

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE NICARAGUA, LEÓN
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
MAESTRÍA EN ENERGÍAS RENOVABLES Y MEDIO AMBIENTE 1ra. Ed.



EN COLABORACIÓN CON:



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

TESIS:

“PROPUESTAS DE AHORRO Y MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DEL CAMPUS
CENTRAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR”

AUTOR: CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ
INGENIERO ELECTRICISTA

TUTOR: M.en I. ALBA MARISELA SARAVIA CORTEZ

LEÓN, OCTUBRE DEL 2013

AGRADECIMIENTOS

"Es muy común recordar que alguien nos debe algún agradecimiento, pero es más común no pensar en quienes le debemos nuestra propia gratitud"

Johann Wolfgang Goethe

Le doy gracias a Dios todo poderoso porque me ha dado las fuerzas, sabiduría, la salud, el ímpetu para haber estudiado la Maestría a lo largo de estos duros dos años, y también haber finalizado esta investigación.

A mis padres, Esperanza Elba y Osmín Pocasangre, por darme la vida y guiarme en el camino correcto, además de darme la educación necesaria para que me convirtiera en la persona que soy.

A Mi esposa, Kelly Meza, porque tú siempre estarás en mi corazón; por estar conmigo en la etapa final y la más dura. Por sacrificarte por mí, para que yo pueda cumplir este sueño y permitir así luchar por ti, por estar a mi lado y ayudarme a seguir adelante. Por brindarme tu amor y hacerme tan feliz.

A mis amigos y compañeros de trabajo, por apoyarme y animarme a lograr este sueño que se ha hecho realidad.

A mi Tutora, Marisela Saravia, que con sabiduría ha guiado el desarrollo de esta investigación; a veces me sentí sin ánimos a terminar, pero ella siempre supo encaminarme.

Por último, quiero agradecer a las Autoridades de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, UES y a la Universidad de León, Nicaragua, por haberse puesto de acuerdo y lograr un entendimiento en provecho de cada uno de los países; porque esta iniciativa de cooperación ha dado un peldaño más en la mejora de la calidad de vida de nuestra población.

CARLOS OSMÍN POCASANGRE JIMÉNEZ

RESUMEN

Este trabajo es una propuesta de ahorro y mejora de la eficiencia energética en edificios del campus central de la Universidad de El Salvador. Dado que la muestra es muy grande, alrededor de 35 edificios, se ha seleccionado el Edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica para caso de estudio y desarrollar una Auditoría Energética. Como resultado de la investigación, se presenta la metodología de Auditoría energética para edificios del Campus Universitario, que es un insumo importante para el Comité de Eficiencia Energética Institucional. También, del mismo modo se diseñó la guía de implementación de un COEE (Comité de Eficiencia Energética), para ayudar a otras Facultades a formular sus propios Comités.

El documento está organizado en tres etapas: el CAPÍTULO 1 expone los aspectos teóricos que se estima necesarios para comprender este estudio. Se plantean conceptos de eficiencia energética de manera general. En el CAPÍTULO 2 se esboza la metodología para desarrollar una Auditoría Energética y la guía de implementación de los Comités de Eficiencia energética en la UES, y el CAPÍTULO 3 hace un diagnóstico del edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica desde el punto de vista termodinámico, en base al cual se construye un modelo de línea base y de bajo consumo.

SUMMARY

This document is a proposal of saving and improving of the energy efficiency in buildings at University of El Salvador. Due to the sample is very large, at around 35 buildings, only one of them was selected; it was the Electrical Engineering School's building. In this facility, an Energetic Auditing task was developed. As a result of this, a methodology of Energetic Auditing has been completed. The manual will be helpful for the COEE. Additionally, the document shows how to make a COEE by a detailed guide which will be used by the Faculties for making up their own Committees.

The document has been organized in three stages. First, the CHAPTER 1 exposes the theory for understanding this research, so the Concept of energy efficiency is shown. Next, the CHAPTER 2 shows how to make an Energetic Auditing task and details a general guideline for making and managing a COEE which will be constituted by University. Finally, CHAPTER 3 shows a thermodynamic diagnosis of the School of Electrical Engineering's building. The diagnosis has given two results, the base line model and low powered model.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN.....	2
OBJETIVOS	6
CAPÍTULO 1 MARCO REFERENCIAL	7
1.1. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	7
1.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS.....	9
1.3. CONDICIONES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN EDIFICIOS	11
1.4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS EN EDIFICIOS EXISTENTES.....	15
1.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS.....	16
CAPÍTULO 2 DISEÑO METODOLÓGICO.....	18
2.1. METODOLOGÍA DE AUDITORIA ENERGÉTICA. MODELO BÁSICO	18
2.2. METODOLOGÍA DE AUDITORIA ENERGÉTICA. MODELO GENERAL	19
2.3. GUÍA DE CREACIÓN DEL COMITÉ DE EFICIENCIA ENERGÉTICA	26
2.3.1. ORGANIZACIÓN DE LOS COMITÉS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	28
2.3.2. PROCESO DE FORMACIÓN Y ACTIVIDADES DE LOS COEE	30
CAPÍTULO 3 RESULTADOS DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA.....	37
3.1. LÍNEA BASE EDIFICIO DE LA ESC. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.....	38
3.1.1. PLANIFICACIÓN.....	38
3.1.2. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DEL EDIFICIO	38
3.1.3. OBTENCIÓN DE DATOS PARA MODELO DEL EDIFICIO	40
3.1.4. ENERGYPLUS Y GOOGLE SKETCH UP	46
3.1.5. SIMULACIÓN DEL EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA.....	49
3.2. MODELO DE BAJO CONSUMO EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA	55
3.2.1. MODELO LÍNEA BASE. SIMULACIÓN ANUAL 2013.....	55
3.2.2. MODELO DE BAJO CONSUMO	56
RESUMEN DE RESULTADOS.....	59
RECOMENDACIONES.....	62
REFERENCIAS.....	63
GLOSARIO DE TÉRMINOS	66

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Fig. 1 Perfil de consumo CIAN [10]	4
Fig. 2 Ciclo de Vida de un Edificio	10
Fig. 3 Proceso de análisis y evaluación de EE [1]	11
Fig. 4 Sistema de Aislamiento Térmico de pared en el Exterior ETICS.....	12
Fig. 5 Sistema Doble Vidrio Hermético (DVH)	13
Fig. 6 Metodología básica de estudio de EE [21]	18
Fig. 7 Metodología para auditoría energética [21].....	21
Fig. 8 Objetivos de los COEE (Fuente: CNE).....	27
Fig. 9 Miembros del Comité de Eficiencia Energética [23].....	29
Fig. 10 Pasos para una reunión de COEE [23].....	30
Fig. 11 Proceso de formación y consolidación de COEE [23]	31
Fig. 12 Zona detallada Escuela de Ingeniería Eléctrica [30]	40
Fig. 13 Masas Internas EIE [30]	42
Fig. 14 Dimensiones de paredes, áreas de puertas y ventanas [32].....	43
Fig. 15 Modelo del Edificio EIE usando SketchUp.....	47
Fig. 16 Zona 1. Primera planta.....	47
Fig. 17 Zona 2. Cubículos y SLE	48
Fig. 18 Zona 3. Centro de Cómputo	48
Fig. 19 a) Zona 4. Sala de reuniones, b) Zona 5. Secretaría.....	48
Fig. 20 a) Zona 6. Cubículo de Director EIE, b) Zona 7. Sala de Servidores	48
Fig. 21 Zona 8 y 9. Plenum.....	49
Fig. 22 Rubros energéticos en el edificio EIE, Mayo 2013.....	52
Fig. 23 Demanda Edificio EIE, martes 7 a domingo 12 de Mayo 2013	53
Fig. 24 Demanda Edificio EIE, Martes 7 de Mayo 2013	53
Fig. 25 Pliego tarifario SIGET a partir de Abril 2013.....	54
Fig. 26 Rubros energéticos en el edificio EIE anual 2013	55
Fig. 27 Disposición de colocación de tragaluces.....	56
Fig. 28 Tragaluz Modelo 330DS [38]	56
Fig. 29 Comparación demanda anual 2013, línea base y bajo consumo	58

Tabla 1 Medidas simuladas en las Instalaciones CIAN [10].....	5
Tabla 2. Barreras para la puesta en ejecución de medidas de EE	17
Tabla 3 Recopilación de información zona 1.....	44
Tabla 4 Recopilación de información zona 2.....	45
Tabla 5 Recopilación de información zona 3.....	45
Tabla 6 Recopilación de información zona 4.....	45
Tabla 7 Recopilación de información zona 5.....	45
Tabla 8 Recopilación de información zona 6.....	46
Tabla 9 Recopilación de información zona 7.....	46
Tabla 10 Datos estructurales y envolvente	49
Tabla 11 Propiedades térmicas de los materiales de construcción.....	49
Tabla 12 Niveles de Actividad, según ocupación realizada	50
Tabla 13 Horarios de Ocupación del Centro de Cómputo	50
Tabla 14 Localización y Clima	51
Tabla 15 Datos técnicos CARRIER 38TG060300, EIE-FIA.....	51
Tabla 16 División Horaria	54
Tabla 17 Facturación Eléctrica para el martes 7 de Mayo 2013.....	54
Tabla 18 Simulación Anual 2013 Edificio EIE	55
Tabla 19 Características técnicas de dos tipos de tragaluces.....	57
Tabla 20 Simulación Anual 2013 Edificio EIE, Modelo bajo consumo	57
Tabla 21 Listado de Siglas usadas	69

INTRODUCCIÓN Y PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La política energética institucional ha cambiado en los últimos años, principalmente motivado por la preocupación de los altos costos de los combustibles derivados del petróleo. En este contexto, el Gobierno Central y la Asamblea Legislativa de El Salvador publicaron la Política de Ahorro y Eficiencia Energética (Decreto No 78). Bajo este argumento institucional, surge el tema de investigación con el objetivo de apoyar la creación y fortalecer el accionar de los Comité de Eficiencia Energética (COEE) de la Universidad de El Salvador, con miras al cumplimiento del mandato Parlamentario.

Esta iniciativa gubernamental ha motivado a la Maestría en Energías Renovables y Medio Ambiente a proponer por medio de este estudio la formulación de una propuesta de solución que sea factible y económicamente viable para afrontar el problema del gasto excesivo en el servicio eléctrico, así como proponer estrategias tanto para mejorar la eficiencia en el uso racional de la electricidad en el Campus Central como las correcciones necesarias para mejorar la calidad actual del servicio eléctrico en las instalaciones internas de los edificios.

La problemática se aborda en tres ejes principales, el primero es la parte organizacional y es enfático con la creación de los Comités de Eficiencia Energética Institucionales, haciendo uso de los lineamientos dictados por el Consejo Nacional de Energía y la norma IEEE-739-2005 o Libro de Bronce [1]; el segundo es la metodología para medición de variables eléctricas en el Campus Universitario, específicamente en el Edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, los datos son insumos para la estimación del ahorro energético; Y el tercero es la propuesta de un ejemplo claro de medida de hecho que contribuya al uso eficiente y racional de la energía eléctrica por parte de los trabajadores universitarios y con su debida justificación económica. Con la estimación del ahorro se podrán proponer presupuestos para investigación y desarrollo a largo plazo que estén incluidos en la política institucional.

Como resultado final se entregará un documento para ser presentado al COEE de la Facultad de Ingeniería, en donde se resuma la investigación realizada y la metodología para su accionar.

ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN

Con el pasar de los años en nuestro país y en el mundo entero la electricidad se ha vuelto no solo un lujo, sino una necesidad para poder desarrollar y aumentar el nivel de vida de la población. Desde 1998, El Salvador ha tenido que recurrir a importación de energía eléctrica para poder satisfacer la demanda interna. La generación de electricidad a base de combustibles fósiles o también llamada generación térmica ha crecido en los últimos 20 años en un 18%, mientras que la hidráulica sólo 1.5% y la geotérmica en 5%. Actualmente la demanda de energía crece en 6.5 % al año [2] [3], lo cual no es recíproco con la oferta existente de energía eléctrica, la cual es casi constante y cercana a la capacidad interna disponible con tendencia a igualar a la demanda máxima.

Hoy en día la electricidad es utilizada en mayor medida en edificios públicos y privados, cuyos rubros energéticos son los equipos de iluminación, refrigeración y climatización de ambientes para buscar la comodidad y satisfacción de las personas en sus lugares de trabajo o esparcimiento. De igual forma, la calidad de la electricidad se ve afectada por el aumento de dispositivos electrónicos, como computadoras, impresores en el caso de oficinas, lo que da lugar a variaciones y gastos excesivos de electricidad, el cual podrían disminuirse en la medida en que se reduzca el consumo eléctrico.

En el Campus Central de la Universidad de El Salvador (UES), la facturación eléctrica pagada a la distribuidora AES CAESS S.A. de C.V. alcanzó en los meses de Noviembre y Diciembre de 2012 la cantidad de USD\$103,365.09 y en todo el año USD\$1,029,236.52, cantidad que representa el 1.6% del presupuesto general Universitario [4]. En contraste, el presupuesto destinado a la Investigación Universitaria es de solo USD\$660,420.0 (1% del presupuesto). Esto es una clara evidencia que se gasta mucho más dinero en el pago de facturación eléctrica que en los rubros que si le pueden traer beneficios a la sociedad salvadoreña, como educación de calidad con programas de investigación y desarrollo. Este gasto excesivo es consecuencia directa del uso energéticamente ineficiente de los inmuebles (oficinas, aulas y laboratorios), posiblemente debido en gran parte a que la mayoría de los edificios, cerca de 35 [5], fueron construidos en el pasado sin ningún marco o política energética que rigiera su diseño, construcción y uso, es decir sin una

planificación energética adecuada. En este contexto, es de esperar que al establecer políticas de regulación del consumo de energía eléctrica, la facturación disminuyera sensiblemente y consecuentemente estos remanentes podrían invertirse en áreas prioritarias para la institución, mayores recursos para investigación y desarrollo en beneficio a la comunidad universitaria y al país.

Esta grave situación ha motivado el interés para la formulación de estudios sobre consumo energético en la UES. Es así como en 2009, la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (FIA) toma la iniciativa y acuerda la creación del Comité para la Administración de la Energía de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura (acuerdo JF 084 2009) [6]. Posteriormente, en 2011, el Consejo Superior Universitario (CSU) de la UES se pronuncia con el Acuerdo No 095-2009-2011-E(VI-1) en donde establece Las Políticas para el Fomento del Ahorro y Eficiencia del consumo de Energía Eléctrica en la UES [7]. Y en el 2012, a nivel gubernamental, la Honorable Asamblea Legislativa de la República de El Salvador lanza la “LA POLÍTICA DE AHORRO Y AUSTERIDAD DEL SECTOR PÚBLICO 2012” con el decreto No 78 publicado en el Diario Oficial [8], cuyo objetivo principal (Art. 1) dice: *“Generar ahorro y que el gasto se ejecute con criterios de austeridad y racionalidad, a efecto de darle cumplimiento a las prioridades y metas establecidas en cada institución”*. Y en lo que respecta a la utilización racional de la Energía Eléctrica, el Art. 5 inciso e) numeral 2) referente a Adquisiciones de bienes y servicios, dice: *“Hacer uso racional de la energía eléctrica, evitando mantener lámparas encendidas en oficinas o instalaciones con suficiente iluminación natural y apagando aquéllas que no estén siendo utilizadas; además, se deberá regular el uso de equipo de alimentación eléctrica como cafeteras, oasis y en especial, los equipos de aire acondicionado en lugares que cuenten con ventilación natural, en horas no laborales y a las temperaturas de funcionamiento razonables, procurando que el consumo y la capacidad contratada del suministro de energía eléctrica sea acorde con la demanda institucional. De forma complementaria y en el marco de las medidas propuestas por el Consejo Nacional de Energía CNE, según las atribuciones establecidas en su Ley de Creación, se debe impulsar la conformación del Comité de Eficiencia Energética Institucional COEE, a fin que éste pueda coordinar la implementación y adopción de acciones y medidas adicionales para el uso eficiente de la energía eléctrica en las instituciones públicas.”*

En base a esta problemática, existen diferentes investigaciones relacionadas con el gasto y posibles ahorros en edificios del campus universitario [9]. Por poner un ejemplo, se tiene el estudio del edificio del Centro de Investigaciones y Aplicaciones Nucleares (CIAN) [10] en donde se evidencia la necesidad de medidas de eficiencia energética a corto plazo para minimizar el gasto en electricidad (Fig. 1).

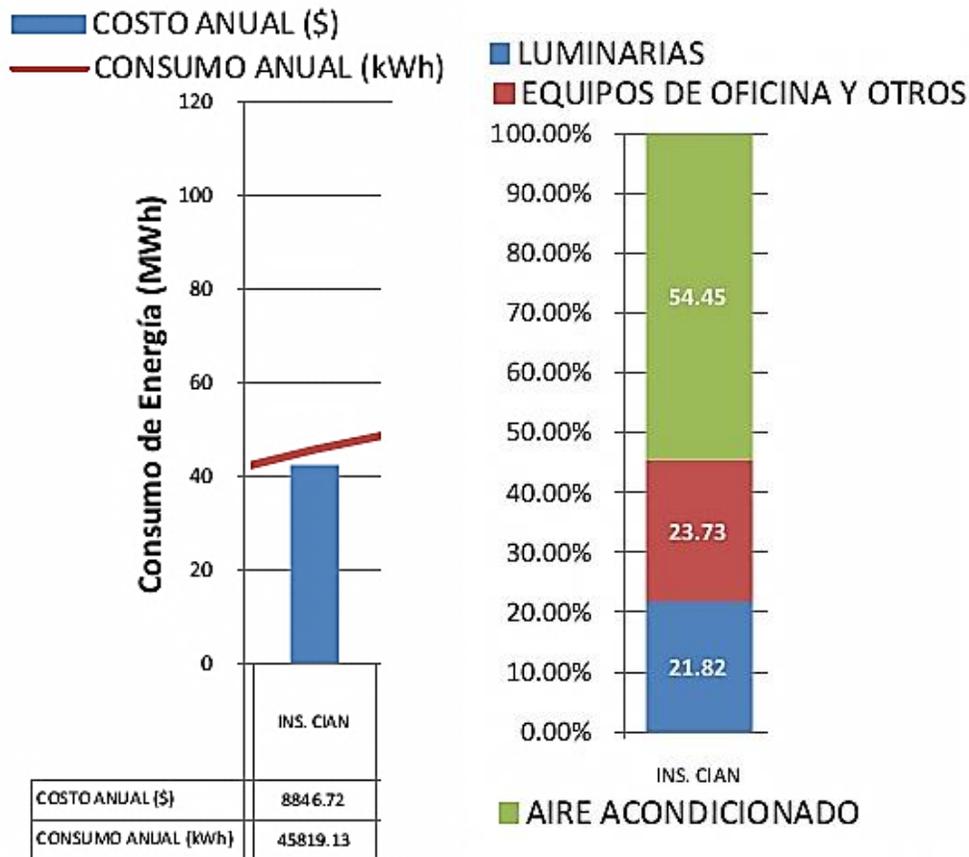


Fig. 1 Perfil de consumo CIAN [10]

Entre otros, los resultados indicaron que en las instalaciones del CIAN existen ventanas fijas que no permiten un flujo de aire interno, la filosofía de diseño de esta instalación no es propia para la dirección del flujo natural del aire. No existe una distribución correcta de las lámparas instaladas en todas las áreas ya que en el diseño no se consideró la luz natural, sumado a esto existe un bloqueo con persianas de la luz. Asimismo, no existe flujo de aire entre el techo de lámina y el cielo falso, acumulándose calor que es transferido hacia el interior de las áreas de trabajo, las paredes exteriores de secretaría del CIAN no tienen aislación térmica por lo que el calor es

transferido hacia el interior, esto provoca que los equipos de Aire Acondicionado trabajen excesivamente. Tampoco se consideró un sistema de bloqueo de los rayos solares, mismo que hubiese permitido una disminución de las temperaturas internas de la instalación.

Se identificaron y simularon tres medidas a mediano plazo (Tabla 1). Para cada una de ellas se estiman ahorros de 8.5MWh, 10MWh, y 7.1MWh respectivamente y en combinación un máximo de 20.8MWh, un equivalente de cuatro mil dólares según el Pliego tarifario vigente, desde abril 2013 [11]. Esto demuestra que con medidas de eficiencia y ahorro energético puede lograrse una disminución considerable en la facturación eléctrica.

MEDIDA	CONSUMO [kWh/año]	AHORRO [kWh/año]	AHORRO [USD\$]
Hábitos energéticos de las personas	37,314.11	8,505	1,653.00
Acondicionamiento ambiental interno como: eliminación de equipos de AA, colocación de cortasoles, Aislación térmica, Circulación de aire o Ventilación cruzada	35,820.63	10,000	1,943.49
Distribución eficiente de sistema de iluminación, como Consideración de la luz natural, Colocación de tragaluces	38,692.58	7,126.6	1,385.05
Combinadas las tres anteriores	25,035.79	20,783.3	4,039.21

Tabla 1 Medidas simuladas en las Instalaciones CIAN [10]

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Elaborar propuestas de ahorro y mejora de la eficiencia energética en edificios del Campus Central de la Universidad de El Salvador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un diagnóstico de desde el punto de vista eléctrico, en el Edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica, realizando para ello mediciones en tableros y simulaciones de consumos energéticos con el fin de brindar soluciones de ahorro y eficiencia energética que sean cercanas a la realidad de los datos obtenidos, además de ser económicamente viables.
- Establecer los lineamientos conceptuales para realizar una auditoria Energética incluyendo selección de software de simulación, establecimiento de las condiciones generales de diseño, y de construcción y climatización en edificios.
- Establecer las bases o conceptos generales para la normativa que regirá a los COEE en la Universidad de El Salvador, haciendo uso de dictámenes definidos por las entidades gubernamentales nacionales y normas internacionales relacionadas en el tema.

CAPÍTULO 1 MARCO REFERENCIAL

Este capítulo trata de exponer al lector todos los aspectos teóricos que necesita para comprender el desarrollo de este proyecto de investigación. El estímulo de este tema, es la necesidad de un estudio de eficiencia energética en las instalaciones del Campus Universitario. De forma imperativa, el Estado Salvadoreño manda, por medio del Decreto No 78-2012 [8], a las instituciones públicas a ser eficientes y ahorrar; debido a los altos costos de la energía eléctrica provocado por el precio del petróleo. Se plantea el concepto de eficiencia energética, y después la manera de cómo se pueden aplicar a los edificios del Campus Universitario.

1.1. LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Muchas publicaciones a lo largo de la ciencia de la energía en general, tratan la manera de mejorar el consumo de energía en viviendas, industrias, y edificios; adoptan o elaboran el concepto de Eficiencia Energética, que siendo muy distinto en su forma literal presenta en común la idea que tiende a transmitir en establecer estrategias de reducción de consumo energético [12]. Algunos conceptos son:

“La Eficiencia Energética se puede definir como la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir nuestro confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso”

*Donotakio Udala,
Ayuntamiento de San Sebastián, España*

“La eficiencia energética es una herramienta que ayuda a reducir el consumo energético de los sistemas eléctricos y térmicos, también busca optimizar el desempeño de los mismos, evaluando sus parámetros de funcionamiento, sus consumos energéticos, la variación de la carga durante el periodo de trabajo, sus rendimientos, etc. para el buen funcionamiento del equipo.”

Manual Eficiencia Energética para MYPES

De cualquier forma que se tome el concepto de EE, el objetivo común es buscar la optimización de los recursos energéticos disponibles para minimizar el consumo de energía y los costos que esto acarrea en las viviendas u otras organizaciones que son consumidores directos de la energía, asegurando condiciones de confort, calidad laboral, calidad de vida, etc.

El término “energía” no involucra solamente el uso de la electricidad, sino también debe de considerarse los equipos que trabajan a base de combustibles fósiles, el uso de estos combustibles es primordial en algunas áreas, pero la utilización de estos no solo genera consumo en términos monetarios, sino también con la creación de dependencia energética y además contribuye contaminando el medio ambiente.

Es de vital importancia el uso eficiente de la energía eléctrica porque es insostenible el uso de combustibles fósiles para producirla, una opción irrenunciable es la diversificación de las fuentes de energía, con un mayor aprovechamiento de las energías renovables. La disponibilidad energética de las fuentes de energía renovable es mayor que las fuentes de energía convencionales, sin embargo su utilización es escasa y si se pretende su uso masivo por la sociedad, ella debe ser más eficiente en sus sistemas energéticos.

El desarrollo de la tecnología para el uso de energías renovables, el incremento de la exigencia social y los costos más bajos de instalación y rápida amortización, están impulsando un mayor uso de las fuentes de energía de origen renovable en los últimos años. En el modelo de desarrollo sostenible, las energías de origen renovable, son consideradas como fuentes de energía inagotables, y con la peculiaridad de ser energías limpias, suponen un nulo o escaso impacto ambiental [13].

La eficiencia energética es la mayor fuente de energía que tenemos para garantizar el futuro del planeta y junto a las energías renovables pueden mejorar nuestra calidad de vida.

(Nuria, Eficiencia Energética)

Con la entrada de un nuevo modelo energético basado en fuentes renovables, disminuirémos los gastos de facturación eléctrica, pero se mantendrán los mismos servicios energéticos y sin que por ello se vea afectada nuestra calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, aseguran-

do el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso. Por tanto, la Eficiencia energética se constituye como una prioridad de política energética por su contribución a afrontar los retos de la seguridad energética, el cambio climático y la mejora de la competitividad de la economía a nivel nacional.

Los beneficios que trae consigo la práctica de la EE en forma global, son:

- Aumenta la eficiencia productiva de las empresas. Promueve el desarrollo económico con la generación de empleo y uso de tecnologías eficientes para empresas en los distintos sectores de producción. Reducción de costos debido al consumo energético, lo cual garantiza la utilización de esos remanentes en mejoras o incentivos salariales.
- La tecnología de eficiencia energética promueve el desarrollo industrial al mejorar su competitividad. La utilización de nuevos sistemas de generación de energía sostenible y equipos eficientes para sectores industriales pueden mejorar la productividad y la economía de empresas que practican la EE.
- Reduce impactos negativos ambientales. Se mitiga las emisiones de gases de efecto invernadero hacia el aire, mejorando la calidad de aire.
- Tras el uso de energía renovables y el fomento de la EE, minimiza la dependencia de utilización de combustible fósil para los diferentes sectores de desarrollo económico y tecnológico.

1.2. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS

Los Edificios Sostenibles están diseñados para reducir el impacto de la construcción sobre la salud del medio ambiente y su población. Un edificio sostenible utilizará un proceso responsable con el entorno a lo largo de su ciclo de vida: diseño, construcción, operación, mantenimiento, renovación y demolición (Ver Fig. 2).



Fig. 2 Ciclo de Vida de un Edificio

Los edificios sostenibles actuales han demostrado tener un efecto positivo en la salud de sus ocupantes, su bienestar y su productividad [14] [15].

Para que las edificaciones trabajen eficientemente, debemos de entender cómo funciona un edificio, para ello, se deben de comprender aquellos componentes que contengan las condiciones mínimas de EE a que se le atribuye al edificio desde el momento en que se diseña hasta la operación a la que será destinado, entonces, el funcionamiento energético de un edificio está considerado como una máquina térmica [16], el Dr Florencio Manteca lo define así:

"Un edificio se comporta como una MÁQUINA TÉRMICA a la cual se le aplica una ENERGÍA (en forma de energía térmica, eléctrica) y mediante la transformación, es capaz de realizar un TRABAJO (calefacción, refrigeración, iluminación, ascensores) y generando a la vez unos residuos".

Cualquier tipo de energía (entiéndase a la energía del tipo eléctrico y combustible) que ingresa al edificio, es utilizada de acuerdo a la aplicación que se requiera internamente en la infraestructura. Es decir, si se considera un edificio del tipo administrativo, se usa electricidad en la iluminación, equipos eléctricos de oficina, y para los equipos de aire acondicionado; además, el combustible fósil se utiliza para el transporte o planta de emergencia.

La utilización de equipos eléctricos y la carga térmica de los usuarios incrementan la temperatura interna de la infraestructura, esto da partida a soluciones de climatizar la infraestructura,

implementado una variedad de tipos de tecnología que existen en la actualidad. Estas tecnologías suelen utilizar elementos de aislación térmica como espumas térmicas, instalación de equipos de aire acondicionado regulados, y utilización de los elementos naturales como plantas del tipo trepadores.

Un edificio puede durar de 50 a 100 años o más. Por lo tanto, es sumamente rentable incorporar una tecnología energética eficiente desde el principio, aplicando las normas, reglamentos, y tecnologías relacionadas a la EE. Por lo tanto, los edificios bien ventilados e iluminados, que tengan un consumo mínimo de energía y que resulten atractivos a los consumidores, constituirán una inversión más sólida y duradera. El valor a largo plazo de un edificio depende de 3 factores: a) la capacidad de satisfacer las necesidades de los usuarios; b) condiciones medioambientales variables; c) evolución de las expectativas sobre calidad del proyecto.

1.3. CONDICIONES DE DISEÑO, CONSTRUCCIÓN Y CLIMATIZACIÓN EN EDIFICIOS

La EE debe de comenzar desde la realización de los planos arquitectónicos del edificio (Fig. 3):



Fig. 3 Proceso de análisis y evaluación de EE [1]

En el diseño arquitectónico el profesional encargado debe de considerar aspectos como:

- Trayectoria y proyecciones del sol con la debida orientación del edificio.
- La captación y protección solar sobre la envolvente.
- Consideración de aislación térmica de la envolvente.
- Adoptar las iniciativas de arquitectura bioclimáticas.

Una vez terminado el diseño arquitectónico se continúa con la parte de diseño eléctrico, en esta etapa, lo significativo a considerar el diseño de iluminación. El profesional eléctrico junto con profesionales en arquitectura, deben de concertar con la mejor iluminación considerando la luz natural.

La siguiente etapa corresponde a los lineamientos de selección de materiales a utilizar en la obra civil, los profesionales en construcción, que también deben de coordinarse con los arquitectos y profesionales mecánicos, tienen que evaluar los materiales a utilizarse, considerando las propiedades físicas de estos. Es decir, valorar los elementos como ladrillos, cemento, tipo de material de las ventanas y puertas, etc., estudiando sus propiedades (conductividad térmica y eléctrica, densidad del material, absorción térmica de la luz solar y visible). Esto conlleva a conocer las tecnologías de aislamiento térmico del edificio (Fig. 4 y Fig. 5) [17] [18].

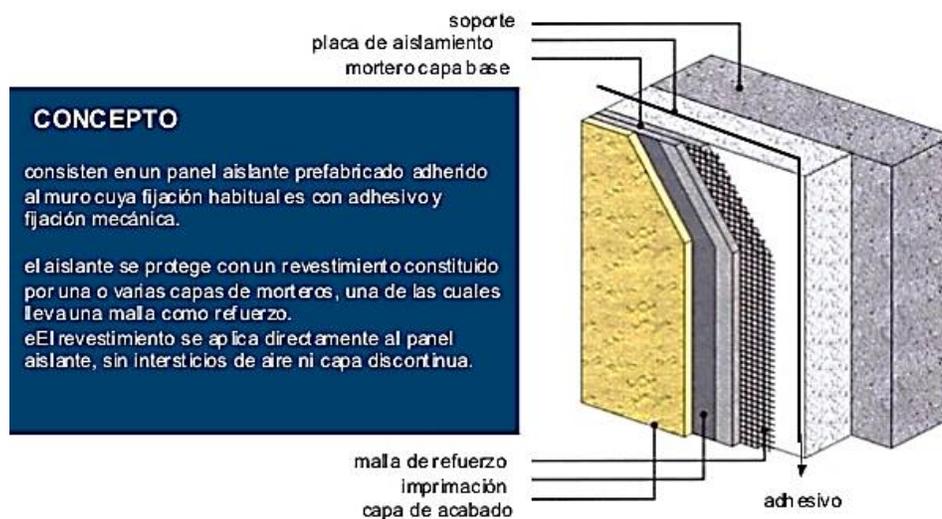


Fig. 4 Sistema de Aislamiento Térmico de pared en el Exterior ETICS

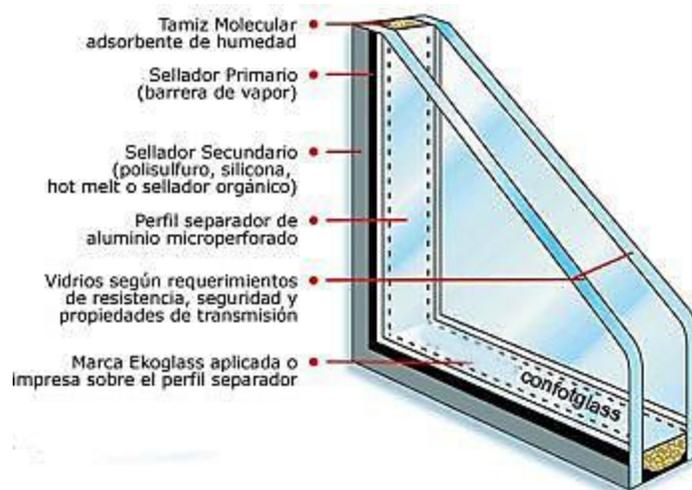


Fig. 5 Sistema Doble Vidrio Hermético (DVH)

Posteriormente sigue el diseño de equipos de aire acondicionado AA para climatizar las áreas que serán ocupadas en el edificio. Esta etapa es una de los más importantes dados los porcentajes significativos de consumo en energía eléctrica que los equipos de AA requieren para su funcionamiento, los profesionales en instalación de equipos de AA, deben de considerar factores como:

- Ambiente externo de la infraestructura.
- Ocupantes del área a climatizar.
- Equipos eléctricos e inmuebles de oficina que estarán en el área.
- Ocupar equipos de AA que sean eficientemente energéticos.
- Emplear la infiltración y ventilación de aire.

El dimensionamiento de los equipos de climatización es una tarea meticulosa con respecto a todo los elementos que se deben de tomar en cuenta, muchas empresas dedicadas a la instalación de equipos de AA, generalmente no prestan atención a las metodologías de dimensionamiento de estos equipos, profesionales en estas áreas se dan a la tarea de usar métodos empíricos con la finalidad de conseguir el beneficio propio económico. Por ello se debe persuadir a las empresas y a los profesionales dedicados a la instalación de equipos de climatización, que adopten las herramientas adecuadas para el buen dimensionamiento de estos equipos.

La última etapa constituye la evaluación y análisis del modelo arquitectónico del edificio. En este punto todos los profesionales deben de integrarse para evaluar el diseño del edificio mediante instrumentos informáticos de análisis energéticos. Los resultados del análisis determinarán el comportamiento energético del edificio, sin embargo estos resultados previo a la operación del edificio son parciales, es decir, puede ser que cuando el edificio entre a operar, no se tenga los resultados esperados de eficiencia energética, debido a muchas razones que puede variar dependiendo del responsable de la infraestructura. Esta incertidumbre, permite que los análisis de los diseños antes de la construcción sean más rigurosos, hasta obtener el mejor diseño del edificio valorando las diferentes opciones de tecnologías que permitan lograr una EE.

Por último se inicia la etapa de construcción, y una vez terminada esta fase, sigue la etapa de operación según la finalidad con la que se construyó el edificio. En el periodo de vida útil del edificio es donde se registrarán los verdaderos resultados de la práctica de la EE, sin embargo, dependerá de las exigencias de parte del responsable del edificio acatar las recomendaciones.

Así que todo los profesionales involucrados en el proceso diseño y evaluación de EE que se mostró en la Fig. 3, tienen como objetivos integrar aspectos esenciales del uso eficiente de la energía que permiten a los usuarios de las edificaciones tener confort, calidad laborar, calidad productiva (económica y tecnológica) de la empresa, etc., para orientar a que se logre la máxima EE de los edificios. Algunas pautas que esta integración de profesionales deben de respetar para el diseño y construcción de edificios son:

- Diseñar el edificio de tal modo que consuma la menor cantidad de energía posible durante su vida útil (diseño bioclimático, correcta ventilación e iluminación natural, fácil intercomunicación entre personas, etc.)
- Utilizar tecnologías de alta eficiencia energética, sobre todo para equipos de AA y de oficinas.
- Diseñar el edificio de tal modo que se utilice la menor energía posible durante su construcción, algunas técnicas son: utilizar materiales que se hayan fabricado con el menor gasto energético posible, buscar la mayor eficacia durante el proceso constructivo como la maximización en el transporte de materiales y personas.

1.4. AUDITORIAS ENERGÉTICAS EN EDIFICIOS EXISTENTES

La realización de Auditorías Energéticas permite conocer en detalle los indicadores de mayor interés energético de los edificios y proponer actuaciones para mejorar la eficiencia de los equipos e instalaciones, y así obtener ahorros energéticos y económicos.

En la actualidad, existen edificios que han estado operando por varios años, por ello, no se puede aplicar el proceso descrito en la sección anterior Fig. 3, ya que este solo constituye la etapa inicial de diseño, sin embargo, ciertos términos siguen siendo válidos para aplicarlos a estas infraestructuras existentes, por ejemplo la aislación térmica de la envolvente, instalación de elementos de protección solar, etc. y aplicar algunos cambios de hábitos energéticos conduce a una administración eficiente de la energía.

Para iniciar un estudio de EE en estos edificios primero se debe de concebir una metodología que comprenda el funcionamiento de la infraestructura para luego aplicar ciertas medidas de ahorro energético. Los siguientes pasos enumeran brevemente la metodología a seguir:

- Obtener información de la operación actual del edificio.
- Analizar el comportamiento del edificio, como su consumo de energía.
- Establecer medidas de ahorro energético.
- Realizar la evaluación técnica y económica.

Debido a la diversidad existente de edificios, una metodología no puede ser aplicada a dos edificios que presenten diferente operación, por ejemplo, para un edificio del tipo administrativo se le aplica cierta metodología para un estudio energético, la cual no puede ser utilizada para realizar una auditoría energética a un edificio del tipo hospitalario.

Otros países están integrando en sus entidades superiores reglamentos, leyes, políticas, etc., que inserten e integren planes estratégicos, para la gestión del uso racional de la energía; es decir, instituciones, organizaciones, empresas, etc. tienen en proyecto la gestión de energía por medio de metodologías que están siendo impulsadas para proponer la EE en los distintos tipos de edificios según su uso, así tenemos por ejemplo “El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)” [19] , que fue elaborado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio,

y el Ministerio de Vivienda de España. En este documento, se describen las obligaciones a que los constructores y habitantes de edificaciones deben cumplir, algunas de ellas son:

- Mayor rendimiento energético en los equipos de generación de calor y frío, así como los destinados al movimiento y transporte de fluidos.
- Mejor aislamiento en los equipos y conducciones de los fluidos térmicos.
- Mejor regulación y control para mantener las condiciones de diseño previstas en los locales climatizados.
- Utilización de energías renovables disponibles, en especial energía solar y biomasa.
- Incorporación de subsistemas de recuperación de energía y aprovechamiento de energías residuales.
- Desaparición gradual de combustibles (carbón, diesel, etc.) y de equipos generadores menos eficientes.

1.5. EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS PÚBLICOS

La optimización energética en los edificios de propiedad pública debe desempeñar un papel ejemplar y ser una inspiración para todos los ciudadanos. La EE es una estrategia válida para solucionar el problema de la escasez de fondos públicos y puede contribuir a disminuir los graves problemas de la energía. En este sentido, el sector público debe predicar con el ejemplo en lo que se refiere a inversiones, mantenimiento y gestión energética de sus edificios, instalaciones y equipamiento.

El Gobierno Salvadoreño ha dado pasos esenciales en lo que a normativa se refiere. El primer acto fue la Ley de Creación del Consejo Nacional de Energía (CNE) [20] por medio del decreto legislativo N° 404 del 30 de Agosto del 2007. La finalidad de este Consejo, es de establecer las políticas estratégicas que promuevan el desarrollo eficiente del sector energético, garantizando a los ciudadanos la prestación de servicios esenciales a la población, así como incentivar al buen uso y consumo racional de las fuentes energéticas.

Con el comienzo de este Consejo, y con el apoyo de algunas instituciones gubernamentales, como El Ministerio del Medio Ambiente (MARN), El Ministerio de Educación (MINED), El Minis-

terio de Economía (MINEC) entre otras, se propone la creación de los Comités de Eficiencia Energética del Sector Público (COEE), con el propósito de generar una cultura de uso racional y eficiente de los recursos energéticos a nivel del sector público. Actualmente se ha impulsado el proyecto de Eficiencia Energética en Edificios Públicos (EEEP), cuyo objetivo es introducir el concepto de EE en los edificios públicos nuevos y existentes, mediante la creación de un entorno normativo propicio en el aumento de concienciación de los usuarios, el desarrollo de criterios y estándares de desempeño y la implementación de un plan piloto de EE en determinadas entidades públicas, por ejemplo, La Defensoría del Consumidor y Hospital Zacamil.

A pesar de los esfuerzos que está realizando el Estado, existen todavía barreras que limitan las buenas prácticas en el uso eficiente de la energía, estas son de carácter administrativas, técnicas y financieras, entre otras (Ver Tabla 2).

BARRERA	PROBLEMAS
ADMINISTRATIVAS	<ul style="list-style-type: none"> • Problema de la inversión inicial. • Ausencia de una plataforma de política. • Falta de normalización y etiquetados de equipos. • Limitada institucionalidad del sector eléctrico hacia el uso final de la energía. • Falta de incentivos fiscales.
TÉCNICAS	<ul style="list-style-type: none"> • Poco conocimiento de tecnologías eficientes y buenas prácticas asociadas a EE. • Poca confiabilidad hacia los especialistas en EE. • Altos costos de los equipos eficientes. • Ausencia de programas de capacitación en EE. • La falta de normas y códigos de eficiencia energética para el diseño y construcción de edificios. • Deficiencias en la currícula de las carreras relacionadas directamente con la construcción (principalmente Ingeniería Civil y arquitectura). • Desconocimiento de herramientas de simulación ad-hoc por parte de los profesionales de las ingenierías y de arquitectura.
FINANCIERAS	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de experiencia de la banca comercial en estructuración financiera de inversiones en EE. • Normativa bancaria poco favorable a las inversiones nuevas en equipos eficientes. • Mayores costos iniciales con respecto a las tecnologías convencionales. • Limitada oferta y demanda de equipos y servicios.

Tabla 2. Barreras para la puesta en ejecución de medidas de EE

CAPÍTULO 2 DISEÑO METODOLÓGICO

Se parte del hecho que las instalaciones ya están construidas y que son ineficientes, por lo que se desarrollarán tareas llamadas Auditorías Energéticas. Estas auditorías se ejecutan con la ayuda del personal que labora en el edificio para tener veracidad de los datos recolectados. La metodología planteada es: un modelo básico y uno generalizado en el que involucra personal especializado en el tema energético.

A continuación, para hacer los estudios e implementación de medidas, se deben de crear grupos de trabajadores para tal fin. Es por ello que el Consejo Nacional de Energía define los Comités de Eficiencia Energética, el cual son grupos de empleados públicos que se encargan de llevar a cabo las actividades administrativas y técnicas que permitan reducir continuamente el consumo de energía eléctrica y combustibles en la institución, así también de impulsar y supervisar los programas de concientización en hábitos positivos para el Ahorro y EE.

2.1. METODOLOGÍA DE AUDITORIA ENERGÉTICA. MODELO BÁSICO

Las auditorías son un proceso sistemático para obtener un conocimiento fiable del consumo energético de la institución y detectar los factores que afectan a dicho consumo. También, se identifican y evalúan las distintas oportunidades de ahorro en función de su rentabilidad. El diagrama de bloque (Fig. 6), muestra las etapas típicas de la metodología en las que se desarrolla una auditoría energética [21].

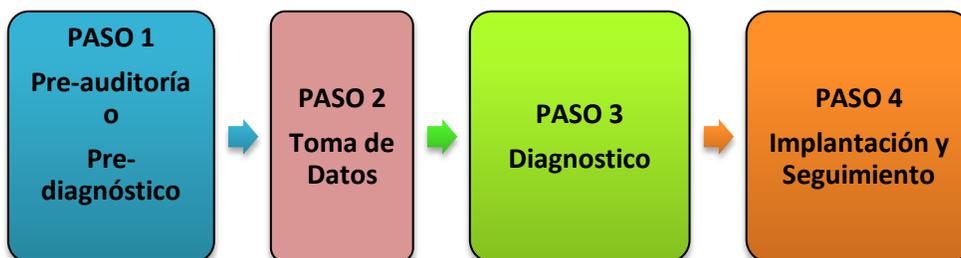


Fig. 6 Metodología básica de estudio de EE [21]

- Paso 1: Pre-auditoría. Se realiza una primera visita a la instalación, recabando información sobre los equipos, métodos de trabajo, protocolos de actuación, datos de tarificación y consumos energéticos (eléctricos, combustibles fósiles, energías alternativas). El objetivo de esta etapa es detectar los puntos críticos en cuanto a consumos, malas prácticas, etc. y poder establecer un plan de acción en cuanto a los períodos y puntos de toma de datos, medidas en el lugar y entrevistas con el personal.
- Paso 2: Toma de datos. Los períodos de toma de datos varían notablemente dependiendo del tipo de edificio, oscilando desde días hasta meses en función del número de equipos a auditar, tipos de instalaciones, dimensiones, etc. En cualquier caso, deben ser suficientes para que los datos sean representativos. Es importante durante esta etapa contar con la colaboración del personal, especialmente con el encargado de mantenimiento y el jefe de planta.
- Paso 3: Diagnóstico. El estudio de los datos anteriores permitirá identificar los puntos donde no se está consiguiendo un uso eficaz de la energía y establecer las medidas correctivas oportunas, como sustitución de equipos, nuevos protocolos de actuación, etc. Además de la viabilidad técnica, debe analizarse la viabilidad económica, determinando inversiones, beneficios, costes y períodos de recuperación.
- Paso 4: Implantación y seguimiento. Una vez adoptadas las medidas propuestas, debe realizarse un seguimiento para comprobar que se están ejecutando correctamente y confirmar las mejoras y los ahorros consiguientes.

A pesar de la consistencia de la metodología de estudio energético representada por el diagrama de bloques (Fig. 6), no se muestran en detalle procesos que pueden ser importantes para la implementación de medidas enfocadas a la EE. Por tal motivo, se presenta a continuación una metodología generalizada para realizar una auditoría energética más detallada.

2.2. METODOLOGÍA DE AUDITORIA ENERGÉTICA. MODELO GENERAL

Dado que la metodología básica no se puede generalizar a todos los edificios, es por ello que se muestra una manera detallada que involucra criterios más rigurosos para un estudio de EE [21].

Se sabe que existe diversidad de edificaciones que se le atribuyen diferentes usos, tales como hospitales, centros de estudios, laboratorios, oficinas administrativas, etc., de allí surgen las diversas metodologías para los distintos tipos de edificio según la utilidad por la que se construyó. No obstante, todas las metodologías disponibles para estudios de EE tienen características similares que pueden integrarse en una sola metodología general, es por ello que las etapas de la metodología básica (Fig. 6) no muestra pautas esenciales que pueden ser fundamentales a la hora de la aplicación. En la Fig. 7 se muestra un modelo detallado para realizar un estudio de EE.

A continuación se define la metodología:

A. LÍNEA BASE

La línea base es la especificación de las condiciones actuales o iniciales de los edificios ya construidos que se encuentran en operación. Es importante porque es el punto de partida de la operación real del edificio en donde se observarán las oportunidades de ahorro energético y sobre los cuales se comparan los resultados después de haber adoptado medidas de EE.

B. IDENTIFICACIÓN DEL EDIFICIO

Aunque esta etapa es importante para cualquier auditoría energética, hay casos en que las empresas, instituciones, organizaciones, etc., tienen en operación varios edificios, como el caso de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en la UES; la medición de la demanda eléctrica se registra en un medidor eléctrico, por tal razón debe de auditar la facturas y luego elegir los edificios que influyen grandemente en la facturación de energía. Para este análisis de consumo de energía eléctrica el Consejo Nacional de Energía establece 3 años como mínimo [22].

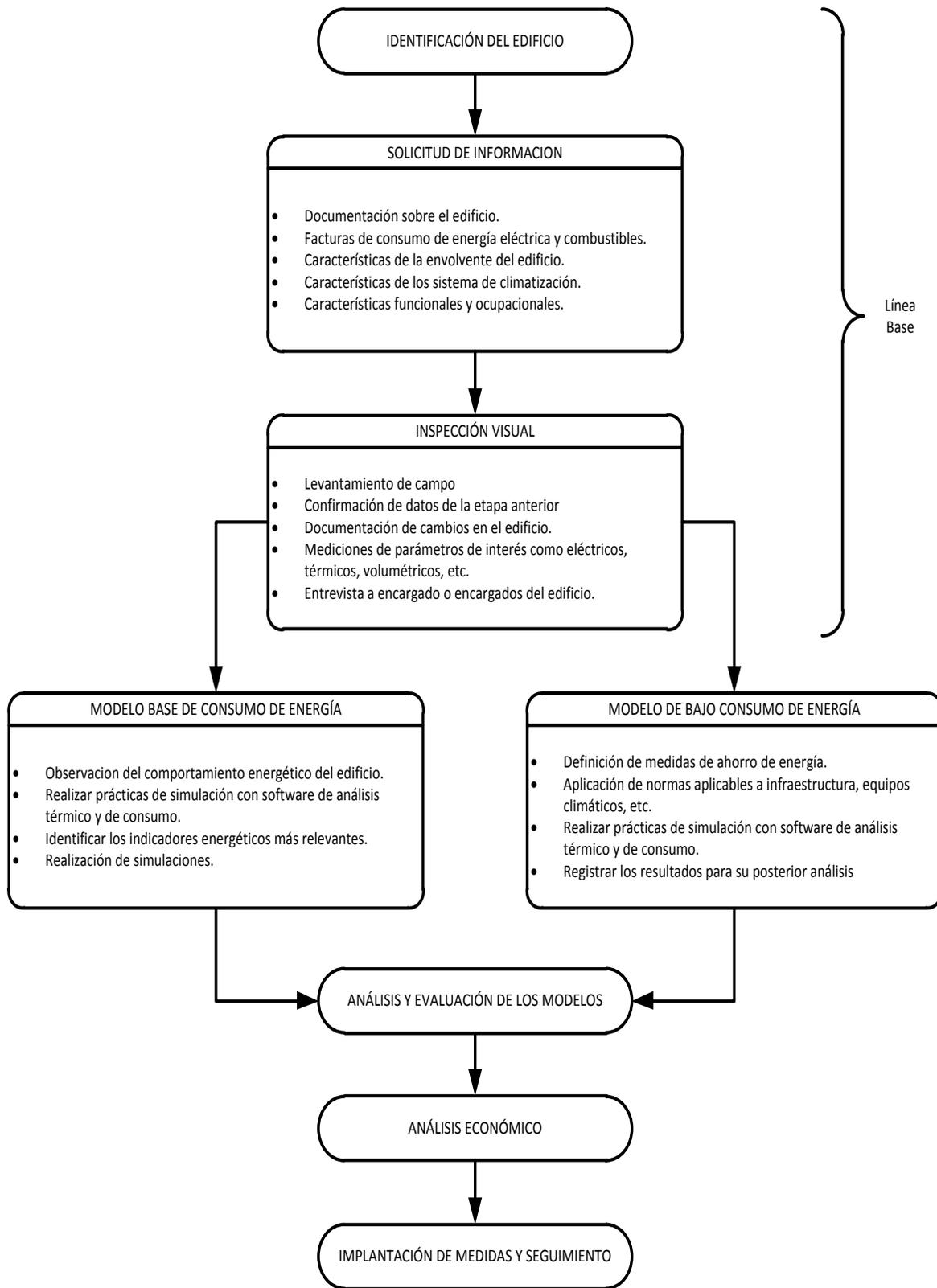


Fig. 7 Metodología para auditoría energética [21]

C. SOLICITUD DE INFORMACIÓN

En esta parte de la metodología se debe solicitar toda información crucial para un estudio de EE, una lista de esta información es la siguiente:

- Solicitar planos arquitectónicos de todas las vistas posibles del edificio, esta documentación debe incluir planos eléctricos, de distribución de equipos de climatización, etc.
- Solicitar recibos de facturas eléctricas y de combustible. Esta información sirve para tener una comprensión del comportamiento al que ha estado sujeto el edificio hasta su actual operación en función de energía y costos.
- Obtener información de las características constructivas del edificio. Se debe de instar sobre los materiales utilizados en la construcción de la envolvente, el material utilizado en las ventanas y puertas, materiales utilizados internamente en el edificio (pisos, cielo falso, divisiones, etc.).
- Obtener información técnica de los equipos de oficinas (PC's, faxes, fotocopiadoras, etc.), incorporar a esta información las características funcionales y ocupacionales de estos equipos.
- Adquirir información de los equipos de climatización. Se identifica el tipo de equipo de climatización, datos técnicos de unidades condensadores como unidades evaporadores, dimensiones de los ductos que sirven el aire a las áreas, etc., reporte del control de mantenimiento dado a los equipos de climatización, si no se posee planos de distribución de equipos de climatización, solicitar las áreas climatizadas por cada equipo, incorporar la distribución de controles de temperatura, reporte de características ocupacionales de los equipos de climatización, es decir, hora de encendido y apagado, temperaturas de termostato, etc.
- Cantidad de personas que hacen uso de las instalaciones. Dado que un edificio contiene diferentes campos de trabajo, sería preciso hacer un conteo de las personas por cada área y mejor aún, el conteo debe ser por cada área climatizada.

- Si el estudio lo requiere, solicitar también un registro de datos meteorológicos a instituciones especializadas locales.

D. INSPECCIÓN VISUAL

Después de obtener toda la solicitud requerida, la siguiente etapa es la de realizar una inspección visual al edificio, en esta etapa se deben recoger datos sobre mediciones de parámetros eléctricos y físicos de interés (eléctricos, temperatura, etc.), buscar cambios en las instalaciones que no están registrados en los planos y la corroboración de la información adquirida en la etapa anterior. En síntesis, es un levantamiento de campo con la colaboración de los encargados de campo sobre todo de los encargados del mantenimiento o jefe de planta.

Durante la visita al edificio se debe de apreciar las posibles deficiencias que dan hincapié a una operación ineficiente y que conlleva a una elevación del consumo energético. Estas deficiencias serán de gran valor a la hora de definir las medidas de ahorro energético.

E. MODELO BASE DE CONSUMO DE ENERGÍA

De acuerdo a la información adquirida en las etapas anteriores, se crea un modelo base que interprete el comportamiento energético actual del edificio, para ello se realizan prácticas simuladas con software de análisis térmico y energético. Si es posible se aplicarán normas y técnicas atribuibles a aspectos técnicos como diseño del edificio, equipos de climatización, sistema eléctrico, e iluminación. Después de operar los resultados arrojados por las simulaciones se tendrá un perfil de consumo de energía donde se identificarán los indicadores energéticos que manifiesten anomalía, es decir aquellos indicadores¹ que presenten un nivel de consumo no deseable.

A estos indicadores se les efectuarán los cambios necesarios de acuerdo a las medidas definidas de ahorro de energía y así crear un modelo de bajo consumo de energía, este modelo es explicado en la siguiente etapa.

¹ Indicadores Energéticos: son los rubros en los que se consume la electricidad como: aires acondicionaos, computadores, impresores, e iluminación.

F. MODELO DE BAJO CONSUMO DE ENERGÍA

Este modelo incluye medidas de mejoramiento en la operación del edificio, con finalidad de aprovechar el ahorro energético y de mejorar la Eficiencia Energética. Luego de identificar los indicadores energéticos que provienen del modelo base de consumo de energía y del juicio tomado en la inspección visual de aquellos elementos que requerirán cambios, se elabora una serie de acciones que deben de insertarse en el modelo creado en la etapa anterior. Estas acciones varían en los diferentes estudios y esto es porque los edificios presentan diferentes operaciones, algunas medidas que comúnmente se presentan en EE son:

- Remodelación constructiva de algunas zonas del edificio. Por ejemplo la instalación de cortasoles o persianas metálicas y alerones o marquesinas para disminuir la incidencia directa de los rayos solares. Para implementar estas medidas se necesitará de la colaboración de profesionales en arquitectura o profesionales civiles.
- Cambio o instalación de equipos aclimatadores de áreas más eficientes. Debe de considerarse cambios de aquellos equipos de climatización instalados actualmente a equipos más eficientes, también realizar cálculos precisos para dimensionar la capacidad de los equipos, aquí va implicar que se utilicen normas sobre la climatización de áreas. También ayudaría la instalación de sensores que monitoreen los hábitos de las personas que utilizan la zona climatizada.
- Utilización de tecnología de aislamiento térmico. Aparte de los cambios que se hagan en la fachada del edificio, no está de sobra de la utilización de tecnologías de aislamiento térmico en la envolvente. Algunas tecnologías de ejemplo pueden ser: aislamiento exterior de las paredes, ventana de doble vidrio hermético, etc.
- Crear un sistema de iluminación eficiente. Cuando se reestructure la envolvente del edificio, esta debe tener como objetivo bloquear un porcentaje de la luz natural, se debe realizar un sistema de iluminación considerando la cantidad de luz natural que entra al área. También debe de instalarse un control de encendido y apagado, utilizando por ejemplo sensores de iluminación electrónicos.

- Cambio en actitud de ahorro de energía. Esto se logra colocando viñetas en sitios visibles para recordarle al usuario sobre la importancia de un ahorro de energía.

Una vez elegidas la lista de acciones para el edificio en estudio, se insertan en el modelo y se realiza prácticas simuladas con software de análisis térmico y energético, luego se analizan y se define si han tenido efecto en la facturación eléctrica o en el confort de los trabajadores del edificio.

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.

G. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LOS MODELOS

De los datos registrados que se obtuvieron a partir de las simulaciones hechas a los modelos de bajo consumo, se comparan para determinar si se ha cumplido con la finalidad del ahorro energético. Si los datos no son satisfactorios se debe de verificar las etapas que le anteceden a esta para realizar nuevamente los cambios necesarios de manera que obtengan los resultados. Para validar los resultados de las simulaciones, se busca acercarse lo más posible a los datos reales obtenidos de las mediciones hechas en la etapa de “Inspección Visual” para los parámetros eléctricos y físicos de interés.

H. ANÁLISIS ECONÓMICO

Una vez observados los datos y cumplir la finalidad esperada, se realiza un análisis económico para establecer la factibilidad de la mejora en la eficiencia energética. Dentro de este análisis económico se debe de estudiar lo siguiente: Coste de inversión, Tiempo de amortización, y Impacto ambiental.

Al final se debe de confirmar con reportes al encargado del edificio, sobre los beneficios de la práctica de EE en sus instalaciones, queda a criterios de los encargados seguir las recomendaciones dados por el técnico evaluador.

I. IMPLEMENTACIÓN Y SEGUIMIENTO

Ahora se debe de imponer las medidas definidas de ahorro energético al edificio, cuyo seguimiento es establecido por el técnico en estudio de EE. El encargado evalúa los cumplimientos de las medidas propuestas y corrobora que los resultados reales se asemejen a los resultados del análisis previo, desarrollando reportes continuamente del comportamiento energético del edificio, sobre todo de aquellos indicadores que se eligieron para un cambio.

Los encargados del edificio deben de velar por el cumplimiento de las medidas de ahorro de consumo, pero para ello se requiere de la creación de un comité energético y una política energética.

2.3. GUÍA DE CREACIÓN DEL COMITÉ DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

Un Comité de Eficiencia Energética (COEE) es un grupo de empleados dentro de las unidades autónomas, que se encarga de llevar a cabo las actividades administrativas y técnicas que permitan reducir continuamente el consumo de energía eléctrica y combustibles e impulsar y supervisar los programas educativos, de concientización, acciones concretas y proyectos que permitan a mediano y largo plazo establecer una cultura de uso racional de los recursos energéticos de manera sostenible [23] [24]. La creación de los Comités de Eficiencia Energética COEE obedece al Decreto No 78 publicado en el Diario Oficial que relaciona el uso racional y eficiente de la energía en todas sus formas.

El éxito de los Comités de Eficiencia Energética depende en gran parte del interés y apoyo que la alta dirección y sus colaboradores, por lo tanto es importante los Organismos de Gobierno (CSU y AGU²) estén conscientes de la importancia. Para que la labor del COEE sea efectiva, es necesario que los Organismos le concedan la importancia que se merece, que le presten todo el apoyo necesario y que les concedan cierta autoridad a sus miembros para que los trabajadores respeten las recomendaciones que de ellos deriven. Además, en la medida de lo posible, se deberá facilitar los recursos económicos que permitan la ejecución de las iniciativas contempladas en el plan de acción.

² CSU: Consejo Superior Universitario, AGU: Asamblea General Universitaria

La importancia de los Comités de Eficiencia Energética en la Universidad de EL Salvador, radica en que al impulsarlos se logrará: 1) Reducir los costos de energía, 2) Impulsar una cultura de ahorro de energía [22].

Los principales objetivos del COEE son (Fig. 8):

- **EDUCACIÓN:** De los trabajadores sobre la necesidad de ahorrar energía en los lugares de trabajo, hogares y en el uso de vehículos, así como los conocimientos necesarios para llevar acciones concretas para reducir los consumos de energía.

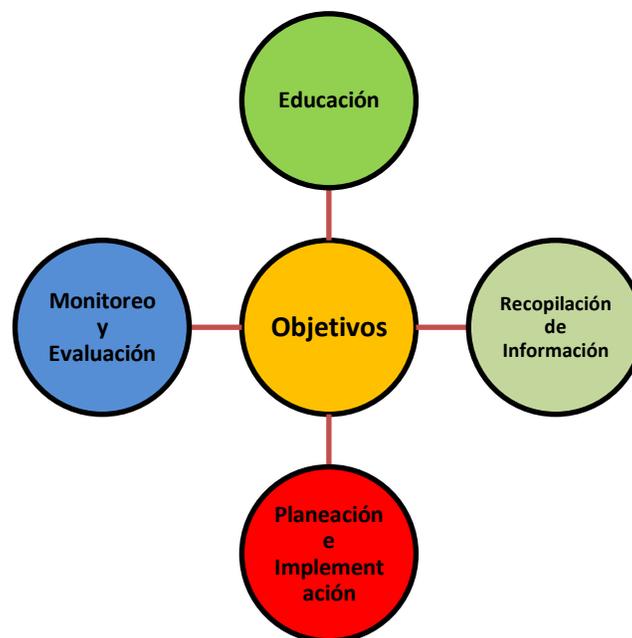


Fig. 8 Objetivos de los COEE (Fuente: CNE)

- **INFORMACIÓN:** Recopilar la información de los edificios del campus, que es necesaria para establecer una línea base del consumo de energía. Dicha línea base sería el punto de partida para elaborar planes de acción que busquen reducir los consumos y costos de la electricidad y los combustibles.
- **PLANEACIÓN:** Elaborar planes de acción que busquen atacar todos los aspectos de la eficiencia energética, tanto culturales como técnicos, a modo que la Universidad adquiera capacidad de administrar sus recursos energéticos y pueda continuamente reducir los mismos.

- VIGILANCIA: De la ejecución de los planes de acción, a modo de tomar medidas correctivas que permitan maximizar su eficacia.
- MONITOREO: De los consumos y costos de electricidad y combustibles de la Universidad, mediante la obtención y análisis de las facturas de consumo, a modo de tomar elementos para evaluar la efectividad de los planes de acción.
- EVALUACIÓN: De los planes de acción, a modo de reformular nuevos planes de acción que busquen dar continuidad a los logros obtenidos y se permita extender los alcances de los mismos.

2.3.1. ORGANIZACIÓN DE LOS COMITÉS DE EFICIENCIA ENERGÉTICA

A continuación se detallan algunos puntos cruciales para la implementación de los COEE en la Universidad de EL Salvador:

- a. El número de miembros de los Comités de Eficiencia Energética en la Universidad dependerá de cada una de las Facultades. Se recomienda que se cree un COEE en cada una de las Unidades autónomas, 12 en total. El representante principal debe de ser la persona encargada y con capacidad de gestión porque debe tener el apoyo de departamentos como la Dirección administrativa, dirección financiera, compras, adquisiciones, contrataciones, informática, comunicaciones, mantenimiento, entre otras. Se recomienda además, que el número total de miembros de un COEE no sea mayor a diez. Por cada miembro propietario se elegirá un miembro suplente.
- b. Los miembros de los COEE serán elegidos por los Decanos de cada una de las Unidades autónomas con la asesoría del Consejo Nacional de Energía (CNE) o de un reglamento interno [23] [25]. Los miembros serán parte del personal de la Facultad, en base a su capacidad de gestión dentro del departamento al cual pertenecen, habilidades de liderazgo y gozar del buen aprecio y estimación de los trabajadores. Se elaborará un acuerdo, por parte de los Organismos de Gobierno local, mediante el cual se hace efectivo el nombramiento de cada miembro.
- c. Los miembros de los COEE durarán en sus cargos por el período de dos años, pudiendo ser reelectos según las normativas Universitarias.

- d. Los Comités de Eficiencia Energética se reunirán ordinariamente una vez al mes y extraordinariamente las veces que sea necesario por convocatoria o iniciativa de uno o más de sus miembros. En la primera sesión del comité se integrará la estructura organizacional (Fig. 9) en la siguiente forma: un Presidente, un Secretario, un Encargado Técnico y Vocales (colaboradores).
- e. El Encargado Técnico es un cargo crucial para el desempeño de los comités, ya que es un empleado con instrucción y experiencia notoria en temas asociados a la eficiencia energética y quien coordinará actividades técnicas de recopilación de información, análisis, formulación de políticas energéticas.



Fig. 9 Miembros del Comité de Eficiencia Energética [23]

- f. La duración de las sesiones dependerá de los puntos a tratar. Estas sesiones deberán mantener un orden, haciendo uso de una agenda previamente preparada por el Secretario. Los pasos que recomendados por el CNE para la reunión se presentan en la Fig. 10.



Fig. 10 Pasos para una reunión de COEE [23]

2.3.2. PROCESO DE FORMACIÓN Y ACTIVIDADES DE LOS COEE

A continuación se ilustra el proceso de formación y las actividades que deben realizar los comités de eficiencia energética en la Universidad (Fig. 11) [21]. Los COEE funcionan de forma cíclica y están orientados hacia la mejora continua según los estudios que estén arrojando.

PASO 1: DESIGNAR MIEMBROS DE COMITÉS

La designación de los empleados que formarán parte del Comité de Eficiencia Energética será realizada por cada uno de los Decanos de las distintas Unidades Autónomas. Se recomienda que el comité de eficiencia energética esté formado por al menos siete personas pero no más de diez miembros.

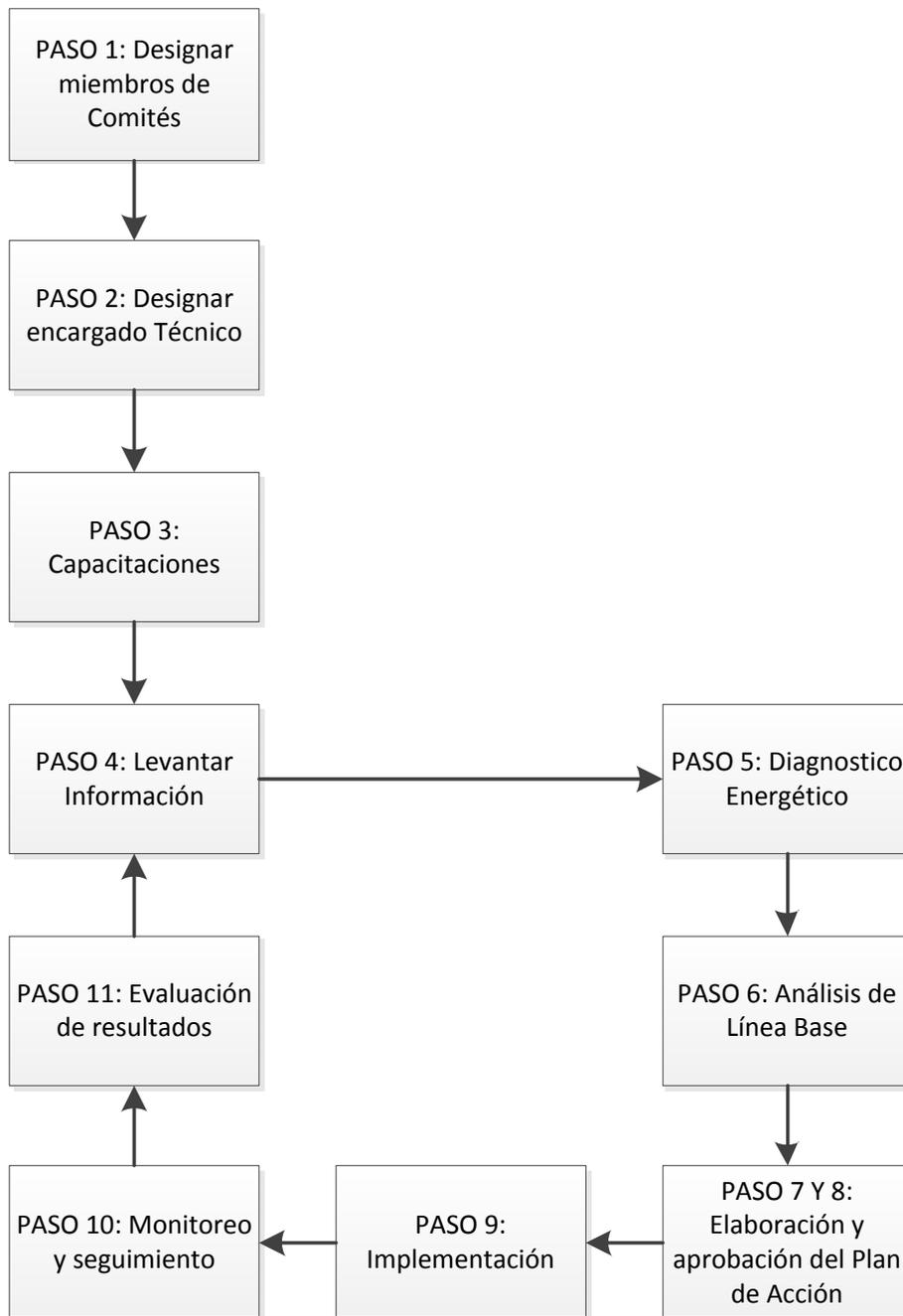


Fig. 11 Proceso de formación y consolidación de COEE [23]

PASO 2: DESIGNAR ENCARGADO TÉCNICO

Cada Facultad deberá designar un encargado técnico que cumpla con las siguientes características: técnico en Electricidad o Mecánica, proactivo, con capacidad de liderazgo y habilidades analíticas, y conocimientos de eficiencia energética en las edificaciones. Las funciones son:

- Coordinar el levantamiento de información histórica de consumo energético (electricidad y combustibles) de los edificios pertenecientes a su Unidad. El levantamiento de información debe incluir los equipos, horarios de utilización, y especificaciones técnicas. Dicha información será fundamental para establecer la línea base de la Facultad.
- Supervisar la realización de los diagnósticos energéticos y bioclimáticos.
- Efectuar el análisis de la línea base y los diagnósticos, a modo de identificar líneas de acción, proponer metas de ahorro, proponer acciones concretas, políticas, capacitaciones adicionales, etc.
- Redactar un borrador del plan de acción de ahorro de energía, que sirva como base para la discusión del Comité de Eficiencia Energética.
- Supervisar la implementación del plan de acción, efectuar un constante monitoreo de las acciones comprendidas en el plan de acción y llevar control de los resultados obtenidos.
- Efectuar análisis de resultados de la implementación del plan de acción, verificar cumplimiento de metas cuantitativas y cualitativas.
- Coordinar la actualización de los levantamientos, análisis, formulación de planes de acción actualizados.

PASO 3: CAPACITACIONES

Se debe de buscar una serie de capacitaciones relacionadas al tema energético en las instituciones pertinentes (CNE) a modo de dar los insumos suficientes a los participantes para realizar sus labores de forma exitosa. Se buscarán los siguientes perfiles de capacitaciones:

- a. Capacitación para miembros de comités de eficiencia energética. La capacitación inicial para miembros de comités de eficiencia energética tiene como objetivo presentar los conceptos básicos y el lenguaje utilizado en el campo de la eficiencia energética. Se pretende concientizar a los miembros de comités sobre la importancia del ahorro, introducirlos a las estrategias y tecnologías de ahorro energético y el procedimiento de creación y establecimiento de comités de eficiencia energética. Se busca además, capacitar a los miembros de los comités sobre el contexto energético nacional y políticas energéticas en instituciones.

- b. Capacitación para encargado técnico de COEE. La capacitación para el encargado técnico de COEE es sumamente técnica y busca preparar a dicho encargado para efectuar procesos de recolección de información y estadística energética, efectuar análisis de líneas base de consumo energético, identificar medidas de conservación y eficiencia energética aplicables a la Unidad, calcular el potencial de reducción del consumo de energía y sus respectivos ahorros mediante medidas de eficiencia energética, elaborar planes de acción de ahorro de energía, elaborar políticas energéticas institucionales, analizar y actualizar diagnósticos energéticos.
- c. Capacitación para el personal en general de las instituciones. La capacitación general para el personal de las instituciones tiene fines puramente de concientización sobre la importancia de ahorrar energía eléctrica y combustibles, además de presentar las medidas concretas a tomar, contempladas en el plan de acción de ahorro energético a modo que se creen las condiciones que faciliten los cambios culturales buscados y se facilite la introducción de tecnologías de eficiencia energética.

PASO 4: LEVANTAR INFORMACIÓN

Es necesario elaborar una línea base del consumo energético de cada uno de los.

a. INFORMACIÓN GENERAL SOBRE INSTALACIONES Y FLOTAS VEHICULARES

Planos arquitectónicos (Planta, elevaciones), Metros cuadrados de construcción, Año de construcción, Número de empleados, Horarios de trabajo, y Identificación de zonas con aire acondicionado en los planos.

b. REGISTROS DE CONSUMO DE ENERGÍA (ELECTRICIDAD Y COMBUSTIBLES)

Facturas de Electricidad completas de los tres últimos años y registros de Gastos de Compra de Combustibles para Transporte para los tres últimos años

c. INVENTARIO DE EQUIPOS CONSUMIDORES DE ENERGÍA Y VEHÍCULOS

Listado de todos los equipos (computadoras, fax, teléfonos, impresores, cafeteras, microondas, etc.), luminarias (focos, lámparas, etc.), maquinaria (bombas, elevadores) que consumen energía eléctrica en cada zona del edificio y vehículos.

d. HORARIOS DE UTILIZACIÓN DE EQUIPOS

Tiempo y horas específicas de utilización de equipos consumidores de energía.

PASO 5: DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO

Un diagnóstico energético o Auditoría es un estudio técnico que permite identificar proyectos de bajo y mediano costo que permitirían reducir considerablemente el consumo energético. Un diagnóstico energético considera medidas tales como: Iluminación eficiente, aires acondicionados eficientes, protecciones bioclimáticas, sistemas de control inteligente, etc. El diagnóstico presenta estimados de costos y ahorros previstos por cada proyecto. Los resultados del diagnóstico pueden ser utilizados para gestionar proyectos de eficiencia energética, los cuales formarán parte del plan de acción a elaborar por el comité de eficiencia energética.

PASO 6: ANÁLISIS DE LÍNEA BASE

Con la Información energética recolectada, como lo son facturas de energía eléctrica, registro de consumo de combustibles, inventario de equipos etc. Se deberá realizar una línea base para determinar cuánta energía se consume y como es utilizada. Es labor del Encargado Técnico del comité efectuar un análisis exhaustivo de los resultados de la línea base y utilizar dichos análisis en conjunción con los diagnósticos energéticos para identificar medidas de bajo, mediano o alto costo, que permitan reducir el consumo energético ya sea mediante el cambio de costumbres de los empleados o la introducción de tecnología eficiente.

Algunas de las medidas de bajo costo [26], que implican un cambio en costumbres son:

a. AIRE ACONDICIONADO:

- Configuración de termostatos a 24 °C.
- Uso racional de equipos mini Split o centralizados en áreas comunes (salas de reuniones, aulas de capacitación).
- Mantener cerrados los espacios con aire acondicionado.
- Encendido y apagado de equipos en base a su utilización.
- Mantenimiento preventivo adecuado de equipos.

b. ILUMINACIÓN:

- Aprovechar iluminación natural en zonas perimetrales.
- Instrucciones a encargados para apagar luces en horarios fuera de lo laboral.

- Mantenimiento regular a luminarias y balastos.
- Estudiar la sustitución de iluminación incandescente por iluminación fluorescente de alta eficiencia.
- Sustituir luminarias T12 por luminarias T8 de forma gradual y balastro electrónico.

c. EQUIPO DE CÓMPUTO:

Configurar equipos en modo hibernación, para que después de un tiempo prudente entren en estado de bajo consumo y apagar por completo equipos de cómputo y desconectarlos al finalizar la jornada laboral.

d. EQUIPOS DE OFICINA:

Desconectar fuentes de agua (oasis) al finalizar la jornada laboral y desconectar equipos electrónicos al finalizar jornada laboral.

e. COMPRAS DE EQUIPOS:

Adquirir equipos eléctricos en general, con certificación de ahorro de energía y utilizar normativas recomendadas por el CONACYT³ NSO 23.47.07:09 para la compra de aires acondicionados [27].

Los Planes de Acción incluyen, además, estrategias de comunicación y concientización para lograr una respuesta positiva de los empleados ante las medidas propuestas. Algunas de las estrategias pueden ser:

- a. Mensajes de correos electrónicos, banners, pantallas informativas, etc.
- b. Establecer políticas institucionales que permitan girar instrucciones al personal para aplicar las medidas de acción. Esto se traduce en la concientización del personal y empresas de mantenimiento para que apaguen los equipos durante la noche.
- c. Campañas de concientización con mensajes audiovisuales (rótulos, calcomanías, calendarios) con mensajes alusivos.
- d. Jornadas de Capacitación a empleados.

³ CONACYT: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología El Salvador

PASO 7: ELABORAR PLAN DE ACCIÓN

El Plan de Acción debe recoger los resultados del análisis de línea base y diagnóstico energético y se deberá formular un plan bien estructurado que permita, en el mediano plazo, reducir el consumo de energía de la institución de forma sostenible.

PASO 8: APROBACIÓN DEL PLAN DE ACCIÓN

Una vez se ha elaborado el plan de acción, éste deberá ser discutido y aprobado por el COEE.

PASO 9: IMPLEMENTACIÓN

De acuerdo a la calendarización presentada en el plan de acción, se dará inicio a la implementación del plan de acción. Es de vital importancia el apoyo de todos los miembros del comité de eficiencia energética mediante los apoyos logísticos y administrativos.

PASO 10: MONITOREO Y SEGUIMIENTO

El comité de eficiencia energética de la Facultad tendrá la responsabilidad de darle seguimiento a la implementación del plan de acción. Se deberá dar un monitoreo de los consumos de energía a partir de la implementación del plan de acción. Además, se deberá registrar aspectos cualitativos de la implementación, tales como la cooperación observada de los empleados, cambio de costumbres observadas, etc. El comité deberá reunirse periódicamente, para compartir información sobre las observaciones relacionadas a la implementación del plan de acción en todos los niveles, y de ser posible identificar los ajustes necesarios a las medidas.

PASO 11: EVALUACIÓN DE RESULTADOS

De forma periódica el Comité de Eficiencia Energética deberá realizar una evaluación de resultados del Plan de Acción. Se recomienda que dicho período sea de un año, a modo de tener mejores insumos de los resultados del plan y su sostenibilidad. Posterior a la evaluación, se volverá a actualizar la línea base. Se actualizará el diagnóstico energético y se identificarán nuevas oportunidades de mejora.

CAPÍTULO 3 RESULTADOS DE LA AUDITORÍA ENERGÉTICA

Acorde a estudios internacionales [16], los edificios consumen una buena parte de la energía total producida en un país, ya sea para su iluminación, operación de sistemas de ventilación, calefacción, aire acondicionado y sistemas mecánicos o electrónicos tales como: equipo de oficina, elevadores, servidores, etc. A esto se le suma el consumo de combustibles para alimentar generadores o plantas eléctricas de emergencia. Dada la justificación anterior, en este capítulo se expone en detalle la metodología para realizar una auditoría energética a un edificio e identificar los rubros energéticos que consumen mayor energía eléctrica.

En la actualidad es importante el manejo de herramientas computacionales que ayudan a facilitar el análisis del comportamiento energético de edificios. La simulación es la representación imitativa del funcionamiento de un sistema o proceso por medio del funcionamiento de otro [28]. Para una auditoría energética, se necesitan simuladores que tengan la capacidad de abstraer las condiciones de operación termodinámica de un edificio. Una definición aproximada sería, un modelo por computadora de los procesos de energía dentro de un edificio que se destinan a proporcionar un ambiente térmico confortable para los ocupantes o equipo electrónico de un edificio. La idea de la simulación es evidenciar los problemas energéticos en el proceso constructivo o en su operación. Haciendo uso de esto, podemos ahorrar energía en el transcurso de la vida útil del edificio hasta la demolición.

El edificio escogido para la auditoría energética es la Escuela de Ingeniería Eléctrica, ubicado dentro del campus de la UES. Este edificio es un buen ejemplo de aula, laboratorio, centro de cómputo, y oficina.

Como parte final del capítulo, se verifican los resultados de la simulación con los medidos usando un analizador de energía trifásico PCE-8000.

3.1. LÍNEA BASE EDIFICIO DE LA ESC. DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Los siguientes pasos son lineamientos generales para utilizar cualquier programa de simulación de edificios que ayudaran a agilizar la creación de modelos de Edificios, para este caso se usa el simulador energético EnergyPlus 8.0 [29].

3.1.1. PLANIFICACIÓN

La siguiente lista debe ser completada antes de iniciar a construir el archivo de entrada [29].

- Obtener información de la geolocalización y datos meteorológicos de la ciudad o lugar donde está ubicado el edificio. Si es posible, usar uno de los archivos de meteorológicos disponibles en la base de datos, para el periodo de tiempo en que se realizara la ejecución.
- Obtener suficiente información de la construcción del edificio para permitir la especificación de la geometría total del edificio y las superficies de las construcciones (incluyendo las paredes exteriores, las paredes interiores, tabiques o divisiones (paredes delgadas que separan dos espacios), pisos, techo, cielo falso, ventanas y puertas).
- Obtener suficiente información del uso del edificio en los temas de iluminación, cantidad de personas que laboran o permanecen en las instalaciones. Esto determina los horarios de utilización de los equipos energéticos.
- Obtener suficiente información del control termostático del edificio para permitir la especificación del control de temperatura estratégico para cada área del edificio.
- Obtener suficiente información de la operación de los sistemas HVAC para permitir la especificación y programación de los sistemas de ventilación.

3.1.2. DETERMINACIÓN DE LAS ZONAS DEL EDIFICIO

Una “Superficie” del edificio es el elemento fundamental en el modelado. En forma general, hay dos tipos de “Superficie” en EnergyPlus, estas son:

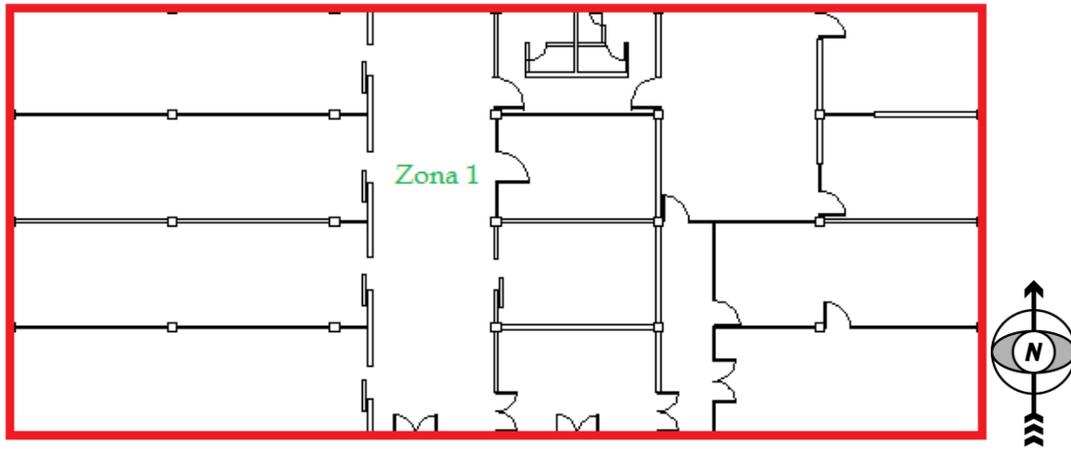
1. Las superficies de transferencia de calor.
2. Las superficies de almacenamiento de calor.

La primera regla del modelado del edificio es, “Siempre definir una superficie como una superficie de almacenamiento de calor a menos que se deba definir como una superficie de transferencia de calor” [29]. Cualquier superficie que separa espacios a temperaturas significativamente diferentes, debe definirse como una superficie de transferencia de calor. Así, las superficies exteriores, tales como las paredes exteriores, techos y pisos, son superficies de transferencia de calor. Superficies interiores (tabiques o divisiones) son superficies de almacenamiento de calor, si mantienen espacios separados a la misma temperatura y superficies de transferencia de calor si mantienen espacios separados a diferente temperatura.

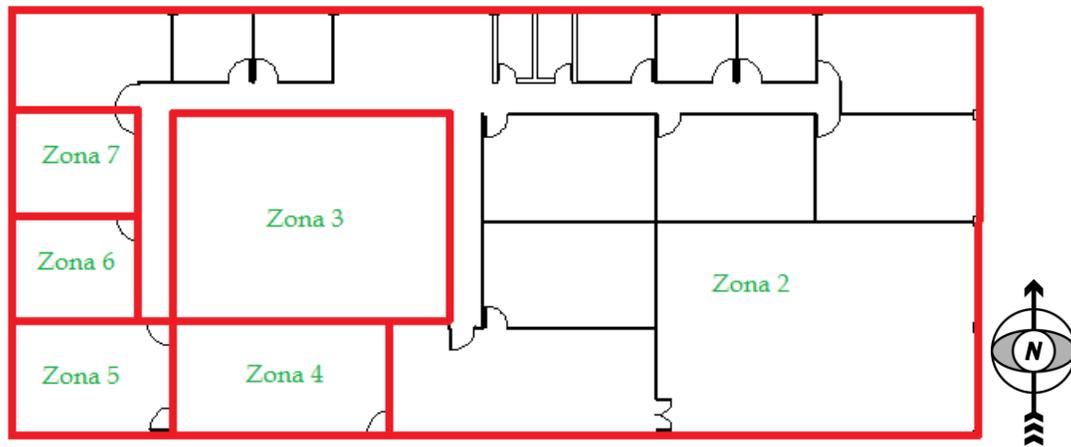
Un concepto de zona en Energy Plus no refiere a aspectos geométricos, sino que está relacionado a aspectos Termodinámicos. Una ZONA TÉRMICA es un volumen de aire a una temperatura uniforme, es decir que las temperaturas son idénticas en todos los puntos de la superficie, además de todas las superficies de transferencia de calor y almacenamiento de calor que limitan o están en el interior de ese volumen de aire.

EnergyPlus calcula la energía requerida para mantener cada zona a una temperatura específica para cada hora del día. Para que EnergyPlus realice un balance de calor por zona, el primer paso es preparar una descripción del edificio separándolo por zonas. El objetivo de este ejercicio es la definición de pocas zonas como sea posible sin comprometer significativamente la integridad de la simulación. La regla general entonces es usar el número de sistemas de ventilación o HVAC para determinar el número de zonas en el edificio. Entonces se puede concluir que el número mínimo de zonas en un modelo de simulación, en general usualmente será igual al número de sistemas de HVAC en el edificio.

Para el modelo detallado del edificio de Ingeniería Eléctrica considerando los criterios propuestos por el DOE, se han identificado siete zonas, Fig. 12. Estas fueron seleccionadas por los sistemas de aire acondicionado que climatizan cada zona, así como también la radiación solar que incide en cada nivel del edificio.



(a) Nivel 1



(b) Nivel 2

Fig. 12 Zona detallada Escuela de Ingeniería Eléctrica [30]

Además, hay que agregar la zona del Plenum, que es el espacio entre el cielo falso y el techo, dando como resultado nueve zonas.

3.1.3. OBTENCIÓN DE DATOS PARA MODELO DEL EDIFICIO

Trabajando desde los planos arquitectónicos y siguiendo las instrucciones para la identificación de zonas térmica descritas en el Tema 3.1.2, las zonas del edificio se determinan con sus respectivas medidas geométricas para ser incluidas en el dibujo. Específicamente en el modelo del edificio se debe de determinar lo siguiente:

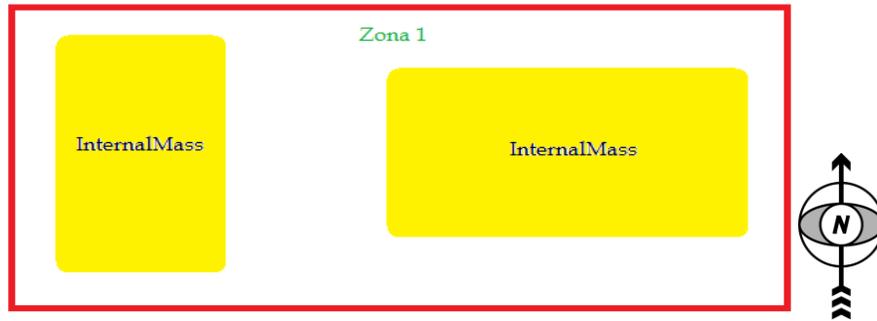
- a. Superficies de transferencia de calor y almacenamiento de calor, estas son puertas, ventanas, y muebles internos.
- b. Definir superficies equivalentes.

Cuando el edificio fue zonificado en el Tema 3.1.2, el objetivo fue definir pocas zonas como sea posible. Ahora se ampliara este objetivo para incluir en la definición de las zonas, pocas superficies como sea posible, sin comprometer de manera significativa la integridad de la simulación.

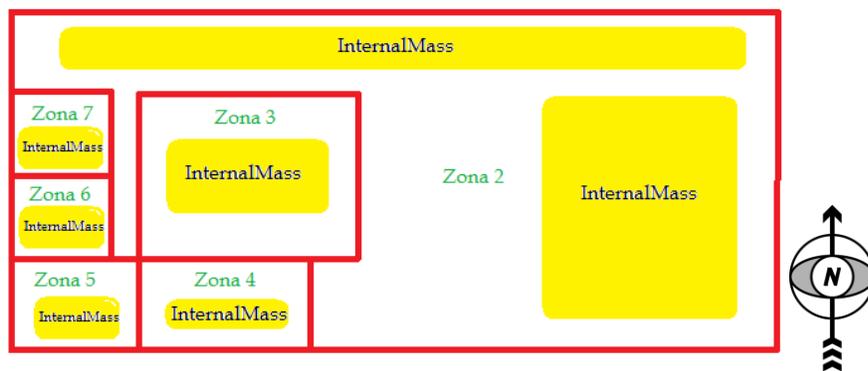
A continuación se describen unas reglas sencillas para comprender la importancia de las superficies equivalentes y cómo estas superficies pueden ser utilizadas.

- Definir todos los techos y pisos como rectángulos, independientemente de la forma de la zona. Cada zona puede tener un techo y piso rectangular.
- Definir todas las superficies de almacenamiento de calor de la misma construcción dentro de una zona como una sola superficie. El tamaño de la superficie sola o única se obtiene sumando las áreas de la superficie individual expuestas para la zona.
- Combinar todas las ventanas en una superficie exterior dada en una sola ventana. Usualmente cada superficie exterior debería tener una sola ventana de cada tipo. Voladizos u otros dispositivos de sombreado pueden requerir que más ventanas estén especificadas o combinadas conjuntamente.

Las superficies de almacenamiento de calor se pueden declarar de mejor manera como masas internas, (ver Fig. 13), donde se toma el área de cada lado de la superficie y se incluye en la zona a la cual pertenece, ya sea las áreas de ambos lados para la misma zona o una área de un lado en una zona y la otra área del otro lado a la otra zona.



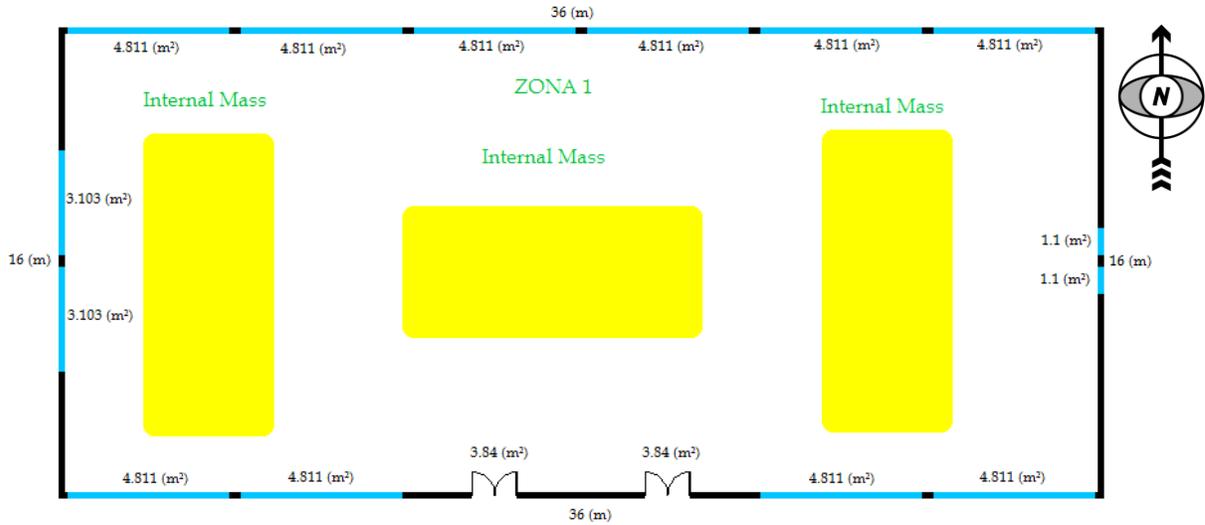
(a) Nivel 1



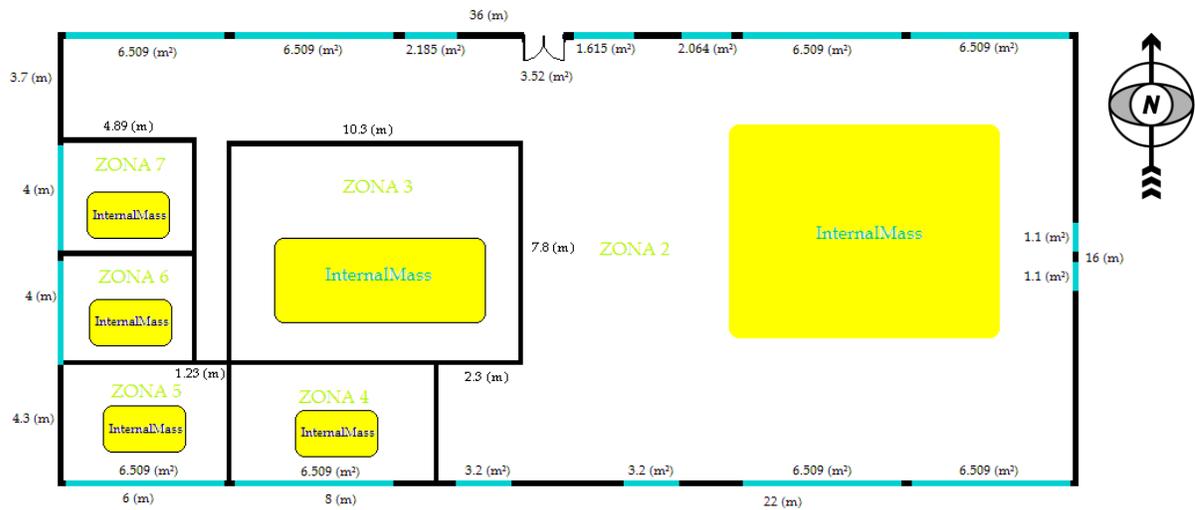
(b) Nivel 2

Fig. 13 Masas Internas EIE [30]

- c. Especificar las superficies y sub-superficies (ventanas, puertas, etc.), construcción y materiales del edificio. BLAST, DOE-2 y otros programas a menudo tienen "librerías" de los materiales de construcción, los horarios para la programación de sistemas HVAC, luminarias, equipo eléctrico y otros aspectos de la simulación de edificios. Para construcciones, se utilizan los lineamientos del ASHRAE Handbook of Fundamentals (2005) [31].
- d. Recopilación de la información de superficies y sub-superficies. La Fig. 14 es una representación esquemática del modelado de cada zona. Desde la Tabla 3 a la Tabla 9, se muestra la recolección de datos de las zonas. Las superficies están numeradas en sentido anti-horario alrededor de la zona que comienza en la esquina inferior izquierda de la Fig. 14. Estas tablas presentan la mínima información requerida de cada zona, recopiladas por el usuario para el modelado del edificio en EnergyPlus.



(a) Nivel 1



(b) Nivel 2

Fig. 14 Dimensiones de paredes, áreas de puertas y ventanas [32]

ZONA 1				
Superficie	Tipo	Construcción	Longitud [m]	Área[m ²]
1	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	36	
2	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
3	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
4	Puerta	Puerta Metálica de Lámina de Hierro 1.3mm		3.84
5	Puerta	Puerta Metálica de Lámina de Hierro 1.3mm		3.84
6	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
7	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811

8	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	16	
9	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		1.1
10	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		1.1
11	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	36	
12	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
13	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
14	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
15	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
16	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
17	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		4.811
18	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	36	
19	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		3.103
20	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		3.103
21	Cielo Falso	Cielo Falso de Losa de Concreto		582.47
22	Piso	Piso Interior		582.47
23	Masa Interna	Paredes Internas: División de Fibrolit		710.46
24	Masa Interna	Puertas Internas: Puerta de Plywood		78.96
25	Masa Interna	Muebles internos: Mueble Interior		52.38

Tabla 3 Recopilación de información zona 1

ZONA 2				
Superficie	Tipo	Construcción	Longitud [m]	Área[m ²]
1	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	22	
2	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		3.2
3	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		3.2
4	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
5	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
6	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	16	
7	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		1.1
8	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		1.1
9	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	36	
10	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
11	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
12	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		2.064
13	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		1.615
14	Puerta	Puerta Metálica de Lámina de Hierro 1.3mm		3.52
15	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		2.185
16	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
17	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
18	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	3.7	
19	Pared Interior	División de Fibrolit	4.89	
20	Pared Interior	División de Fibrolit	8	
21	Pared Interior	División de Fibrolit	1.23	
22	Pared Interior	División de Fibrolit	8	
23	Pared Interior	División de Fibrolit	10.3	
24	Pared Interior	División de Fibrolit	7.8	
25	Pared Interior	División de Fibrolit	2.3	
26	Pared Interior	División de Fibrolit	4.3	
27	Cielo Falso	Cielo Falso de Loseta de Fibrolit		392.362

28	Piso	Piso Interior		392.362
29	Masa Interna	Paredes Internas: División de Fibrolit		540
30	Masa Interna	Puertas Internas: Puerta de Plywood		50.4
31	Masa Interna	Muebles internos: Mueble Interior		39.4

Tabla 4 Recopilación de información zona 2

ZONA 3				
Superficie	Tipo	Construcción	Longitud [m]	Área[m ²]
1	Pared Interior	División de Fibrolit	10.3	
2	Pared Interior	División de Fibrolit	7.8	
3	Pared Interior	División de Fibrolit	7.8	
4	Pared Interior	División de Fibrolit	10.3	
5	Cielo Falso	Cielo Falso de Loseta de Fibrolit		80.114
6	Piso	Piso Interior		80.114
7	Masa Interna	Puertas Internas: Puerta de Plywood		2.52
8	Masa Interna	Muebles internos: Mueble Interior		18.6

Tabla 5 Recopilación de información zona 3

ZONA 4				
Superficie	Tipo	Construcción	Longitud [m]	Área[m ²]
1	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	8	
2	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
3	Pared Interior	División de Fibrolit	4.3	
4	Pared Interior	División de Fibrolit	8	
5	Pared Interior	División de Fibrolit	4.3	
6	Cielo Falso	Cielo Falso de Loseta de Fibrolit		34.627
7	Piso	Piso Interior		34.627
8	Masa Interna	Paredes Internas: División de Fibrolit		21
9	Masa Interna	Puertas Internas: Puerta de Plywood		8.4
10	Masa Interna	Muebles internos: Mueble Interior		5.8

Tabla 6 Recopilación de información zona 4

ZONA 5				
Superficie	Tipo	Construcción	Longitud [m]	Área[m ²]
1	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	6	
2	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		6.509
3	Pared Interior	División de Fibrolit	4.3	
4	Pared Interior	División de Fibrolit	6	
5	Pared Interior	División de Fibrolit	4.3	
6	Cielo Falso	Cielo Falso de Loseta de Fibrolit		26.4
7	Piso	Piso Interior		26.4
9	Masa Interna	Puertas Internas: Puerta de Plywood		4.2
10	Masa Interna	Muebles internos: Mueble Interior		3

Tabla 7 Recopilación de información zona 5

ZONA 6				
Superficie	Tipo	Construcción	Longitud [m]	Área[m ²]
1	Pared Interior	División de Fibrolit	4.89	
2	Pared Interior	División de Fibrolit	4	
3	Pared Interior	División de Fibrolit	4.89	
4	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	4	
5	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		3.03
6	Cielo Falso	Cielo Falso de Loseta de Fibrolit		19.334
7	Piso	Piso Interior		19.334
9	Masa Interna	Puertas Internas: Puerta de Plywood		2.1
10	Masa Interna	Muebles internos: Mueble Interior		2.44

Tabla 8 Recopilación de información zona 6

ZONA 7				
Superficie	Tipo	Construcción	Longitud [m]	Área[m ²]
1	Pared Interior	División de Fibrolit	4.89	
2	Pared Interior	División de Fibrolit	4	
3	Pared Interior	División de Fibrolit	4.89	
4	Pared Exterior	Pared de Bloque de Concreto	4	
5	Ventana	Ventana Tipo Primavera color Bronce		3.03
6	Cielo Falso	Cielo Falso de Loseta de Fibrolit		19.79
7	Piso	Piso Interior		19.79
9	Masa Interna	Puertas Internas: Puerta de Plywood		2.1
10	Masa Interna	Muebles internos: Mueble Interior		2.44

Tabla 9 Recopilación de información zona 7

3.1.4. ENERGYPLUS Y GOOGLE SKETCH UP

La asociación de EnergyPlus con SketchUp permite de forma relativamente fácil el modelado de los edificios para simularlos energéticamente, donde SketchUp se encarga de la parte Geométrica y EnergyPlus de la parte Energética.

OpenStudio es una herramienta gratuita para el programa de dibujo en 3D Google SketchUp. La herramienta hace más fácil la creación y edición de la geometría de los edificios en los archivos de entrada de EnergyPlus. OpenStudio es principalmente un redactor de la geometría para EnergyPlus. Permite crear un dibujo del edificio, agregar las zonas, dibujar las superficies de transferencia de calor, dibujar las ventanas y las puertas, dibujar las superficies de sombreado, etc. La mejor parte es que todo lo que se está dibujando es por medio de las herramientas estándar proporcionadas por SketchUp. Una vez que se tiene terminado el dibujo, se puede guar-

dar como archivo de entrada IDF de EnergyPlus. También, permite abrir cualquier archivo de entrada IDF (Intermediate Data Format) de EnergyPlus, si fue dibujado con el plugin o no, y comenzar a realizar cambios de la geometría, modificar zonas, suprimir superficies, agregar nuevas superficies, etc. En la Fig. 15 se muestra la geometría total del Edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica.

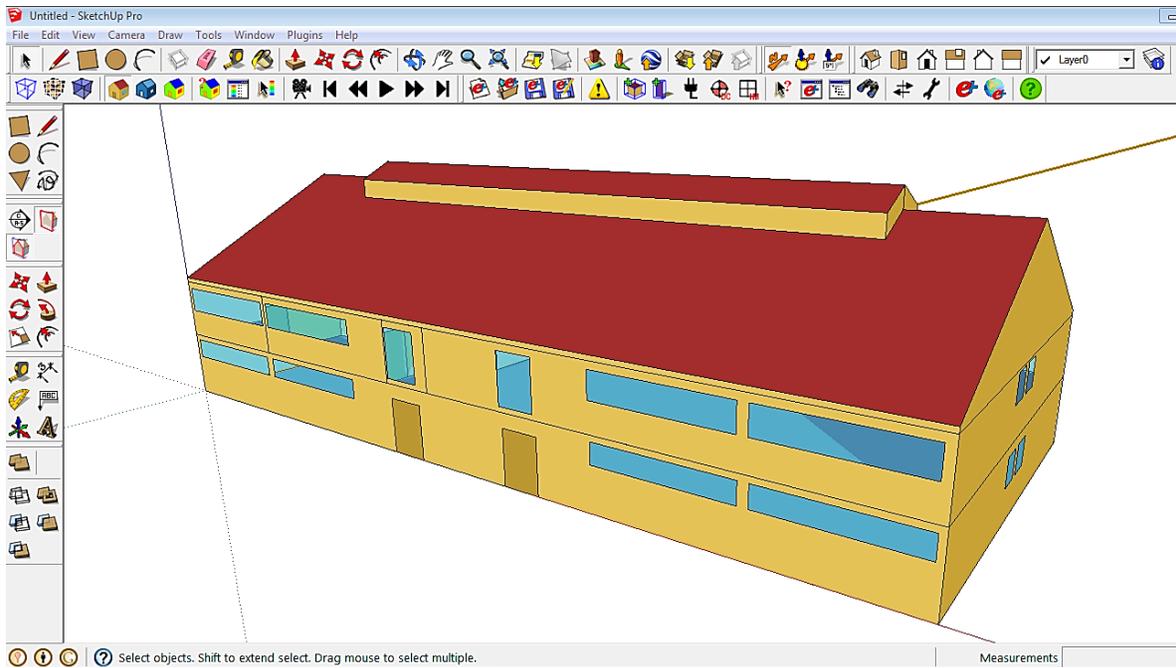


Fig. 15 Modelo del Edificio EIE usando SketchUp

A continuación se presenta el desglose de todas las zonas identificadas en el edificio de la escuela de eléctrica, aplicando el concepto de zonificación detallada:

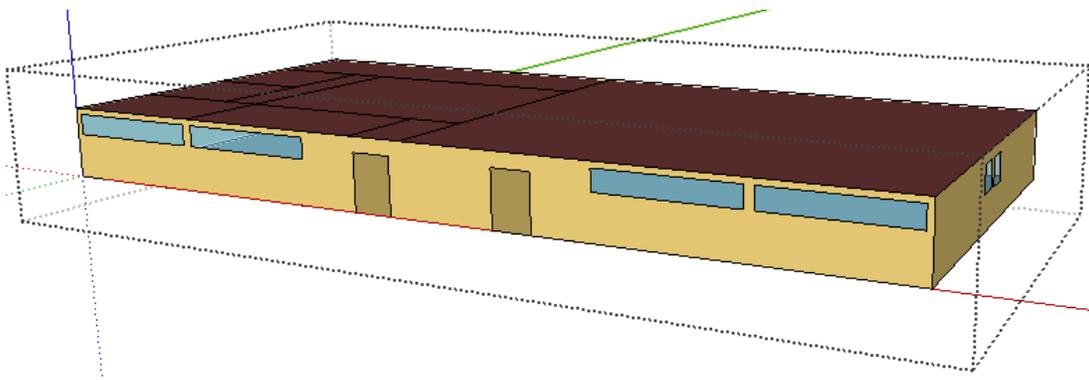


Fig. 16 Zona 1. Primera planta

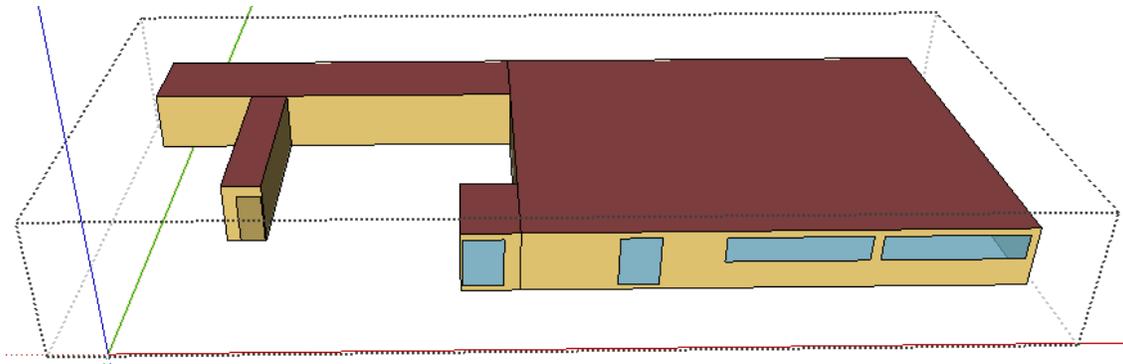


Fig. 17 Zona 2. Cubículos y SLE

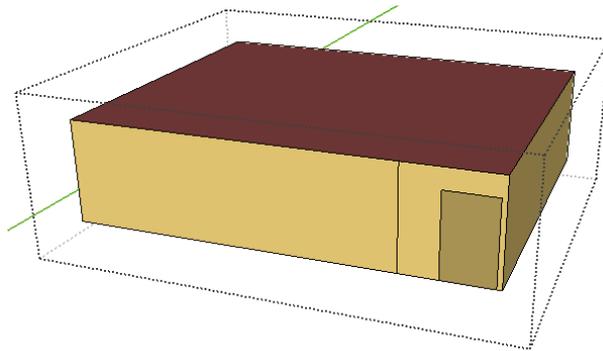


Fig. 18 Zona 3. Centro de Cómputo

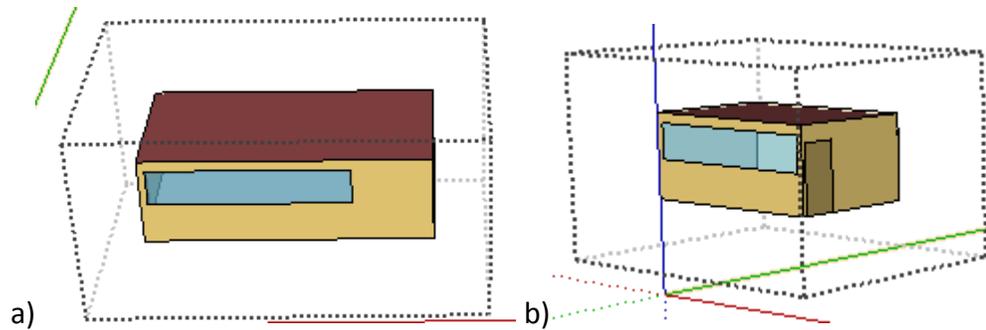


Fig. 19 a) Zona 4. Sala de reuniones, b) Zona 5. Secretaría

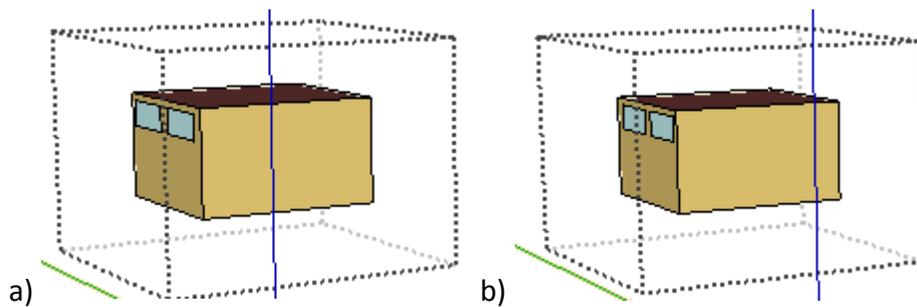


Fig. 20 a) Zona 6. Cubículo de Director EIE, b) Zona 7. Sala de Servidores

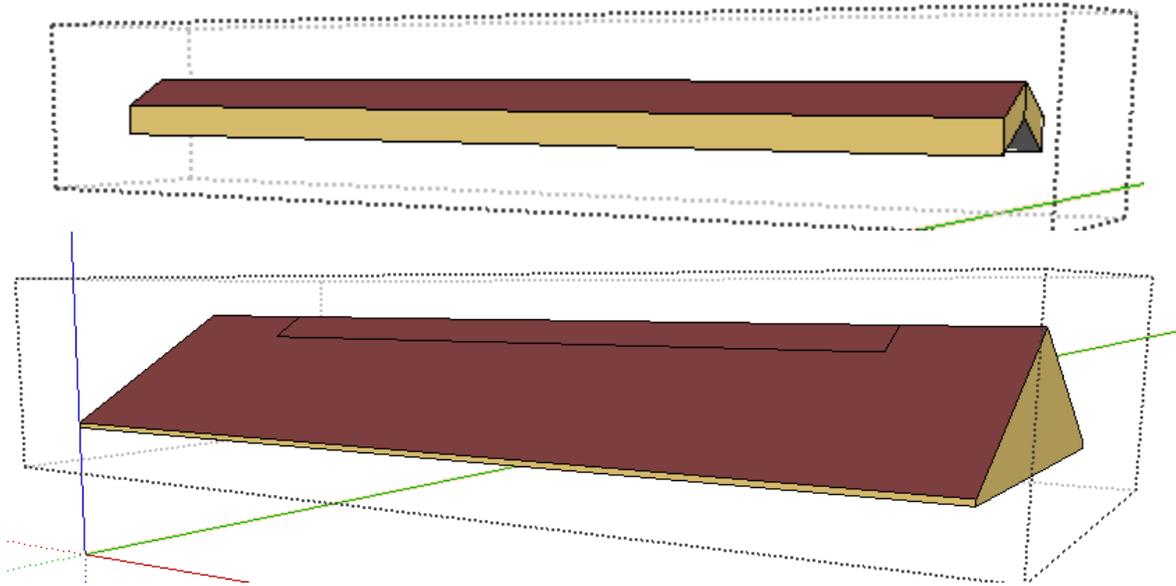


Fig. 21 Zona 8 y 9. Plenum

3.1.5. SIMULACIÓN DEL EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

3.1.5.1. DATOS ESTRUCTURALES Y PROPIEDADES TÉRMICAS

ESTRUCTURALES O ENVOLVENTE	
Área	80.114 m ²
Piso	Concreto de 150mm de espesor y piso cerámico
Cielo Falso	Cielo Falso de Loseta de Fibrolit (Fibro cemento de 25mm de espesor)
Paredes	División de Fibrolit (Dos tablas de Fibro cemento de 8mm y separación de 60mm)
Puerta	Puerta de Vidrio Color Bronce de 100 mm de espesor, con ancho de 1.2 m y altura de 2.1 m para una área de 2.52 m ²

Tabla 10 Datos estructurales y envolvente

Descripción	Conductividad [W/m.K]	Densidad [(kg/m ³)]	Calor Especifico [J/kg.K]
Concreto de 150mm de espesor	1.95	2240	900
Cielo Falso de Loseta de Fibrolit	0.36	700	1050
División de Fibrolit	0.58	1500	1050
Puerta de Vidrio Bronce de 100 mm de espesor	1.1	2500	840

Tabla 11 Propiedades térmicas de los materiales de construcción

3.1.5.2. GANANCIAS DE CALOR INTERNAS O FUENTES DE CALOR INTERNAS

Las ganancias de calor emitidas por las personas, iluminación y equipos eléctricos pueden contribuir de gran manera a la carga de enfriamiento en los edificios, estas son descritas a continuación.

- a. Personas: el edificio es ocupado por 25 personas promedio, en el horario mostrado en la Tabla 13. La Tabla 12 contiene las ganancias de calor emitidas por persona según el nivel de actividad que están realizando [31], en la tabla se muestra los valores de niveles de actividad en W/Persona. Se considera una persona adulta estándar con área de 1.8 m².

Actividad	Nivel de Actividad [W/Persona]	Nivel de Actividad [W/m ²]
Oficinas		
Leyendo sentado	99	55
Escribiendo	108	60
Digitando	117	65
Otras ocupaciones		
Cocinando	171 a 207	95 a 115
Haciendo Limpieza	207 a 360	115 a 200

Tabla 12 Niveles de Actividad, según ocupación realizada

- b. Iluminación: Las luces generan calor sensible por medio de la conversión de energía eléctrica en luz y calor. El calor es disipado por radiación hacia las superficies circundantes, por conducción debido a los materiales adyacentes y por convección al aire. El centro de cómputo cuenta con 12 luminarias fluorescentes de 3x32W.
- c. Equipo Eléctrico, La EIE posee un promedio de 18 computadoras funcionando en el periodo de uso, estas incluyen: Monitor pequeño (13" a 15") y CPU, estos valores de potencia fueron obtenidos de ASHRAE Handbook of Fundamentals 2005, tabla 8, página 30.11. Por lo tanto la potencia de cada equipo de cómputo es de 300 W, para un total de 5400 W. Las horas de operación son las mostradas en la Tabla 13.

Hora	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
8:00-09:45				Ocupado	
10:00-12:00	Ocupado	Ocupado		Ocupado	Ocupado
15:00-17:00	Ocupado		Ocupado	Ocupado	

Tabla 13 Horarios de Ocupación del Centro de Cómputo

- d. Localización y Clima, el edificio de la EIE está ubicado en la Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador, la orientación de la fachada principal es de 0° con respecto al norte, en la Tabla 14 se muestran los datos meteorológicos para dicha localización [33].

Latitud	Longitud	Elevación	Presión Standard	Temperatura Máxima	Temperatura Mínima	Velocidad del Viento Máxima	Radiación Solar Máxima
13.72°N	89.2° W	691msnm	932.95hPa	39.0 °C	13°C	16.2 m/s	10598 Wh/m ²

Tabla 14 Localización y Clima

- e. Equipo de Aire Acondicionado y Simulación. Las simulaciones de los equipos se realizan independientemente, introduciendo los parámetros de rendimiento del aire acondicionado, en conjunto con los datos del edificio. Este es el punto de partida para la evaluación del consumo energético. La Tabla 15, muestra los parámetros de rendimiento del equipo de aire acondicionado instalado en el Centro de Cómputo [34]. Los equipos de A.A. de ventana instalados en la Escuela de Eléctrica son deficientes dado la antigüedad de operación. Apparentemente ya perdieron su vida útil de trabajo. El A.A. del Centro de Cómputo es de 60000 BTU/hr, según un estudio térmico realizado en otro trabajo [10], este aire está sobredimensionado, la capacidad de A.A. para climatizar esta área debe de ser de 48000 BTU/hr.

ÍTEM\Marca y Modelo			Carrier 38TG060300
Rendimiento	Capacidad de Enfriamiento	W	16,705
		BTU/h	57,000
	EER		8
	COP		2.345
	Flujo de Aire CFM	ft ³ /min	3,000 (1.4158 m3/s)
Características Eléctricas	Potencia Consumida	W	7,125
	Eficiencia M Ventilador		0.704
	Potencia nominal del motor	W	265
	Caballos de fuerza del motor	HP	1/4

Tabla 15 Datos técnicos CARRIER 38TG060300, EIE-FIA

3.1.5.3. RESULTADOS DE SIMULACIÓN DEL EDIFICIO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

Al finalizar la simulación, EnergyPlus tiene a disposición del investigador los archivos de texto que son el resumen matemático del modelo termodinámico empleado. Estos archivos son: mediciones.txt, un reporte HTML, y los mensajes ocurridos en el transcurso de la simulación.

De todos los archivos generados por el simulador de carga, el más importante es el que contiene el equivalente de demanda en energía eléctrica, que puede ser comparado con instrumentos de medición colocados en el tablero principal el cual controla la distribución eléctrica.

La Fig. 22 presenta los porcentajes de utilización de los rubros energéticos más importantes, los cuales son: el gasto en iluminación, computadoras y aire acondicionado. La simulación fue realizada del 7 al 13 de Mayo 2013. De acuerdo a la imagen, se observa que la mayor cantidad de energía es demandada por los equipos de aire acondicionado, aunque ya la EIE tiene medidas de ahorro energético, pero puede ser uno de los puntos a enfocar, así como la iluminación.

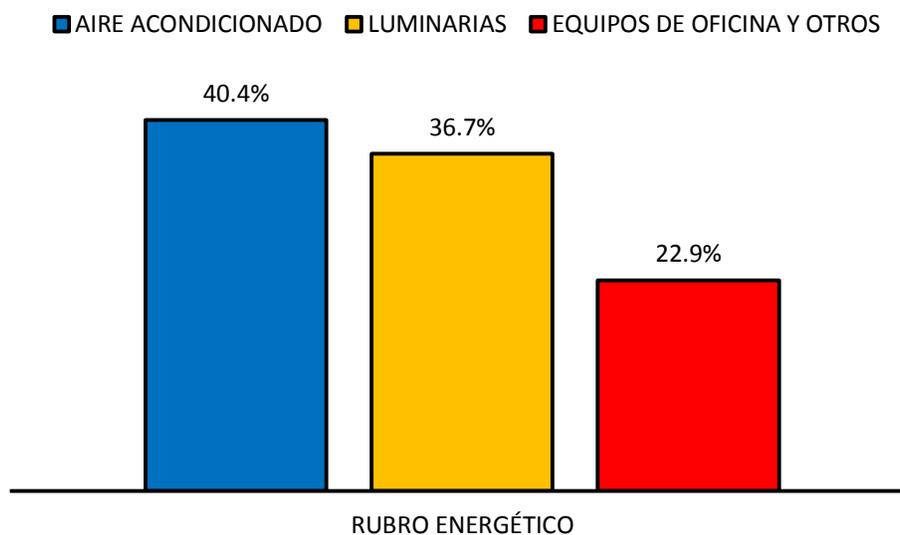


Fig. 22 Rubros energéticos en el edificio EIE, Mayo 2013

A continuación se presentan los gráficos obtenidos de demanda eléctrica del edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica para el período de martes 7 de Mayo a domingo 12 de Mayo del 2013 Fig. 23. En este período se utilizaron diversidad de instrumentos como: medidor de energía eléctrica PCE-8000 [35], y dos medidores de energía monofásico [36] [37].

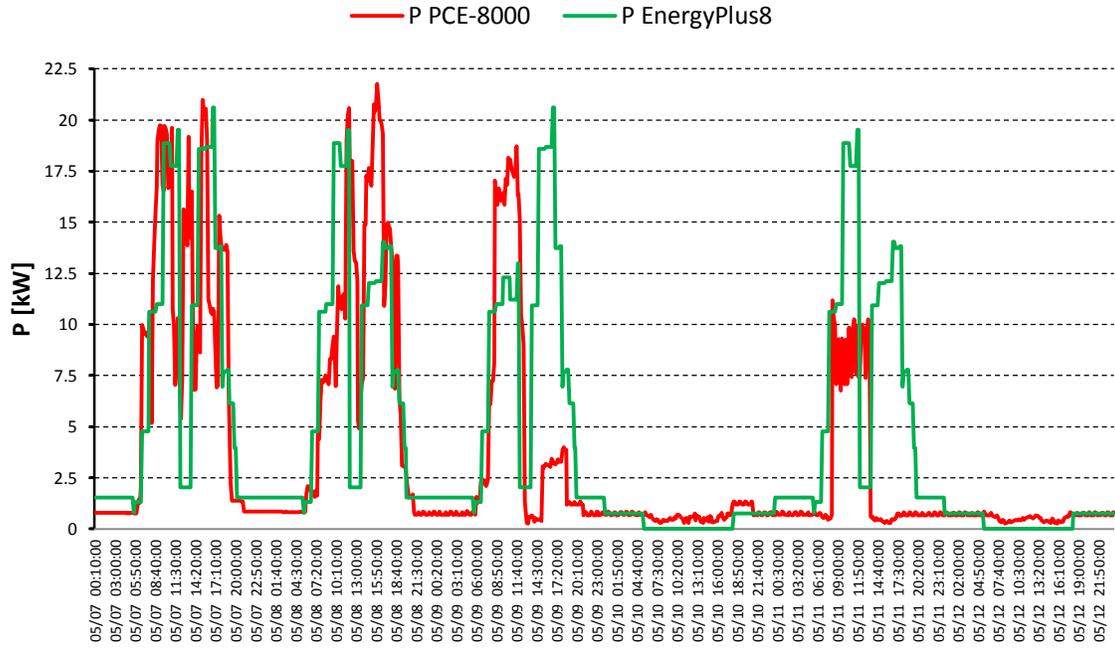


Fig. 23 Demanda Edificio EIE, martes 7 a domingo 12 de Mayo 2013

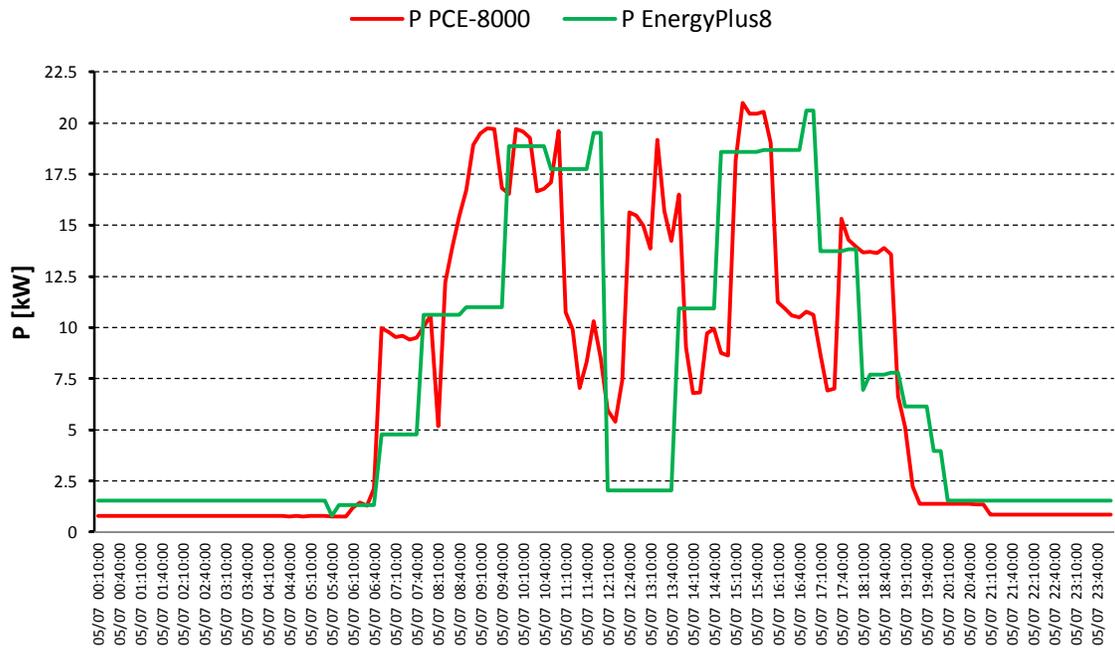


Fig. 24 Demanda Edificio EIE, Martes 7 de Mayo 2013

BAJA TENSION CON MEDIDOR HORARIO									
		CAESS	DEL SUR	CLESA	EEO	DEUSEM	EDESAL	B&D	ABRUZZO
Cargo de Comercialización:									
Atención al Cliente	US\$/Usuario-m	0.858449	0.963463	0.816545	0.925607	0.922216	2.004897	0.807379	0.856368
Cargo de Energía:									
Energía en Punta	US\$/kWh	0.195940	0.208720	0.197521	0.206333	0.205008	0.214391	0.160949	0.215588
Energía en Resto	US\$/kWh	0.199327	0.210630	0.202307	0.208410	0.211456	0.215807	0.161489	0.219111
Energía en Valle	US\$/kWh	0.187780	0.206517	0.190971	0.202260	0.204809	0.206616	0.156766	0.201161
Cargo de Distribución:									
Potencia:	US\$/kW-mes	13.154854	21.395565	21.606374	27.052718	26.634291	35.917192	8.269907	19.585692

Fig. 25 Pliego tarifario SIGET a partir de Abril 2013

División Diaria	Horario
Punta	6:00pm a 10:59pm
Valle	11:00pm a 4.59am
Resto	5:00am a 5:59pm

Tabla 16 División Horaria

Con los datos proporcionados con la medición y simulación se puede predecir cuanto será el cobro por energía eléctrica (no cargo de comercialización y distribución) solo para el martes 7 de Mayo 2013 [11]. Primero, dado que el edificio entra en el rubro de medición horaria así como toda la facultad; se tiene que hacer una diferenciación de precios. Los horarios diarios según la normativa Salvadoreña están divididos en Punta, Valle, Resto. Ver la Tabla 16.

División Diaria	Tarifa [US\$/kWh]	DEMANDA SIMULADA [kWh]	DEMANDA MEDIDA [kWh]	FACTURACIÓN SIMULADA [US\$]	FACTURACIÓN MEDIDA [US\$]
Punta	0.19594	17.59	17.71	3.45	3.47
Valle	0.199327	9.18	4.72	1.83	0.94
Resto	0.18778	143.90	150.29	27.02	28.22
TOTAL [US\$]				32.30	32.63
DIFERENCIA				1.016%	

Tabla 17 Facturación Eléctrica para el martes 7 de Mayo 2013

La Tabla 17 muestra el resumen de los datos medidos con el instrumento analizador de energía PCE-8000 y los simulados usando el software del Departamento de Energía de los Estados Unidos EnergyPlus. Es gratificante saber que los resultados son muy cercanos con una diferencia porcentual del 1%. Esto demuestra que el uso de modelos puede grandemente ayudar a predecir comportamientos de las instalaciones ya construidas. Además, se pudo comprobar también que los archivos meteorológicos proporcionados por el Departamento de Energía de los Estados Unidos no están alejados de los datos meteorológicos en el país.

3.2. MODELO DE BAJO CONSUMO EDIFICIO DE LA ESCUELA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

3.2.1. MODELO LÍNEA BASE. SIMULACIÓN ANUAL 2013

Después de analizar las mediciones por un período descrito del 7 al 13 de mayo 2012 y haber calibrado el modelo matemático en el simulador EnergyPlus, estamos listo para predecir la facturación anual. Esto se necesita para posteriormente hacer análisis financieros y cualquier modificación física que se haga se debe estudiar su retorno de inversión. En la Tabla 18 se presenta los resultados de demanda de la simulación anual año 2013, obtenidos a partir del modelo en EnergyPlus. En la Fig. 26 se observa que el rubro energético más significativo es la Iluminación, por lo que se le prestará la mayor atención en el modelo de Bajo Consumo presentado en el tema siguiente.

EDIFICIO	LUMINARIAS [kWh]	EQUIPOS DE OFICINA Y OTROS [kWh]	AIRE ACONDICIONADO [kWh]	CONSUMO ANUAL [kWh]	COSTO ANUAL [US\$/año] ⁴
ESCUELA ELÉCTRICA	22,868.17	15,484.12	17,125.98	55,478.27	10,782.15

Tabla 18 Simulación Anual 2013 Edificio EIE

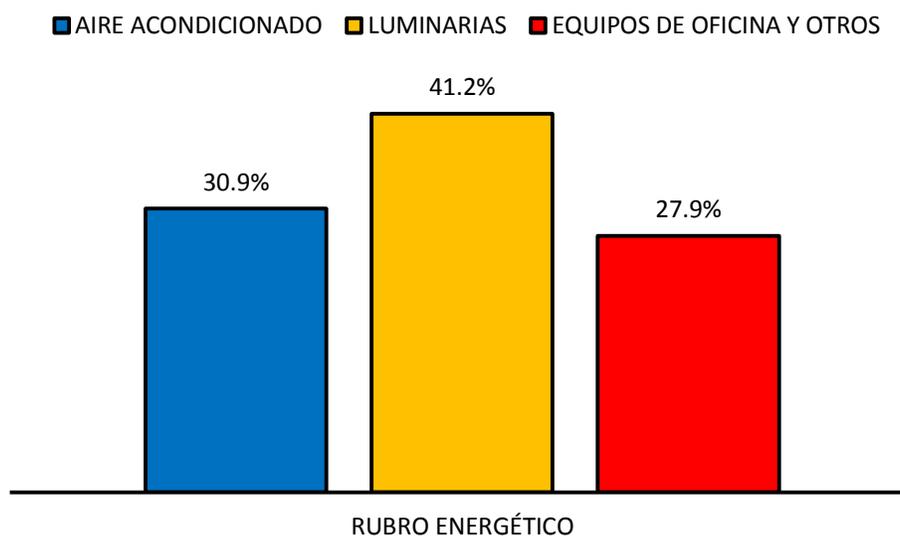


Fig. 26 Rubros energéticos en el edificio EIE anual 2013

⁴ Calculo de Tarifa media de Punta, Valle y Resto de US\$0.194349 [11]

3.2.2. MODELO DE BAJO CONSUMO

Dado que la simulación anual de la Fig. 26 refleja que la iluminación representa uno de los rubros a mejorar, se realiza la simulación colocando tragaluces para la segunda planta, esto elimina la cantidad de luminarias a la mitad.

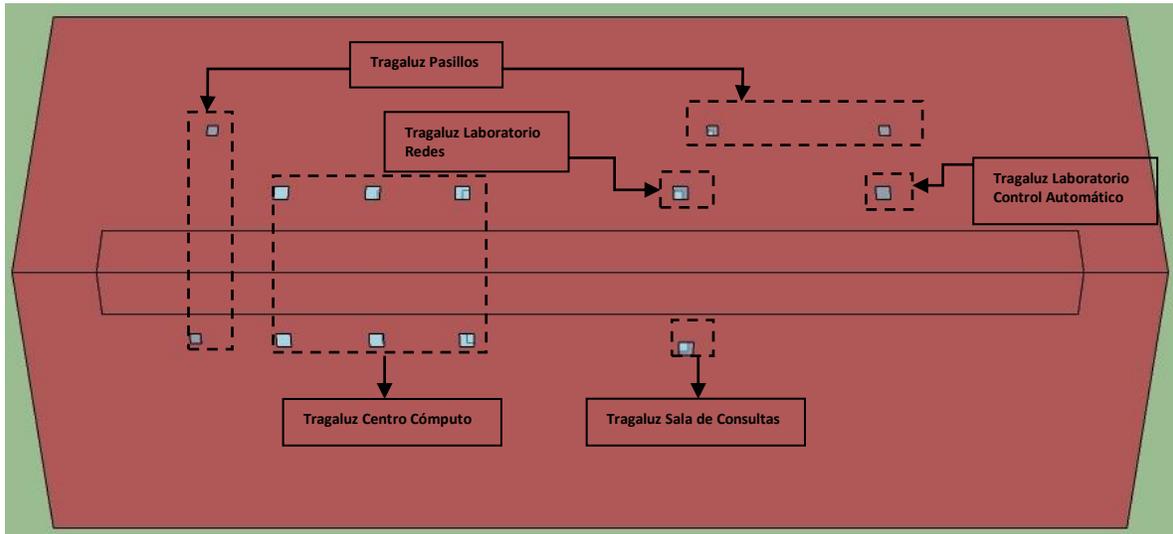


Fig. 27 Disposición de colocación de tragaluces

La colocación de los tragaluces se muestra en la Fig. 27 con los niveles de iluminación de esas áreas. Hay que tener en cuenta que los tragaluces que se colocarán en el centro de cómputo, deben de tener propiedades térmicas mínimas de tal manera que no aumente la carga interna a esta zona, así que la elección de estos tragaluces se muestran en la Tabla 19.



Fig. 28 Tragaluz Modelo 330DS [38]

Características	Modelo 160 DS	Modelo 330 DS
Diámetro Domo (m)	0.35	0.53
Superficie de Iluminación (m ²)	14 a 19	25 a 40
Lúmenes	6000 a 9100	13500 a 20500
Longitud del tubo (m)	Hasta 9 metros	Hasta 12 metros
Factor U (W/m ² ·K)	0.43	0.55
Factor SHGC	0.35	0.20

Tabla 19 Características técnicas de dos tipos de tragaluces

Si se toma 25m² de cubrimiento de iluminación del tragaluz para el modelo 330DS y aplicarlo al centro de cómputo con una área de 80.11m², entonces se necesitan la aplicación de 4 tragaluces en esta área.

La simulación usando EnergyPlus haciendo las modificaciones importantes de luminarias, estas son: para el Centro de cómputo de 12 luminarias de 3x32W pasa a 6 luminarias, secretaría y dirección a 1 luminaria. Esta modificación tendrá un efecto significativo en el consumo anual del edificio; la Tabla 20 muestra que el costo anual en energía eléctrica es de US\$9,667.67, demostrando un ahorro de US\$1,114.47 que representa el 10.3%. Este ahorro se puede invertir en el pago de los tragaluces. De acuerdo a una cotización hecha a la empresa ELEMENTOS Soluciones integrales Grupo San Lucas S.A. de C.V., la instalación de un tragaluz modelo 330DS en un nivel es de US\$150; dado que la propuesta consta de 13 tragaluces, el costo inicial sería de US\$1,950.00. Haciendo una división simple del ahorro y el costo de la instalación, el tiempo de retorno es muy corto, solo de 1.7 años. En la Fig. 29 se comprara el modelo de Línea Base con el Modelo de Bajo consumo, demostrando así, que solo la medida de sustitución de luminarias con tragaluces evidencia un ahorro significativo anual.

EDIFICIO	LUMINARIAS [kWh]	EQUIPOS DE OFICINA Y OTROS [kWh]	AIRE ACONDICIONADO [kWh]	CONSUMO ANUAL [kWh]	COSTO ANUAL [US\$] ⁵
ESCUELA ELÉCTRICA	17,605.47	15,484.12	16,654.31	49,743.9	9,667.67

Tabla 20 Simulación Anual 2013 Edificio EIE, Modelo bajo consumo

⁵ Calculo de Tarifa media de Punta, Valle y Resto de US\$0.194349 [11]

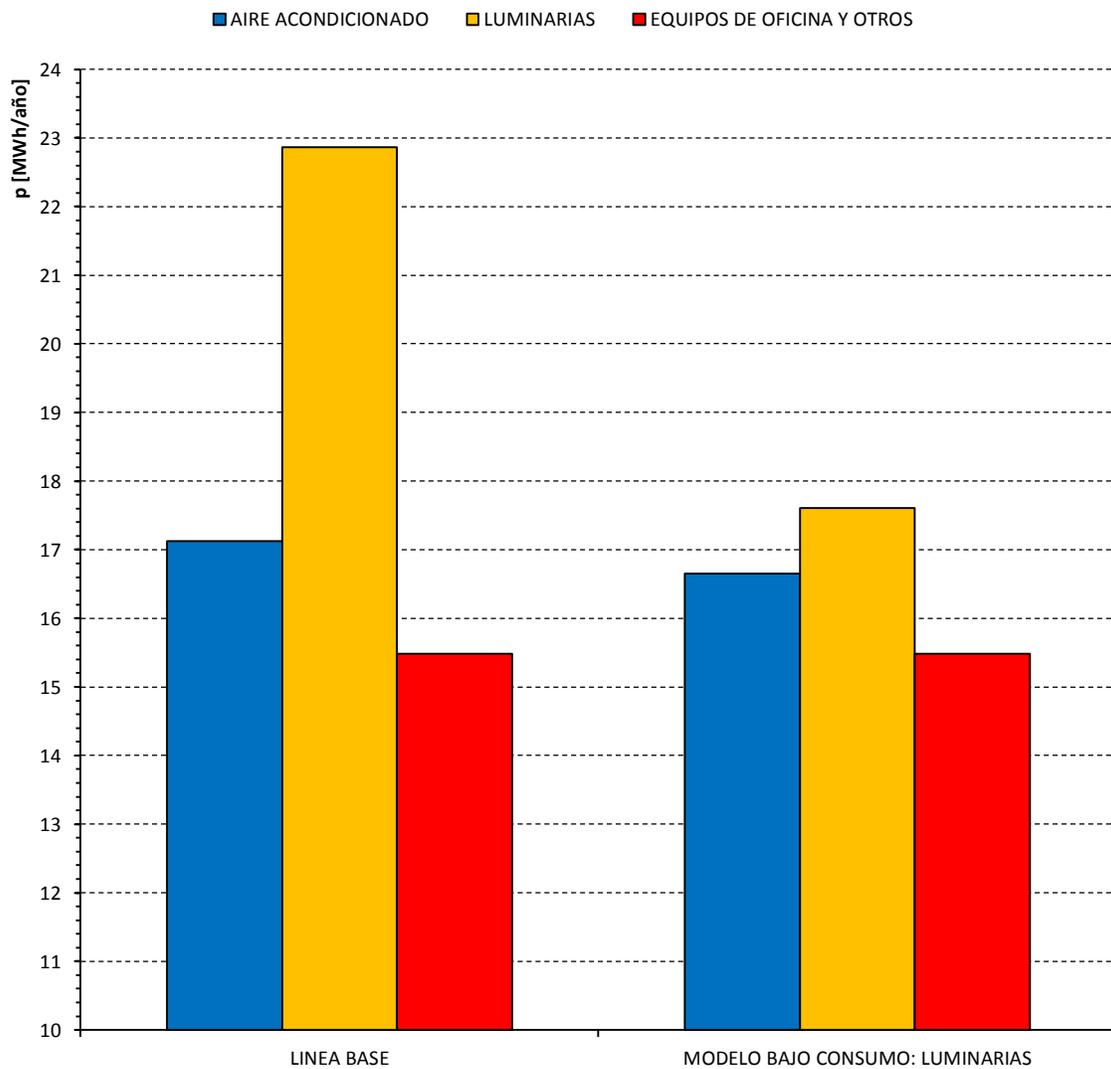


Fig. 29 Comparación demanda anual 2013, línea base y bajo consumo

RESUMEN DE RESULTADOS

Después de haber realizado esta investigación, se presenta un resumen de resultados:

- Se presenta la metodología para la realización de una Auditoría Energética. Este método se describe detalladamente en el CAPITULO 2, en donde se exhibe el concepto de Auditoría Energética, en el cual, haciendo uso de un proceso sistemático, se obtiene un conocimiento suficientemente y fiable del consumo energético del edificio en estudio, además detectar los factores que afectan dicho gasto e identifican y evalúan las distintas oportunidades de ahorro en función de su rentabilidad. En esta auditoría, se resumen cuatro pasos importantes, primero la pre-auditoría, en donde solo se realiza una inspección de las instalaciones; segundo, la toma de datos; tercero, con los datos tomados en el paso anterior, se hace uso de herramientas capaces de diagnosticar indicadores energéticos y las posibles medidas que podrían dar efectos positivos al uso eficiente de la energía en el edificio; y por último, se describen las posibles actividades a desarrollarse y el debido seguimiento de estas para su buen cumplimiento.
- La Auditoría realizada consiste en la utilización del Simulador Energético del Departamento de Energía de los Estados Unidos EnergyPlus v8.0. Este Simulador está a disposición de forma gratuita. Para mostrar un ejemplo de una Auditoría Energética y la utilidad del Simulador, se seleccionó como modelo el edificio de la Escuela de Ingeniería Eléctrica. Una de las apreciaciones descritas en el Tema 3.2, se muestra en la Fig. 29, que explica la comparación de la línea base y el modelo de bajo consumo, y se observa una clara disminución de la demanda anual de US\$1,114.47 que representa el 10%, esto se logró con solo la implementación de una medida de ahorro y eficiencia energética. La medida implementada fue la de reemplazar luminarias 3x32W por tragaluces ubicados en la segunda planta y especialmente en el centro de cómputo. También se puede agregar que no solo esta medida disminuyó el rubro energético de iluminación, sino que además se observa a la baja el consumo en HVAC, esto se debe a que las luminarias como tales son fuente de radiación térmica y por lo tanto el sistema de AA ya no tiene que enfriarlas. Se puede decir entonces que al aplicar esta medida hay un ahorro energético. Hay que tener mucho cuidado con las medidas de EE

posibles a aplicar; esto significa por ejemplo, que la medida de sustitución del sistema HVAC por uno más eficiente no garantiza que exista un beneficio, se puede dar el caso que solo sea una gran inversión y la recuperación sea a muy largo plazo. Es por eso que se debe hacer un estudio muy detallado del comportamiento del edificio para poder aplicar estos procedimientos. Se identifican cuatro procedimientos básicos de EE: 1) hábitos de comportamiento ahorrativo entre los usuarios de las instalaciones, el cual, realizan actividades de capacitación y concientización como apagado de luces, equipo electrónico, regulación de termostatos, etc. cuando no se esté utilizando, 2) sustitución o modificación de luminarias, esta medida también puede incluir rediseño de circuitos para mayor control del número de luminarias, 3) mantenimiento o ajuste del sistema HVAC instalado, significa que antes de pensar en sustituir la unidad hay que darle una revisión minuciosa, y 4) pensar en remodelaciones de la envolvente como última medida; estas pueden ser: la colocación de cortasoles, marquesinas o alerones, aislamiento de paredes, puertas y ventanas, y utilización de ventilación e iluminación natural. Esto conlleva a que los arquitectos deben de pensar en aspectos bioclimáticos en las instalaciones.

- También, desde el punto de vista eléctrico, se verifica el sistema eléctrico de la EIE, con el uso de medidores de energía. El resultado consistió en que la energía suministrada por la distribuidora local AES El Salvador, cumple con los rangos eléctricos mínimos de 120V.
- Como logro se hace mención de la utilidad de los medidores de energías básicos que se usaron. El primero, es el modelo Kill a Watt P4400 [37] que es un medidor de energía para equipos electrónicos pequeños o menores a 1.8kW, como computadores, impresores, fotocopiadoras, etc. para poder generar la Línea Base de cualquier edificio en estudio. Dentro de este logro, pero no menos importante, fue la construcción de un medidor de energía monofásico de variadas prestaciones y que cumple con características útiles en auditorías energéticas. Las características de este instrumento son: medición de tensión de 110-220V, 7.2kVA, además de poseer una memoria Secure Digital con capacidad de almacenamiento de hasta 5 años de datos y presentarlos en formato csv (Comma Separated Values) y poder visualizarlos en una hoja de cálculo. El costo es menor a USD\$100, comparado con uno de la

Marca FLUKE [39] de similares prestaciones con un costo de USD\$580. Es de agregar también dentro de la instrumentación, la implementación de la estación meteorológica multiparamétrica que servirá para recolectar la información necesaria para el simulador EnergyPlus y tener datos más reales de las condiciones del clima en la UES. Los datos pueden ser descargados desde la siguiente URL (<http://clima.fia.ues.edu.sv>).

- Durante el desarrollo de este trabajo de graduación, es grato mencionar que a raíz de la iniciativa de la Maestría en Energías Renovables y Medio Ambiente, la Unidad de Planificación tomó la tarea de reactivar proyectos asociados al uso racional de la energía eléctrica y combustibles, los cuales estuvieron perdidos o sencillamente no fueron prioridad para las autoridades de la Facultad. La Unidad de Planificación solicita a la Honorable Junta directiva, la reactivación y puesta en marcha del Comité de Eficiencia Energética COEE-FIA; esto se logra con el acuerdo JF-26/2013. Se eligen como actores principales al Sr. Decano, Vice-Decano, Jefe de la Unidad de Planificación, Directores de Escuelas que son representados en el Comité Técnico Asesor CTA y asesores técnicos de las Escuelas de Arquitectura, Mecánica, Industrial y Eléctrica. Además de los miembros directos seleccionados, como mandato de la Facultad, se notifica a toda la comunidad, trabajadores y estudiantes, que el Ahorro y la Eficiencia es compromiso de todos.
- El COEE-FIA desde que se formó en Mayo 2013, ha estado trabajando en tareas de asesoramiento, como la compra de Aires Acondicionados Eficientes con un SEER mayor de 13. También, se están desarrollando actividades de medición de demanda y simulación de los edificios de la Facultad, con ayuda estudiantes en servicio social de las Escuelas de Mecánica, Arquitectura y Eléctrica, y que son coordinados por la Unidad de Planificación. El objetivo de estas actividades es para establecer la línea base actualizada y poder determinar cuáles son los rubros energéticos en los que se gasta más electricidad, además de la posible predicción la factura eléctrica.

RECOMENDACIONES

Después de haber finalizado la presente investigación se recomienda lo siguiente:

- Crear los Comités de Eficiencia energética, obedeciendo al mandato Legislativo Decreto No 78, regulado por el Consejo Nacional de Energía CNE, en la Universidad de El Salvador, siguiendo a la metodología propuesta en este documento (CAP. 2).
- Incluir en futuras investigaciones la creación de los manuales para implementar medidas operativas generales para el ahorro y uso eficiente de la energía, tales como: control de iluminación, regulación de aires acondicionados a una temperatura de confort, modificación o sustitución de luminarias, ajuste en horario de trabajo de las personas, monitoreo de equipos de bombeo de agua, estudio de materiales de envolvente, y capacitaciones a los COEE y a la población universitaria en temas relacionados a la EE y AE.
- Las Facultades deben suplir a los investigadores de los recursos necesarios para realizar una Auditoría Energética. Estos recursos son: software, instrumentación, logística, viáticos, etc.
- Incluir en futuras investigaciones temas relacionados con: aspectos bioclimáticos en la arquitectura, calidad de energía eléctrica, la continuación de Auditorías Energéticas en el modelo de línea base y de bajo consumo, la psicrometría relacionada al confort de las personas que laboran en los edificios, ahorro y eficiencia en sistemas de bombeo, y la continuidad en el desarrollo de tecnologías de vanguardia para monitoreo de variables eléctricas.
- No dar el fiel seguimiento de las directrices dictaminadas por el CNE que es el ente regulador de las medidas de Eficiencia energética en las instituciones públicas. Una propuesta del CNE sugiere, que por cada punto de entrega de suministro eléctrico, existista un Comité. Esta proposición no es factible, por la naturaleza organizativa de la Universidad. Esta se constituye en unidades autónomas, llamadas Facultades y cada una de ellas, funciona de forma independiente; como resultado no se lograría una debida consolidación de ideas y metodologías. Por lo tanto se recomienda a las autoridades universitarias crear COEE en cada una de las Facultades o unidades autónomas, dando como resultado 12 comités.

REFERENCIAS

- [1] Instituto de Ingenieros Electricistas y Electronic, IEEE. *IEEE Std 739-1995 Practicas Recomendables para instalaciones en la Industria y el Comercio*. Los Angeles California: IEEE Bronze Book American National Standard ANSI, 1995.
- [2] Consejo Nacional de Energía. *Politica Energética*. El Salvador, 2005.
- [3] Unidad Ecologica Salvadoreña. *Hacia la Revolucion Energética en El Salvador*. San Salvador, Agosto de 2012.
- [4] Bolaños Garcia, Douglas Vladimir, entrevista de Carlos Osmin Pocasangre Jimenez. *Presupuesto General Universitario* (10 de Febrero de 2013).
- [5] Flores Días, Juan Antonio, entrevista de Carlos Pocasangre. *Edificaciones UES, Unidad de Planificación* (Mayo de 2013).
- [6] Junta Directiva FIA. «Comité para la Administracion de la Energía de la FIA.» *JF-084-2009*. San Salvador, 2009. 2.
- [7] Consejo Superior Universitario. «Políticas para el fomento del ahorro y eficiencia en el consumo de energía eléctrica en la Universidad de EL Salvador.» *Acuerdo No 095-2009-2011-E(VI-1)*. Ciudad Universitaria, San Salvador, 2011.
- [8] Órgano Ejecutivo de la República de El Salvador. «Política de ahorro y austeridad del sector público.» *Decreto No78*. San Salvador: Diario Oficial Tomo No 395, 2012. 48.
- [9] Ramos López, José Roberto, entrevista de Carlos Pocasangre. *Auditorías energéticas en Edificios del Campus Universitario* San Salvador, (2013).
- [10] Cartagena Portillo, Juan Pablo. «Eficiencia energética en los edificios de la FIA de la Universidad de EL Salvador.» *Tesis Ingeniero Electricista*. San Salvador, Marzo de 2012.
- [11] SIGET. *Pliego Tarifario Nacional Vigente Abril 2013*. San Salvador: Super Intendencia General de Teleco, 2013.
- [12] Centro Nacional de Producción Más Limpia. *Manual Eficiencia Energética para mypes*. San Salvador: Organización de los Estados Americanos OEA, 2011.
- [13] Nuria, Ramirez. *Eficiencia energética y energías renovables pueden mejorar la calidad de vida*. 2011. <http://www.renovablesverdes.com>.

- [14] US Environmental Protection Agency. *PHILIPS Indal*. 27 de Noviembre de 2012. <http://www.indalnewsroom.com/es/2012/11/edificios-sostenibles/>.
- [15] Consejo de la Construcción Verde de Estados Unidos. «U.S. Green Building Council.» 2013. <http://www.usgbc.org/>.
- [16] Dr. Florencio Manteca González. *Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)*. 2010. <http://www.cener.com/>.
- [17] Aislar S.R.L. *Aislar web*. 2013. <http://www.aislardvh.com.ar/>.
- [18] Construmarca Empresa de Construcción. <http://www.construmatica.com>. 2013. [http://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:Sistema_de_Aislamiento_T%C3%A9rmico_por_el_Exterior_\(ETICS\)](http://www.construmatica.com/construpedia/Categor%C3%ADa:Sistema_de_Aislamiento_T%C3%A9rmico_por_el_Exterior_(ETICS)).
- [19] Estado de España. *Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios RITE*. Real decreto 1751 del 31 de Julio 1998, 1998.
- [20] Legislativa, Asamblea. *Decreto Legislativo 404, Ley de creación CNE*. San Salvador: Diario Oficial, 2007.
- [21] Sánchez, Ismael Antonio. *Eficiencia Energética en Instituciones Públicas*. San Salvador: Universidad Centroamericana Jose Simeón Cañas UCA, 2013.
- [22] Consejo Nacional de Energía. *Plan de acción de eficiencia energética para instituciones del Gobierno Central*. San Salvador, Abril de 2012.
- [23] Consejo Nacional De Energía. «Manual de organización y funcionamiento de los COEE en el Sector público.» San Salvador, 2011.
- [24] Consejo Nacional de Energía. *Creación de Comités de Eficiencia Energética para las Instituciones Públicas*. San Salvador, Febrero de 2012.
- [25] Calderón, Julio Ernesto. *Propuesta de Normativa para el Ahorro y Uso eficiente de Energía Eléctrica en la UES*. San Salvador: UES, 2013.
- [26] Consejo Nacional de Energía. *Manual de Recomendaciones para el uso Eficiente de la Energía en el Gobierno Central*. San Salvador, 2012.
- [27] CONACYT. *Eficiencia Energética en AA con capacidades hasta 60,000 BTU/h*. San Salvador: NSO 23.47.07:09, 2009.

- [28] Merriam Webster. «Dictionary on line.» 2013. <http://www.merriam-webster.com/dictionary/simulation>.
- [29] Department of Energy US. *Energy Plus v7.0*. 15 de Octubre de 2012. http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_about.cfm.
- [30] Gálvez Osorto, José Luis. *Aplicacion de Simuladores de Energía*. San Salvador: Tesis Ingeniero Electricista, 2009.
- [31] Sociedad Americana de Aire Acondicionado, Refrigeración y Calefacción ASHRE. «Handbook of Fundamentals 2005.» 8.6. USA, 2005.
- [32] Zelada Ramírez, José Roberto. *Manual de Usuario de configuracion del Simulador EnergyPlus y diseño SketchUP*. San Salvador: Universidad de EL Salvador, 2013.
- [33] Mauricio, Ayala, y Isrrael Sanchez. *Determinación del potencial solar y eólico en El Salvador*. San Salvador: SWERA y MARN, 2005.
- [34] Carrier Inc. «Carrier Cooler Product Guide.» 2002. <http://www.carrier.com>.
- [35] PCE-Iberica. *Analizador de potencia trifásico PCE-PA 8000*. 2013. <http://www.pce-iberica.es/>.
- [36] Carrillo, Aguirre. *Diseño y Construcción de un Medidor Monofásico usando Tecnología Libre*. San Salvador: UES, 2013.
- [37] P3 International. *kill a Watt P4400*. 2010. <http://www.p3international.com/products/special/p4400/p4400-ce.html>.
- [38] Solar Tube Skylights. 2013. <http://www.solartubeskylights.com/>.
- [39] Electro Lab Medic S.A. de C.V. «Equipos de medición marca FLUKE.» 2013.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Con el objetivo de una mayor comprensión de este manual, que básicamente está dedicado a los Comités de Eficiencia energética Universitarios COEE-UES se hace un listado de términos útiles y son presentados a continuación:

- **ASHRAE:** Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración, ASHRAE.
- **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.
- **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.
- COEFICIENTE DE DESEMPEÑO (COP): Se calcula como la relación de la capacidad de enfriamiento en Watts entre la potencia eléctrica de entrada ó 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, y SEER es el Índice de Eficiencia Energética Típica Estacional.
- 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.
- ILUMINANCIA (E): es la cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie por unidad de área. Se mide en [Lux], de manera que $[1\text{Lux} = 1 \text{Lumen}/\text{m}^2]$.
- 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.

- SISTEMA FOTOVOLTAICO: Sistema de paneles fotovoltaicos conectados entre sí que funciona como unidad para producir energía.
- 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.
- BIOCLIMÁTICA: Se le llama al tipo de medidas técnicas que buscan reducir la acumulación de calor en un edificio mediante la adecuada protección de los espacios habitados de los rayos solares y el uso adecuado de ventilación natural.
- COMITÉ DE EFICIENCIA ENERGÉTICA: Es un grupo de empleados públicos escogidos en un Ministerio, dependencia o institución autónoma, que se encarga de llevar a cabo las actividades administrativas y técnicas que permitan reducir continuamente el consumo de energía eléctrica y combustibles en la institución e impulsar y supervisar los programas educativos, de concientización, acciones concretas y proyectos que permitan a mediano y largo plazo establecer una cultura de uso racional de los recursos energéticos sostenible.
- CONSEJO NACIONAL DE ENERGÍA: Institución estatal de carácter autónoma, rectora y normadora de la política energética nacional.
- DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO: Es una inspección, estudio y análisis de los flujos de energía en un edificio, proceso o sistema, con el fin de reducir la cantidad de energía de entrada al sistema y costos, sin afectar negativamente la productividad. Un diagnóstico energético es también llamado auditoría energética.

- **ENERGÍA:** Es la capacidad para producir cambios, existe en múltiples formas, entre ellas mecánica, eléctrica, química, térmica.
- **ENERGÍA ELÉCTRICA:** Forma de energía que incluye el movimiento de electrones y que es utilizada para operar equipo eléctrico y electrónico.
- **EFICIENCIA ENERGÉTICA:** Es el conjunto de acciones que permiten el ahorro de energía eléctrica y combustibles, logrando los mismos objetivos, sin comprometer la productividad o la calidad de los usuarios.
- **PLAN DE ACCIÓN:** Es un documento elaborado por un COEE en el cual se busca establecer las medidas que serán tomadas para impulsar una cultura del ahorro de energía, cambiar costumbres de uso de la energía eléctrica y combustibles, establecer políticas de compra de equipos tomando en cuenta la eficiencia energética de los mismos, identificar y realizar estudios adicionales según las necesidades y realizar proyectos de mejora en las instalaciones a modo de reducir el consumo de energía de forma sostenible.
- **SIGLAS DE INTERÉS:**

Sigla	Descripción
AA	Aire Acondicionado
AEI	International Energy Agency (Agencia Internacional de Energía)
ASHRAE	Sociedad Americana de Ingeniería para Aire Acondicionamiento, Calefacción y Refrigeración
BTU	British thermal unit (Unidad Térmica Británica)
BTU/h	Unidad Térmica Británica por hora
CFM	cubic feet per minute (Pie Cúbicos por Minuto)
CNE	Consejo Nacional de Energía
COP	Coefficient of performance (Coeficiente de desempeño)
EE	Eficiencia Energética
EER	Energy Efficiency Ratio (Relación de Eficiencia Energética)
HP	Horsepower (Caballos de Fuerza)
HVAC	Calefacción, Ventilación y Aire Acondicionado
Hz	Hertz
kW	kilowatt
kWh	kilowatt-hora
kWh/m ²	Kilowatts-hora por metro cuadrado
m	Metros
SHGC	Coeficiente de Ganancia de Calor Solar
SIGET	Superintendencia General de Electricidad y Telecomunicaciones

Tabla 21 Listado de Siglas usadas