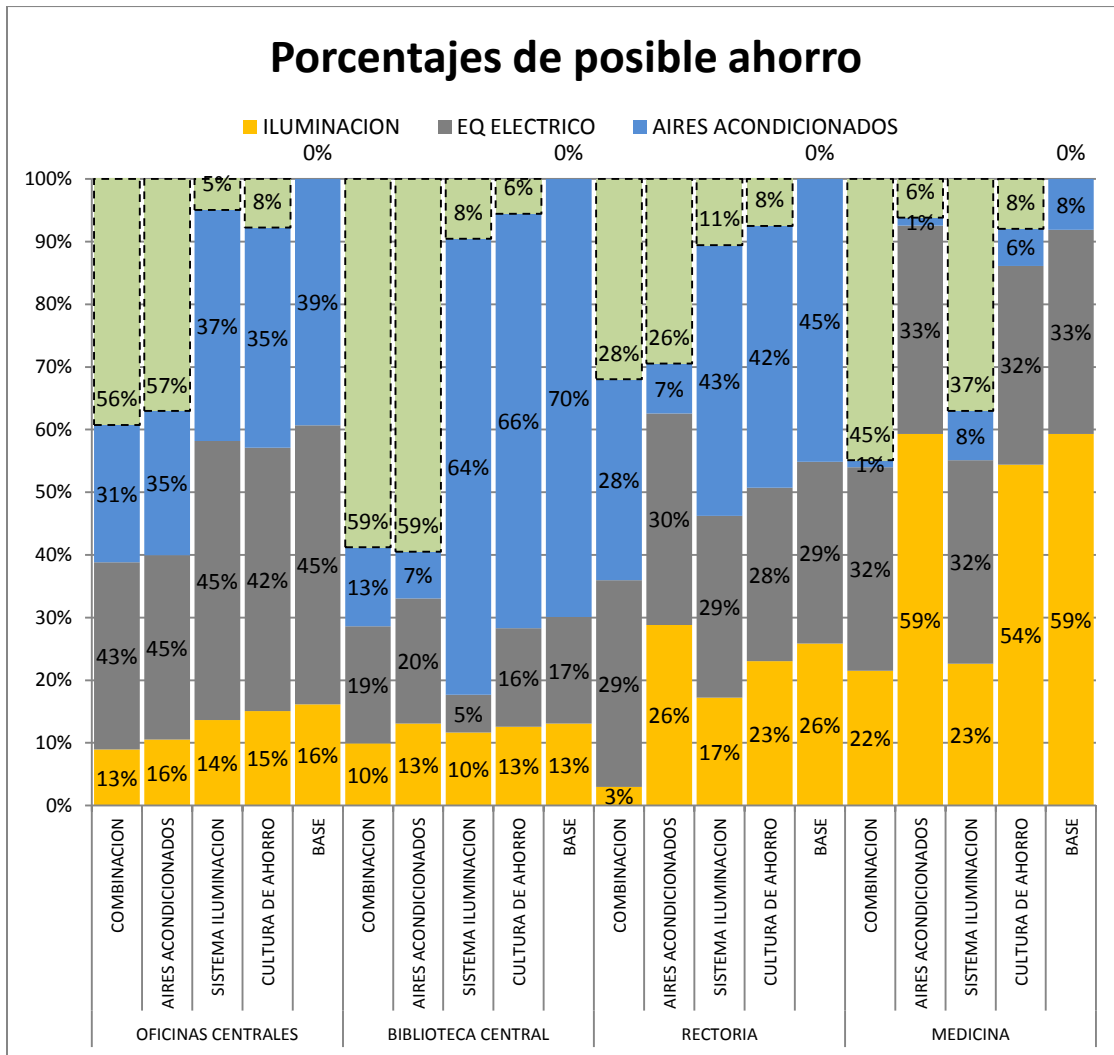


Gráfico 3. 18. Porcentajes de ahorro por medida y rubro para cada uno de los edificios.
Fuente: Resultados de simulación.

Capítulo IV. Evaluación Económica

4.1. Evaluación del Estudio Actual.

Para este trabajo de graduación se realizó una evaluación económica en el cual se tomó como guía IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities, esta literatura establece trasladar la energía en costos por medio del costo en valor presente y trasladar hasta el presente los costos en que puede incurrir la institución que requiere para el sostenimiento de la inversión que requerirá dicho proyecto.

En la tabla 4.1. Se muestran los datos de ahorro en consumo de energía en costo económico de las instalaciones.

Según lo escrito en el párrafo anterior, la institución requiere de una inversión más un capital que solvete los requerimientos monetarios hasta que se vean los ingresos de los ahorros, es decir hasta el tiempo de recuperación establecido. La incógnita está en la inversión total inicial que la institución debería de incurrir si pretenden hacer real el proyecto visto en este trabajo, por lo que, la manera de trabajar en esta sección es considerar y analizar dos períodos de recuperación y observar que es lo más conveniente para la institución.

Ya se obtuvo el ahorro en consumo de energía en costo económico de las instalaciones, véase la tabla 4.1 donde se registran estos datos con los cuales se trabajaran. Si estos ahorros se seccionan a lo largo del período de recuperación sugerido se tendrían ahorros mensuales uniformes tal como lo presenta la columna nombrada AHORRO MENSUAL UNIFORME de la tabla 4.2

Cada uno de los pagos uniformes son hechos en la conclusión de una serie de períodos de tiempos iguales mensuales, tal como se hizo mención antes por lo que se deben de aplicarse el valor presente de un factor de anualidad (PAF) el cual convierte una serie de pagos futuros uniformes en una cantidad de valor presente simple. Entonces, este término se define como:

$$PAF = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (1)$$

Dónde:

n= número de años definidos en meses

i_R = tasa de interés real expresada en decimal mensual.

Para este cálculo, antes se debe de deducir la tasa de interés real considerando la tasa de interés activa (i_c) con la que se hacen los préstamos y considerar también la tasa de inflación anual (f) de la moneda. Para ello se utilizó la tasa de 24.2% publicada por el Banco Central de Reserva, de la misma fuente se obtuvo la inflación de 4.74%. Estos datos se utilizan para determinar la tasa de interés real de la siguiente manera:

$$i_R = \frac{(i_c - f)}{(1 + f)} \quad (2)$$

Dónde:

i_R = tasa de interés real

i_c = tasa de interés activa

f = tasa de inflación anual.

Al sustituir los datos respectivos en la fórmula 2 se tiene que la tasa de interés real será de 18.57%, luego considerando el tiempo de recuperación de uno y dos años, entonces el factor de anualidad del valor presente se muestra en la tabla 4.3.

Por último, se calculó el siguiente término el cual es el valor presente definido como:

$$PW = PAF \times PA \quad (3)$$

Donde:

PW = Valor Presente.

AP = Cantidad de anualidad o Pago de anual equivalente.

PAF = Valor presente de un factor de anualidad

Por lo que la institución deberá de contar con el capital presentado en la tabla 4.1 para los dos periodos de recuperación propuestos, si se examina estos resultados podrá observar que si la institución decidiera hacer realizar una medida también puede observar el capital en que debe de incurrir ya sea para una instalación en particular o para el conjunto de ellas.

Observe de la tabla 4.2 que el total de inversión con que debe de contar la institución es de \$116,621 y \$213,614 para 1 y 2 años respectivamente. Queda al análisis de las autoridades superiores de la Universidad de El Salvador considerar estas soluciones para la mejora de la eficiencia energética de los inmuebles estudiados en este trabajo.

Caso	Detalle	EDIFICIO DE MEDICINA	EDIFICIO RECTORIA	EDIFICIO BIBLIOTECA CENTRAL	EDIFICIO DE OFICINAS CENTRALES	TOTAL
Operación Base	Consumo Eléctrico Anual (kWh)	276,229	255,906	303,309	13,609	849,054
	Costo Eléctrico Anual (\$)	63,849	61,643	75,347	68,562	269,401
	Potencia Pico Anual (kW)	109	160	251	175	695
Cultura de Ahorro	Ahorros de Electricidad (kWh)	21,915	19,193	16,840	1,053	59,001
	Ahorros de Electricidad (\$)	5,066	4,623	4,183	5,305	19,177
	Porcentaje de Reducción	7.93%	7.50%	5.55%	7.74%	7%
	Reducción de Potencia Pico (kW)	9	12	14	14	48
Sistema de Iluminación	Ahorros de Electricidad (kWh)	102,186	26,940	25,584	670	155,380
	Ahorros de Electricidad (\$)	23,620	6,489	6,356	3,377	39,842
	Porcentaje de Reducción	36.99%	10.53%	8.44%	4.93%	18%
	Reducción de Potencia Pico (kW)	40	17	21	9	87
Aire Acondicionado	Ahorros de Electricidad (kWh)	17,041	67,553	180,358	7,731	272,683
	Ahorros de Electricidad (\$)	3,939	16,272	44,804	38,948	103,963
	Porcentaje de Reducción	6.17%	26.40%	59.46%	56.81%	32%
	Reducción de Potencia Pico (kW)	7	42	149	99	298
Combinación de medidas	Ahorros de Electricidad (kWh)	123,974	71,824	178,257	7,631	381,685
	Ahorros de Electricidad (\$)	28,656	17,301	44,282	38,442	128,681
	Porcentaje de Reducción	44.88%	28.07%	58.77%	56.07%	45%
	Reducción de Potencia Pico (kW)	49	45	147	98	339

Tabla 4. 1. Costos asociados al consumo de energía tanto para el modelo línea base como para cada una de las condiciones de ahorro establecidas así como la combinaciones de estas.

Fuente: Resultados de Simulación.

Edificio	Combinación de medidas (US\$)		
	AHORRO MENSUAL UNIFORME	1 año (12 meses)	2 año (24 meses)
MEDICINA	2388	25,970	47,570
RECTORIA	1442	15,680	28,720
BIBLIOTECA CENTRAL	3690	40,132	73,509
OFICINAS CENTRALES	3204	34,839	63,815
TOTAL	----	116,621	213,614

Tabla 4. 2. Ahorros trasladados al tiempo para cada edificio justo con la inversión respectiva según el tiempo de recuperación.

$I_R = 18.57\%$	Periodo de recuperación (año)	
	1 (12 meses)	2 (24 meses)
PAF (%)	10.88	19.92

Tabla 4. 3. Factor de anualidad presente para 1 y 2 años de recuperación.

4.2. Integración de Evaluación Económica.

Como en este trabajo de graduación se toma como referencia el estudio denominado Eficiencia Energética en Edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, en este estudio se realizó un análisis económico de ahorro de consumo de energía eléctrica, obtenido mediante una serie de medidas de ahorro aplicadas al conjunto de edificios que componen esta facultad.

Por eso en esta sección se muestra en la tabla 4.4 la integración de los datos de ahorro en consumo de energía en costo económico tanto de los inmuebles estudiados en este trabajo de graduación como los estudiados con anterioridad en el trabajo descrito anteriormente.

Observe de la tabla 4.4, en este caso de considerar las medidas a todos los edificios estudiados que el total de inversión con que debe de contar la institución es de \$150,056 y \$274,858 para 1 y 2 años respectivamente. Queda al análisis de las autoridades superiores de la Universidad de El salvador el considerar estas soluciones para así mejorar la eficiencia energética de las instalaciones estudiadas en este trabajo de graduación.

Edificio	Combinación de medidas (US\$)		
	AHORRO MENSUAL UNIFORME	1 año (12 meses)	2 año (24 meses)
MEDICINA	2388	25,970	47,570
RECTORIA	1442	15,680	28,720
BIBLIOTECA CENTRAL	3690	40,132	73,509
OFICINAS CENTRALES	3204	34,839	63,815
ADMINISTRACION FIA	504	5,476	10,031
ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRICA	140	1,525	2,793
ESCUELA DE INGENIERIA INDUSTRIAL Y SISTEMAS	601	6,537	11,975
BIBLIOTECA FIA	516	5,614	10,283
ESCUELA DE INGENIERIA MECANICA Y QUIMICA	111	1,209	2,215
INSTALACIONES CIAN	334	3,637	6,661
INSTALACIONES DOCENTES	408	4,439	8,131
AULAS D - ESCUELA ARQUITECTURA	119	1,290	2,363
AULAS C	168	1,822	3,337
AULAS B	173	1,887	3,456
TOTAL	----	150,056	274,858

Tabla 4. 4. Integración de datos de ahorro en consumo en costo económico de todos los edificios a los cuales se les ha aplicado un estudio de eficiencia energética en la Universidad de El salvador.

Fuente: Datos de simulación.

Recomendaciones

La Universidad debe hacer un inventario de equipos de oficina y eléctricos en general, así como de los equipos de aire acondicionado con tal obtener la información mínima necesaria de datos técnicos y operativos de los mismos, también debe realizarse un registro constante de la cantidad de personal que hace uso de las instalaciones y con el fin de recopilarlos datos de una manera más ágil y eficaz.

Que en la Escuela de Ingeniería Eléctrica y en ramas afines se fomente el uso de herramientas informáticas de análisis térmico y energético tal como ENERGY PLUS para el análisis y diseño de edificios dentro del campus de la Universidad. Así como herramientas (metodologías y normas) que ayuden a evaluar los rendimientos de operación energética en las instalaciones. Sobre todo las destinadas a la construcción (especialmente Ingeniería Civil y Arquitectura), acerca de la importancia de tener en cuenta en su currícula, asignaturas o cursos que estén relacionadas con los estudios de eficiencia energética, en la aplicación de herramientas efectivas para tales estudios.

La Universidad debe optar por la promoción y fomento de auditorías energéticas a las diferentes instalaciones del Campus de manera periódica con el fin que se tenga un conocimiento en el uso y gastos de electricidad en que incurre la Universidad.

Instalar en cada una de las edificaciones un sistema de equipos de medición que permitan el monitoreo de parámetros eléctricos del uso energético que se hace en cada uno de ellos para poder realizar las medidas correspondientes de ahorro energético, así como tener un registro sobre el uso de la energía y potencia de cada edificio para posteriores estudios en los mismos.

Que las autoridades de la Universidad se conviertan en agentes de eficiencia energética con un plan adecuado de ahorro energético en los edificios y en la cultura de las personas, docentes, administrativos y estudiantes creando una estructura interna, por medio de un comité energético de la institución o algo similar, en dónde sean los principales encargados las autoridades superiores teniendo como función velar por el cumplimiento de acciones hacia un ahorro energético en las distintas instalaciones. Si bien es cierto el uso de las nuevas alternativas de generación de electricidad, es de gran utilidad para la independencia de energías provenientes de combustibles fósiles, es mucho más importante informar a los

usuarios y concientizarlos de la importancia de la aplicación de las medidas de eficiencia y ahorro energético mediante presentaciones, panfletos u otro medio de información.

Conclusiones

Que a través de la historia siempre ha habido diferentes intereses casi siempre de índole político y económico que perjudican a otros sectores y esto también influyó en el crecimiento acelerado de centrales térmicas las que provocan una mayor dependencia de los productos derivados del petróleo y siendo fuentes de efecto invernadero.

Que los gastos en que incurre la Universidad de El Salvador debido a la facturación eléctrica son bastante altos por lo menos en los tres años planteados se observa un consumo cerca de los 5GWh y un gasto de casi un millón de dólares. Lo que se agrava aún más con las tendencias de las tarifas eléctricas por la dependencia de la generación en el petróleo.

Que a nivel nacional existe un interés por la reducción de la dependencia del petróleo tanto por los costos como por la contaminación que éstos producen, pero también políticas hacia otro tipo de fuentes de energía menos contaminantes e incluso con un impacto casi nulo al medio ambiente, así como al mejor uso de los recursos energéticos que se posee actualmente por medio de la eficiencia y ahorro energéticos.

Que se ha comprobado que el diseño de construcción de las edificaciones influye en el funcionamiento energético de los mismos, aunado al uso irracional que hacen los ocupantes de las instalaciones hacen que los gastos en que incurre la Universidad sean grandes.

Que un buen diseño de una construcción, el uso de ventilación e iluminación natural, escapes de calor, entre otros, permite obtener reducción en el gasto de energía eléctrica, sin sacrificar el confort necesario para el desempeño de las labores.

Que es importante tomar conciencia que lo que se desperdicia en electricidad se despilfarra también en costo monetario provocando que no se utilicen de manera adecuada los recursos económicos en áreas administrativas o académicas.

Bibliografía

- Building Technology Program. U.S Department of Energy.
<http://www1.eere.energy.gov/buildings/>
- Programa EnergyPlus Versión 7.1 y Manual de EnergyPlus.
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- Trabajo de graduación: Aplicación de simuladores de energía.
José Luis Gálvez Osorto. 2010
- Trabajo de graduación: Eficiencia energética en los edificios de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador
Juan Pablo Cartagena. 2012
- Introduction to Building Simulation and EnergyPlus.
Undergraduate Course Curriculum Information.
Material preparado por: GARD Analytics, Inc. and University of Illinois at Urbana-Champaign under contract to the National Renewable Energy Laboratory. All material Copyright 2002-2003 U.S.D.O.E.
- IEEE Std 739-1995, IEEE Recommended Practice for Energy Management in Industrial and Commercial Facilities (IEEE Bronze Book), American National Standard (ANSI).
- ASHRAE. 2007. ASHRAE Handbook – Fundamentals.
Chapter 26, THERMAL AND WATER VAPOR TRANSMISSION DATA, Table 4 Typical Thermal Properties of Common Building and Insulating Materials—Design Values. Chapter 30, Nonresidential Cooling and Heating Load Calculations, Table 19 Thermal Properties and Code Numbers of Layers Used in Wall and Roof Descriptions. Chapter 39 Physical Properties of Materials, Table 3 Properties of Solids.
Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. 2004. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE Standard 90.1-2004. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc.

- ASHRAE. 2004. Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings, ASHRAE Standard 90.2-2004. Atlanta, GA: American Society of Heating Refrigerating and Air- Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2001). ASHRAE Standard 62.1-2001 Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2004a). Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings: Achieving 30% Energy Savings Over ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- ASHRAE. (2006). Advanced Energy Design Guide for Small Retail Buildings: Achieving 30% Energy Savings Over ANSI/ASHRAE/IESNA Standard 90.1-1999. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
- Technical Support Document: Development of the Advanced Energy Design Guide for Small Office Buildings. Jarnagin, R.E.; Liu, B.; Winiarski, D.W.; McBride, M.F.; Suharli, L.; Walden, D. (2006). Richland, WA: Pacific Northwest National Laboratory, Report No. PNNL-16250.
- Technical Support Document: Strategies for 50% Energy Savings in Large Office Buildings. Matthew Leach, Chad Lobato, Adam Hirsch, Shanti Pless, and Paul Torcellini. Technical Report NREL/TP-550-49213 September 2010.
- Martínez Aarón. Borrador: Caracterización de edificios públicos. Preparado para PNUD. 2010.
- Martínez Aarón. Análisis estadístico de consumo energético en Hospitales en El Salvador. Preparado para PNUD. 2010.
- Boletín de Estadísticas Eléctricas 2011
Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones (SIGET)
<http://www.siget.gob.sv/>
- Eficiencia Energética Tatiana Salazar
Unidad de Capacitación y Asistencia Técnica - UCATEE
<http://www.cnpml.org.sv/ucatee/UCATEEBreve/ee.aspx>

- Consejo Nacional de Energía. - CNE
Gobierno de El Salvador
<http://www.cne.gob.sv/>

Anexos

Tabla de consumo y costo de energía Año 2009

Medidor ID	FTE. ANDA (95203319)				MEDICINA(95271914)				AGRONOMÍA (95203324)				INGENIERÍA-FOSA (95888646)			
	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)
Enero	52,680.00	276.00	95.60	9,241.50	23,016.00	124.00	100.00	4,037.85	129,899.00	726.00	90.50	22,906.53	35,596.00	231.00	87.10	6,384.40
Febrero	77,880.00	324.00	96.20	14,053.89	28,320.00	136.00	100.00	5,141.01	168,630.00	748.00	91.70	30,472.13	48,070.00	253.00	89.80	8,833.94
Marzo	90,360.00	348.00	100.00	16,245.91	35,720.00	140.00	100.00	6,387.63	197,120.00	902.00	92.10	35,789.44	63,030.00	297.00	92.20	11,479.83
Abril	83,268.00	372.00	96.20	15,296.98	31,440.00	148.00	100.00	5,736.55	187,880.00	946.00	90.80	34,748.76	56,650.00	275.00	89.60	10,412.17
Mayo	98,292.00	372.00	96.60	17,897.22	34,960.00	136.00	100.00	6,347.65	224,730.00	924.00	91.70	41,092.86	69,410.00	275.00	91.20	12,620.99
Junio	79,920.00	384.00	96.10	14,827.08	27,360.00	128.00	100.00	5,037.13	174,460.00	913.00	91.20	32,536.17	51,920.00	297.00	90.30	9,760.44
Julio	71,880.00	324.00	95.40	13,217.84	26,760.00	128.00	100.00	4,935.82	179,960.00	902.00	90.10	33,433.00	49,126.00	308.00	89.00	9,318.35
Agosto	84,120.00	360.00	96.00	15,459.80	30,880.00	144.00	100.00	5,704.39	188,760.00	913.00	90.50	35,030.19	64,944.00	330.00	89.80	12,109.76
Septiembre	94,680.00	372.00	96.30	17,285.57	36,600.00	148.00	100.00	6,671.35	221,210.00	990.00	90.90	40,805.57	70,290.00	319.00	91.20	12,973.97
Octubre	99,876.00	360.00	96.50	16,462.01	37,616.00	136.00	99.90	6,162.52	224,125.00	968.00	90.50	37,377.42	71,819.00	297.00	90.60	11,907.55
Noviembre	101,460.00	360.00	96.70	16,003.88	33,852.00	128.00	100.00	5,334.40	218,295.00	913.00	91.20	34,769.62	70,884.00	286.00	91.20	11,251.02
Diciembre	51,516.00	336.00	95.10	8,605.52	26,324.00	116.00	100.00	4,237.60	108,273.00	858.00	90.90	18,592.39	32,692.00	275.00	80.30	5,676.92
TOTAL	985,932.00			174,597.20	372,848.00			65,733.90	2223,342.00			397,554.08	684,431.00			122,729.34

Continuación año 2009

Medidor ID	DERECHO (00749315)				COMPLEJO - FIA (95293325)				ECONOMÍA - ADMON (95112906)				ADMON - ODONTOLOGÍA (95597649)			
	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)
Enero	13,211.24	99.06	96.20	2,432.41	30,426.00	132.00	91.60	5,156.90	1,733.00	--	--	318.49	382.00	--	--	70.20
Febrero	19,803.06	107.18	95.90	3,676.24	35,530.00	154.00	92.70	6,324.20	2,834.00	--	--	580.07	322.00	--	--	65.92
Marzo	22,632.06	64.96	95.90	3,984.52	41,910.00	187.00	93.10	7,500.66	3,136.00	--	--	641.89	324.00	--	--	66.30
Abril	21,193.20	125.05	95.60	4,001.57	37,730.00	187.00	92.70	6,879.53	2,905.00	--	--	599.37	339.00	--	--	69.95
Mayo	26,454.96	116.93	95.20	4,895.48	44,000.00	132.00	93.50	7,740.66	3,703.00	--	--	767.04	346.00	--	--	71.67
Junio	20,429.92	120.18	95.20	3,876.14	36,850.00	132.00	92.60	6,541.63	3,185.00	--	--	659.75	343.00	--	--	71.05
Julio	18,611.04	115.30	94.90	3,550.46	36,410.00	143.00	92.60	6,477.85	2,960.00	--	--	613.14	341.00	--	--	70.64
Agosto	22,492.40	120.18	95.30	4,232.74	38,170.00	154.00	92.60	6,842.84	3,032.00	--	--	628.06	384.00	--	--	79.54
Septiembre	25,642.96	116.93	95.30	4,757.77	42,350.00	132.00	93.50	7,466.80	3,533.00	--	--	731.83	373.00	--	--	77.27
Octubre	26,407.87	120.18	95.40	4,442.58	46,398.00	176.00	93.40	7,548.21	4,008.00	--	--	767.18	253.00	--	--	48.42
Noviembre	25,769.63	108.81	95.90	4,121.55	45,529.00	121.00	93.40	6,903.85	3,322.00	--	--	607.12	223.00	--	--	40.74
Diciembre	10,810.97	100.69	96.20	1,916.75	30,184.00	99.00	90.50	4,605.54	1,889.00	--	--	347.06	221.00	--	--	40.37
TOTAL	253,459.31			45,888.21	465,487.00			79,988.67	36,240.00	--	--	7,261.00	3,851.00	--	--	772.07

Tabla de consumo y costo de energía Año 2010

Medidor ID	FTE. ANDA (95203319)				MEDICINA(95271914)				AGRONOMÍA (95203324)				INGENIERÍA-FOSA (95888646)			
	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)
Enero	59,028.00	312.00	95.90	9,614.70	900.00	116.00	100.00	559.35	150,777.00	968.00	96.70	25,114.17	43,725.00	231.00	83.90	7,052.47
Febrero	80,002.00	342.39	96.08	12,801.59	27,093.00	128.48	99.98	4,367.15	181,213.00	914.67	91.78	29,335.49	57,775.00	283.37	88.00	9,335.29
Marzo	58,838.00	372.00	96.90	9,783.14	7.00	0.00	100.00	0.95	175,297.00	1056.00	96.50	28,900.25	42,875.00	297.00	86.70	7,199.55
Abril	107,880.00	396.00	96.70	19,762.26	0.00	0.00	0.00	0.00	261,580.00	1100.00	96.90	48,253.48	70,180.00	330.00	90.90	13,060.33
Mayo	101,640.00	408.00	96.80	19,380.47	0.00	0.00	0.00	0.00	252,670.00	1133.00	95.70	48,494.09	69,520.00	319.00	91.20	13,347.42
Junio	102,000.00	372.00	96.70	19,301.05	0.00	0.00	0.00	0.00	223,960.00	1034.00	93.80	43,052.22	59,400.00	275.00	90.50	11,427.89
Julio	79,680.00	360.00	96.50	15,330.71	0.00	0.00	0.00	0.00	196,680.00	990.00	93.00	38,128.95	46,860.00	253.00	90.40	9,142.75
Agosto	91,320.00	348.00	96.10	17,309.43	0.00	0.00	0.00	0.00	237,380.00	1001.00	91.20	45,233.77	59,364.00	300.99	89.10	11,498.54
Septiembre	88,200.00	372.00	96.40	16,855.43	0.00	0.00	0.00	0.00	230,450.00	1078.00	91.80	44,344.84	20,350.00	242.00	89.70	4,462.71
Octubre	94,440.00	372.00	96.70	15,844.59	0.00	0.00	0.00	0.00	238,150.00	1078.00	92.50	40,314.51	64,240.00	275.00	91.91	10,805.33
Noviembre	98,160.00	336.00	97.00	15,586.47	0.00	0.00	0.00	0.00	256,960.00	1056.00	92.10	41,368.61	65,450.00	286.00	91.60	10,592.51
Diciembre	41,388.00	288.00	94.50	6,999.36	0.00	0.00	0.00	0.00	114,543.00	880.00	89.10	19,556.76	29,623.00	220.00	82.90	5,023.61
TOTAL	1002,576.00			178,569.2000	28,000.00			4,927.45	2519,660.00			452,097.14	629,362.00			112,948.40

Continuación año 2010

Medidor ID	DERECHO (00749315)				COMPLEJO - FIA (95293325)				ECONOMÍA - ADMON (95112906)				ADMON - ODONTOLOGÍA (95597649)			
	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)
Enero	13,518.17	89.32	95.40	2,265.61	31,559.00	165.00	91.40	5,056.81	2,106.00			384.3900	212.00			38.6900
Febrero	20,321.00	106.97	95.58	3,320.99	38,060.00	165.00	92.50	5,998.52	3,425.00			625.1200	240.00			43.8100
Marzo	11,639.32	108.81	95.70	2,064.15	28,050.00	121.00	90.30	4,389.41	2,938.00			536.2400	210.00			38.3300
Abril	26,000.24	116.93	95.80	4,842.48	46,640.00	165.00	92.50	8,393.26	4,119.00			839.4000	225.00			45.8300
Mayo	24,830.96	118.55	96.20	4,807.53	43,120.00	176.00	92.70	8,120.83	4,513.00			972.4900	236.00			50.8500
Junio	24,035.20	112.06	96.40	4,647.11	47,080.00	132.00	92.80	8,631.44	4,277.00			921.6200	222.00			47.8400
Julio	19,439.28	108.81	96.30	3,822.50	32,450.00	165.00	93.10	6,232.94	3,397.00			732.0000	194.00			41.8100
Agosto	23,418.08	107.18	97.00	4,507.56	47,520.00	187.00	92.30	8,902.70	4,176.00			899.8600	260.00			56.0300
Septiembre	21,436.80	105.56	97.10	4,152.86	37,730.00	154.00	93.50	7,103.52	3,429.00			738.9000	229.00			49.3500
Octubre	22,492.40	107.18	96.50	3,850.54	40,920.00	121.00	93.40	6,562.43	3,296.00			640.5000	303.00			58.9000
Noviembre	23,726.64	102.31	96.90	3,856.15	46,970.00	187.00	93.70	7,366.09	3,174.00			583.2300	338.00			62.1200
Diciembre	7,756.22	84.45	97.70	1,418.54	34,001.00	99.00	90.20	5,102.18	2,295.00			421.7200	304.00			55.8600
TOTAL	238,614.31			43,556.02	474,100.00			81,860.13	41,145.00			8,295.4700	2,973.00			589.4200

Tabla de consumo y costo de energía Año 2011

Medidor ID	FTE. ANDA (95203319)				AGRONOMÍA (95203324)				INGENIERÍA-FOSA (95888646)				DERECHO (00749315)			
	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)
Enero	56,172.00	288.00	95.80	9,753.51	160,127.00	880.00	90.40	28,042.66	41,107.00	242.00	3346.43	7,281.80	12,803.62	95.82	96.40	2,345.52
Febrero	86,640.00	348.00	97.00	15,083.53	235,840.00	1012.00	92.20	41,212.61	56,826.00	286.00	3848.40	10,108.79	20,949.60	97.44	96.80	3,694.60
Marzo	68,160.00	396.00	96.40	12,314.40	181,390.00	1122.00	90.60	32,880.87	46,684.00	286.00	4226.70	8,484.45	15,151.92	110.43	96.50	2,819.71
Abril	87,120.00	384.00	96.20	17,114.30	218,020.00	1100.00	91.90	43,326.10	55,352.00	286.00	4183.04	11,018.80	20,511.12	108.31	96.70	4,100.40
Mayo	105,000.00	396.00	96.90	21,051.99	258,390.00	1089.00	92.60	52,225.72	59,598.00	275.00	4141.21	12,130.01	24,766.00	113.68	96.20	5,051.36
Junio	104,520.00	396.00	97.00	20,955.48	259,490.00	1111.00	92.70	52,494.52	61,270.00	253.00	4224.87	12,352.56	25,107.04	118.55	96.10	5,134.89
Julio	77,760.00	348.00	96.60	17,661.69	214,610.00	1012.00	92.30	48,864.11	50,787.00	253.00	3848.39	11,552.55	20,235.04	110.43	96.00	4,673.13
Agosto	87,360.00	360.00	96.90	20,389.18	224,180.00	990.00	92.90	52,439.34	54,481.00	270.16	3764.74	12,866.95	22,687.28	115.30	96.60	5,374.99
Septiembre	95,880.00	372.00	96.90	22,289.53	230,010.00	990.00	92.10	53,725.44	55,897.00	276.47	3764.74	13,196.97	22,151.36	107.18	96.80	5,226.89
Octubre	83,520.00	348.00	96.80	18,312.09	205,260.00	1001.00	92.50	45,492.07	112,576.44	348.00	3806.57	23,645.97	18,578.56	103.94	97.20	4,176.75
Noviembre	97,800.00	348.00	97.50	20,764.84	226,380.00	1023.00	92.70	48,811.77	59,170.00	253.00	3890.23	12,790.05	22,427.44	113.68	97.10	7,893.31
Diciembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	949,932.00			195,690.54	2413,697.00			499,515.21	653,748.44			135,428.90	225,368.98			50,491.55

Continuación año 2011

Medidor ID	COMPLEJO - FIA (95293325)				ECONOMÍA - ADMON (95112906)				ADMON - ODONTOLOGÍA (95597649)			
	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)	(kWh)	kW	FP	(\$)
Enero	34,309.00	154.00	91.50	5,813.64	2,027.00			393.38	249.00			48.33
Febrero	42,240.00	165.00	93.10	7,265.85	3,153.00			627.83	262.00			52.17
Marzo	34,540.00	143.00	92.80	5,961.74	2,989.00			595.13	286.00			56.94
Abril	36,960.00	143.00	92.20	7,097.22	3,615.00			787.33	385.00			83.85
Mayo	42,900.00	132.00	93.40	8,381.55	4,203.00			954.67	364.00			82.67
Junio	44,110.00	132.00	93.80	8,609.54	4,157.00			944.20	282.00			64.04
Julio	37,400.00	110.00	93.30	8,239.17	4,057.00			1,011.85	276.00			68.84
Agosto	36,630.00	110.00	93.50	8,366.03	3,799.00			994.05	261.00			68.30
Septiembre	39,160.00	176.00	93.90	9,128.69	3,723.00			974.16	279.00			72.99
Octubre	37,400.00	121.00	93.40	7,966.07	3,158.00			782.12	186.00			46.06
Noviembre	39,140.00	110.00	94.50	8,458.48	3,251.00			780.14	307.00			73.66
Diciembre	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00			0.00	0.00			0.00
TOTAL	424,789.00			85,287.98	38,132.00			8,844.86	3,137.00			717.85

Descripción General de EnergyPlus

¿Qué es EnergyPlus?

EnergyPlus es un programa desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) para simular los procesos de transferencia de calor, la ventilación natural, los sistemas de climatización, la iluminación y otros factores relacionados con el consumo energético de los edificios. Se basa en las capacidades más populares de dos programas precedentes, BLAST y DOE-2, pero incluye funciones innovadoras como el manejo de etapas menores a una hora en los procesos de simulación, flujos de aire en sistemas multizona, confort térmico, sistemas de agua y sistemas fotovoltaicos.

EnergyPlus tiene sus raíces de los programas BLAST y DOE-2. BLAST (BuildingLoadsAnalysis and SystemThermodynamics) y DOE-2 (U.S. Department of Energy) fueron desarrollados y lanzados en la década de 1970 y principios de 1980, como herramientas de simulación de energía y carga térmica. Están orientados a la ingeniería o arquitectura de diseño, que tienen como objetivo dimensionar el equipo apropiado de sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), desarrollar estudios para el análisis de consumo de energía, optimizar el desempeño de la energía, etc.

Al igual que sus programas precedentes, EnergyPlus es un programa de simulación de análisis de energía y carga térmica. Cabe mencionar que muchas de las características de simulación han sido heredadas de los programas BLAST y DOE-2. EnergyPlus está basado en la descripción por parte del usuario del edificio desde la perspectiva de la constitución física de éste, asociando sistemas mecánicos, eléctricos, etc. EnergyPlus calcula las cargas de calefacción y enfriamiento necesarias para mantener temperaturas adecuadas en los recintos a climatizar con el objeto de poder ajustar los termostatos para un buen control térmico, además calcula el consumo energético de los equipos eléctricos asociados al edificio, así como también otros detalles dentro la simulación que aseguran un buen funcionamiento de la simulación del edificio para comparar con el comportamiento real del mismo.

A continuación se listan algunas de las características de EnergyPlus. Si bien esta lista no es exhaustiva, se pretende dar una idea de la fortaleza y aplicación de EnergyPlus a varias situaciones de simulación.

- Solución integrada y simultánea, donde la respuesta del edificio y los sistemas están fuertemente acoplados (la iteración se realiza cuando es necesario).
- El usuario puede definir intervalos de tiempo de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 y 60 minutos, para la interacción entre las zonas térmicas y el ambiente; El tiempo varía para llevar a cabo las interacciones entre las zonas térmicas y los sistemas HVAC (varía automáticamente para garantizar la estabilidad de la solución).

- Archivos meteorológicos, de entrada y salida en formato texto ASCII y reportes estándar que incluyen condiciones de la simulación en los intervalos de tiempo definidos por el usuario, respectivamente.
- Solución basada en la técnica de balance de calor para cargas térmicas en edificios que permiten el cálculo simultáneo de los efectos de radiación y convección, tanto en la superficie interior y exterior del edificio, en cada intervalo de tiempo.
- La conducción de calor a través de elementos del edificio, tales como paredes, techos, pisos, etc. Usando funciones de transferencia de conducción.
- Un mejor modelo de transferencia de calor de la tierra a través de enlaces para modelos tridimensionales y la simplificación de las técnicas analíticas.
- Modelos de confort térmico basados en la actividad humana, dentro de la temperatura de bulbo seco (drybulb), humedad, etc.
- Cálculos de fenestration (disposición de las ventanas en un edificio) avanzados incluyendo persianas controlables, cristales electro-crómico, realiza balances térmicos capa por capa que permiten la asignación adecuada de la energía solar absorbida por los cristales de las ventanas, además posee una librería de numerosas ventanas disponibles comercialmente.
- Controles de iluminación natural (Daylighting) incluyendo cálculos de iluminación interior, control de deslumbramiento, controles de luminarias, y el efecto de la iluminación artificial en la reducción de la calefacción y enfriamiento en los recintos a climatizar.
- Lazo configurable basado en los sistemas de HVAC (convencional y radiante) que permiten a los usuarios un modelo de sistemas típicos y los sistemas ligeramente modificados sin tener que recompilar el código fuente del programa.
- Cálculos de la contaminación atmosférica que predicen CO₂, SO_x, NO_x, CO, partículas, y la producción de hidrocarburos.

Ningún programa es capaz de manejar todas las situaciones de simulación. Sin embargo, es la intención de EnergyPlus manejar muchas opciones en el diseño de edificios y sistemas HVAC, ya sea directamente o indirectamente a través de enlaces a otros programas para el cálculo de cargas térmicas y/o consumo de energía en un día o un período prolongado de tiempo (semanas, meses y años).

A continuación se presentan algunas debilidades de EnergyPlus:

- EnergyPlus no es una interfaz de usuario. Su objetivo es ser el motor de simulación alrededor de los cuales otras interfaces de usuario pueden estar asociadas a él. Los archivos de entrada y salida son de texto ASCII simple que es descifrable, pero es mejor utilizar una GUI (interfaz gráfica de usuario). Este enfoque permite a los diseñadores de interfaces hacer lo que mejor saben hacer; producir herramientas de calidad dirigidos específicamente hacia los mercados individuales.

- EnergyPlus no reemplaza a los arquitectos o ingenieros especializados en el diseño. No comprueba entradas, no verifica la aceptabilidad o el rango de diversos parámetros o trata de interpretar los resultados. Si bien muchos programas de interfaz gráfica de usuario ayudan al usuario a afinar y corregir los errores de entrada, EnergyPlus aún opera bajo "garbage in, garbage out" estándar. Ingenieros y arquitectos siempre serán una parte vital en el diseño y el proceso de análisis térmico.

¿Por qué existe EnergyPlus y cuáles eran sus objetivos originales?

La existencia de EnergyPlus está directamente relacionada con algunas de las deficiencias cada vez más evidentes de sus programas precedentes BLAST y DOE-2. Ambos programas, sin embargo todavía herramientas válidas que continuarán teniendo utilidad en los ambientes diversos, han comenzado a mostrar su vejez en una variedad de formas. Ambos BLAST y DOE-2 fueron escritos en versión anterior de FORTRAN y usaron las características que con el tiempo serán obsoletas en los nuevos compiladores. Ni BLAST ni DOE-2 son capaces de manejar correctamente la retroalimentación de los sistemas HVAC para las condiciones climatológicas dentro de la zona.

Por último, la rapidez con que las nuevas tecnologías en el campo de los sistemas HVAC son desarrollados, han sobrepasado la capacidad de los grupos de apoyo y desarrollo de ambos programas para mantenerlos actualizados y que sean viables. Esta es realmente la razón clave de la existencia de EnergyPlus; simplemente no hay suficientes investigadores en todo el mundo que tienen experiencia suficiente con el complejo código de los programas para seguir el ritmo de las nuevas tecnologías. Además, debido a los años de experiencia necesaria para hacer modificaciones a cualquiera de los programas BLAST o DOE-2, es muy costoso y consume mucho tiempo para producir modelos o capacitar a alguien para ser competente en la programación del código.

Los párrafos siguientes tratan sobre las metas de EnergyPlus, estas han sido cuidadosamente seleccionadas para resolver los problemas de los programas precedentes y hacer de EnergyPlus un almacén internacional para los algoritmos que pueden ser puestos a disposición de todas las partes interesadas o bien dicho de los desarrolladores de algoritmos.

Gerencia (manager) en la estructura y simulación: La naturaleza del "código espagueti" de los programas precederos dio lugar a una gran confusión en cuanto a cómo la información fluyó en el programa, cuando los datos fueron modificados o deben ser modificados, y lo que estaba sucediendo. Así, uno de los objetivos del desarrollo de EnergyPlus era eliminar las interconexiones entre las diferentes secciones del programa y la necesidad de entender todas las partes del código sólo para hacer una adición a una parte muy limitada del programa. Este objetivo se logró a través de una estructura del programa que implementó una filosofía "gerente (manager)". En efecto, el programa consta de

muchas piezas (es decir, módulos), que cuando se ve gráficamente se asemejan a un árbol invertido. En lugar de permitir que las piezas de nivel inferior del programa llamen a las partes del código para infiltrarse hasta el nivel más alto de la simulación, cada una de éstas ejerce el control cuando sus sub-ramas son llamadas. En EnergyPlus, una llamada a la subrutina ManageSimulation controla cuatro de los cinco principales lazos de la simulación (ambiente, día, hora, intervalo de tiempo, intervalo de tiempo del sistema que es controlado por el gerente (manager) de los sistemas HVAC). Además, esta subrutina también establece banderas globales que son utilizados por otras subrutinas y módulos para determinar el estado de la simulación para que cada parte del programa deba saber si leer la entrada, inicializar, simular, reportar, etc. La filosofía hace que el gerente de los enlaces entre los módulos del programa sea sencillo y explícito. Normalmente, cada módulo es accesible sólo a través de una llamada a la rutina de su gerente. Los desarrolladores de programas, no tienen que preocuparse acerca de las conexiones ocultas e inesperadas y dentro de las subrutinas del programa.

Modularidad: Uno de los beneficios de las mejoras estructurales en los programas heredados es que el código puede ahora ser mucho más orientado a objetos y modulares en la naturaleza. Un resultado de la meta para la mejora de la estructura en EnergyPlus fue la definición de un concepto bien organizado llamado módulo, que facilitaría la adición de características y enlaces a otros programas. Se decidió que Fortran90 sería utilizado para la versión inicial de EnergyPlus debido al hecho de que:

- Es un moderno lenguaje modular con buenos compiladores en muchas plataformas
- Permiten estructuras de datos análogas a C y módulos mixtos de lenguaje
- Proporciona una estructura que está basada a objetos
- Permite nombres de variables largas (hasta 32 caracteres)
- Proporciona compatibilidad con código anterior durante el proceso de desarrollo

Esta característica es esencial para promover tanto el uso generalizado y amplio desarrollo de modelos de programa. EnergyPlus sólo puede tener éxito si el grupo de desarrolladores de módulos potenciales aumenta significativamente para que el interés y los manejos económicos que modelan se agreguen al programa en lugar de tener sus prórrogas limitadas por la falta de recursos intelectuales. Por lo tanto, la modularidad y la mejora de la estructura en EnergyPlus resuelven los problemas de no contar con suficientes expertos como para mantenerse al día con la tecnología y el consumo de mucho tiempo y dinero que antes eran necesarios para llevar a alguien al tanto de las adiciones del programa.

Enlaces establecidos: La modularidad de EnergyPlus hace más fácil para otros desarrolladores añadir rápidamente los módulos de simulación de otros componentes. Esto significa que será mucho más fácil establecer vínculos con otros elementos de programación. Desde un principio el código de EnergyPlus contendrá un número importante de módulos ya existentes, habrá muchos lugares dentro del código de los

sistemas HVAC donde los vínculos naturales a los elementos de programación puedan ser establecidos. Estos son completamente documentados para ayudar a otros desarrolladores en una rápida integración de sus investigaciones en EnergyPlus. Además de estos vínculos más naturales en la sección del código HVAC, EnergyPlus también tienen otras relaciones más fluidas en áreas tales como el balance de calor que permite la interacción en donde los módulos pueden ser más o menos complejos. Una vez más, el objetivo de esta característica de EnergyPlus es maximizar el número de desarrolladores que rápidamente pueden integrar su trabajo en EnergyPlus para la inversión mínima de recursos.

Integración de cargas y sistemas: Uno de los puntos fuertes de EnergyPlus es la integración de todos los aspectos de la simulación de cargas y sistemas. Basado en una versión de investigación del programa BLAST llamado IBLAST, la salida del sistema es permitida en un impacto directo en la respuesta térmica del edificio, en lugar de calcular primero todas las cargas, entonces se simulan los sistemas. La simulación está acoplada permitiendo al diseñador investigar más exactamente el efecto de tamaños insuficientes en ventiladores y equipos y el impacto que podría tener en el confort térmico de los ocupantes dentro del edificio.

"Abrir" el código fuente: Otra ventaja de EnergyPlus que comparte con ambos BLAST y DOE-2 es que el código fuente del programa estará disponible y abierto a la inspección pública, revisión, etc. El programa no pretende ser una caja negra que es ininteligible para los usuarios y desarrolladores de todo el mundo. Si bien hay muchas ideas contradictorias sobre lo que se entiende por "abrir", EnergyPlus ciertamente no está cerrado, ya que esto sería contrario a los objetivos que ya se han señalado. Esta postura de "desarrollador amistoso" es fundamental para mantener EnergyPlus actualizado y en sintonía con los avances tecnológicos.

En resumen, los objetivos de EnergyPlus son ambiciosos pero alcanzables por la vía descrita anteriormente. EnergyPlus pretende ser un programa que es relativamente fácil de trabajar desde la perspectiva tanto de los usuarios y los desarrolladores. El equipo de desarrollo hizo enormes esfuerzos para mantener el código de simulación y algoritmos de forma separada como sea posible y así como la posibilidad de modular para minimizar el conocimiento general de que alguien tendría que añadir a los modelos del programa. Esto reducirá al mínimo la inversión de recursos y maximizar el impacto de la investigación actual en el ámbito del análisis de energía y cálculos de carga térmica en edificios. Por último, el acoplamiento del envolvente del edificios y los sistemas, proveerán una mejor comprensión de cómo un edificio responde no sólo a los factores ambientales que impactan el edificio sino que también a los sistemas HVAC para poder suplir las cargas térmicas en el edificio.

A continuación se describen las características principales del programa de simulación EnergyPlus:

- Gran variedad de ejemplos de sistemas HVAC.
- Plantillas para la declaración de sistemas HVAC.
- Conjunto de datos de los materiales utilizados para la construcción, basados en el estándar ASHRAE 2005 HOF.
- Archivos meteorológicos para diferentes localizaciones dentro de varios países.
- Conjunto de datos actualizados de colectores solares.
- Esquemas de color para los archivos DXF (original y defecto).
- Generadores tales como: Microturbinas, Turbinas de combustión, fotovoltaicos.
- Curvas de funcionamiento para calderas de condensación y de alta temperatura.
- Librería de las curvas de funcionamiento de compresores para los sistemas de refrigeración.
- La longitud de los objetos y nombres es de 100 caracteres.
- Definición de superficies como rectángulos simples (superficies rectangulares simples) para las paredes, techos, cielo falso, pisos, ventanas, puertas, puertas de vidrio y sombras existentes en el edificio.
- Declaración de intervalos de tiempo de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 12, 15, 20, 30 y 60 minutos.
- Control de la simulación para periodos de tiempo de un día, una semana, un mes o durante un año. Con el objetivo de analizar el consumo de energía del edificio o sistemas eléctricos dentro de él.
- Definición de sistemas de aire acondicionado tipo ventana y mini Split, así como unidades centrales (chillers).
- Definición de ganancias internas de personas, luminarias y equipo eléctrico.

Una gran variedad de variables de salida, en las cuales se puede analizar cualquier elemento declarado, por ejemplo el consumo de energía de los sistemas de aire acondicionado, luminarias, equipo eléctrico, etc. Además, analizar el cálculo de carga térmica de recintos a climatizar, para un correcto dimensionamiento de los sistemas de aire acondicionado. Estas variables de salida son representadas en los archivos con formatos de hoja de cálculo, texto o tablas en HTML.