

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

EVALUACIÓN ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO DE RELACIÓN CON EL MEDIO EXTERNO Y MODELACIÓN DE GUÍA PARA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS UNIVERSITARIOS

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
ELÉCTRICO**

CÉLIMO DANIEL CELA ROSERO
d.cela@hotmail.com

DIRECTOR: Fis. MARCO YÁNEZ, M.Sc
marco.yanez@epn.edu.ec

CO-DIRECTOR: Dr. GABRIEL SALAZAR Y.
gsalazaryopez@gmail.com

Quito, Mayo 2015

DECLARACIÓN

Yo, Célamo Daniel Cela Rosero, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentada para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

Célamo Daniel Cela Rosero

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Célmo Daniel Cela Roseo, bajo mi supervisión.

Fis. MARCO YÁNEZ, M.Sc
DIRECTOR DE PROYECTO

Dr. GABRIEL SALAZAR Y.
CO-DIRECTOR DE PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios, dueño de la sabiduría y el conocimiento, que me ha dado fuerzas para culminar una importante etapa de mi vida.

A mis queridos padres, que a pesar de las adversidades apoyaron con todas sus fuerzas el desarrollo espiritual y profesional de sus hijos, me siento bendecido de ser el último de sus hijos que consigue esta meta, cerrando con broche de oro una familia de profesionales fruto de la excelente oportunidad de estudiar que ellos nos brindaron.

A mis queridos hermanos por brindarme ese cariño y consejos en cada momento de mi vida, gracias por ser ese ejemplo que me ayudaron a conseguir esta valiosa meta.

A mis amigos universitarios y músicos con los cuales se compartió una excelente estadía en la dura vida universitaria.

A la Escuela Politécnica Nacional la cual me abrió las puertas y que por medio de sus profesores me formaron como un profesional íntegro.

DEDICATORIA

A Dios.

A mis padres, Irma y Wilfrido.

A mis hermanos, Andrés y Karina.

A mis amigos.

CONTENIDO

RESUMEN	XIII
PRESENTACIÓN	XIV
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 GENERALIDADES.....	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.2.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO	3
1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	4
1.5 CONCEPTOS Y DEFINICIONES GENERALES.....	4
1.5.1 ENERGÍA ELÉCTRICA [3].....	5
1.5.2 AUDITORIA ENERGÉTICA [4]	6
1.5.2.1 Tipos de auditoría energética	6
1.5.3 CONSUMO	6
1.5.4 DEMANDA.....	7
1.5.4.1 Importancia de la demanda eléctrica	7
1.5.4.2 Ecuación de demanda eléctrica.....	7
1.5.5 BALANCE DE ENERGÍA.....	8
1.5.6 CARGA INSTALADA	8
1.5.6.1 Curva de carga	8
1.5.7 FACTOR DE POTENCIA [8].....	8
1.5.8 ZONAS DE REPRESENTACIÓN	9
1.5.9 ZONAS DE NO REPRESENTACIÓN	9
1.5.10 ILUMINANCIA MEDIA HORIZONTAL (E_M).....	10
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO REGULACIÓN Y NORMATIVA	11
2.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	11
2.1.1 IMPORTANCIA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA	12
2.1.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MUNDO.....	12

2.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ECUADOR.....	13
2.2.1 CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECTOR ELÉCTRICO	13
2.2.2 PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2013-2022	14
2.2.2.1 Eficiencia energética en edificios públicos.....	14
2.2.2.2 Eficiencia energética en Iluminación.	15
2.2.2.3 Tarifas e incentivos.....	15
2.2.2.4 Implementación normativa.....	15
2.3 CALIDAD DE ENERGÍA	15
2.3.1 IMPORTANCIA.....	16
2.3.2 CLASIFICACIÓN DE FENÓMENOS PERTURBADORES	17
2.3.2.1 Norma europea EN 50160.....	17
2.3.2.2 IEEE 1159 (1995) [7, 13].....	19
2.3.3 TRANSITORIOS.....	20
2.3.3.1 Causas y efectos de los transitorios [13, 14].....	21
2.3.4 VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN [7, 15].....	21
2.3.4.1 Disminución de Voltaje (Sag)	22
2.3.4.2 Subida de voltaje (Swell)	22
2.3.4.3 Interrupciones de corta duración	23
2.3.5 VARIACIONES DE VOLTAJE DE LARGA DURACIÓN	23
2.3.5.1 Interrupciones sostenidas de voltaje	23
2.3.5.2 Subvoltaje.....	24
2.3.5.3 Sobrevoltaje.....	24
2.3.6 DESBALANCE DE VOLTAJE.....	24
2.3.7 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA	25
2.3.7.1 Armónicos.....	26
2.3.7.2 Muecas de voltaje (Notching).	31
2.3.7.3 Ruido (Noise).....	32
2.3.7.4 DC offset.....	32
2.3.8 FLUCTUACIONES DE VOLTAJE.....	32
2.3.8.1 Flicker	33
2.3.9 VARIACIONES DE FRECUENCIA.	36
2.4 NORMA INEN 2506 [9].....	36
2.4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO	37
2.4.2 ILUMINACIÓN EFICIENTE.....	37

2.4.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN	38
2.5 REGULACIÓN CONELEC 004/01 [18]	39
2.5.1 ASPECTOS DE CALIDAD	39
2.5.2 CALIDAD DE PRODUCTO	39
2.5.3 NIVEL DE VOLTAJE.....	39
2.5.4 PERTURBACIONES.....	40
2.5.4.1 Flicker (Parpadeo)	40
2.5.4.2 Armónicos.....	41
2.5.5 FACTOR DE POTENCIA.....	43
2.6 NORMA ISO 50001 [19].....	43
2.7 NORMA EUROPEA DE ILUMINACIÓN UNE-EN 12464-1 [20]	44
2.7.1 CRITERIOS DE ILUMINACIÓN [20]	44
2.7.1.1 Ambiente luminoso	44
2.7.1.2 Distribución de luminancias	44
2.7.1.3 Apariencia y rendimiento del color.....	45
2.7.1.4 Luz natural y aprovechamiento de energía.....	45
2.7.1.5 Uniformidad de iluminancia	47

CAPÍTULO 3. MODELO DE GUÍA PARA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN PREDIOS UNIVERSITARIOS

3.1 GENERALIDADES.....	49
3.1.1 COMUNICACIÓN UNIVERSIDAD - EMPRESA AUDITORA.....	49
3.1.2 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS Y UTILIZACIÓN DEL EDIFICIO	49
3.1.3 DEFINICIÓN DE FECHAS Y PLAZOS	50
3.2 DIAGNÓSTICO GENERAL.....	50
3.2.1 PLANOS ELÉCTRICOS	50
3.2.2 DIAGNÓSTICO.....	51
3.3 LEVANTAMIENTO DE CARGA.....	51
3.4 DATOS HISTÓRICOS DE CONSUMO.....	52
3.5 EQUIPO DE MEDICIÓN E INSTALACIÓN	52
3.6 INDICADORES Y LÍMITES ELÉCTRICOS.....	52
3.6.1 NIVEL DE VOLTAJE.....	53

3.6.2	ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER	53
3.6.3	ARMÓNICOS.....	54
3.6.4	DESBALANCE DE VOLTAJE.....	54
3.6.5	FACTOR DE POTENCIA.....	54
3.6.6	FRECUENCIA.....	55
3.6.7	ANÁLISIS DE CORRIENTE.....	55
3.6.7.1	Temperatura y calibre de conductores	55
3.7	DEMANDA Y CONSUMO ELÉCTRICO.....	55
3.7.1	ANÁLISIS DE DEMANDA.....	56
3.7.2	ANÁLISIS DE CONSUMO	56
3.7.3	ESTIMADO ANUAL DE CONSUMO.....	56
3.8	ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES UNIVERSITARIAS	56
3.8.1	ILUMINANCIA MEDIA HORIZONTAL (E MEDIA)	56
3.8.1.1	Metodología de medición de Iluminancia media Em.	58
3.8.2	VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN (VEEI).....	60
3.8.3	UNIFORMIDAD DE ILUMINANCIA.....	60
3.8.4	APARIENCIA Y RENDIMIENTO DEL COLOR	60
3.8.5	SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN	61
3.9	FACTOR DE EMISIÓN ANUAL DE CO2	61
3.10	OPORTUNIDADES DE MEJORA Y AHORRO ENERGÉTICO	61
3.10.1	MEDIDAS TECNOLÓGICAS	61
3.10.2	MEDIDAS ADMINISTRATIVAS	62
3.11	ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA	62
3.11.1	VALOR ACTUAL NETO.....	62
3.11.2	TASA INTERNA DE RETORNO	63
3.11.3	RELACIÓN COSTO BENEFICIO.....	63
3.12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64

CAPÍTULO 4. EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO DE AULAS Y RELACIÓN CON EL MEDIO EXTERNO, EPN..... 65

4.1	GENERALIDADES EARME.....	65
4.1.1	COMUNICACIÓN CON LA ADMINISTRACIÓN EARME	65

4.1.2 GENERALIDADES Y UTILIZACIÓN EARME	65
4.1.2.1 Etapa 1 EARME	68
4.1.2.2 Etapa 2 EARME	69
4.1.3 DEFINICIÓN DE FECHAS Y PLAZOS EARME	71
4.2 DIAGNÓSTICO GENERAL EARME	71
4.2.1 REVISIÓN DE PLANOS ELÉCTRICOS	71
4.2.2 DIAGNÓSTICO.....	72
4.3 LEVANTAMIENTO DE CARGA EARME	72
4.3.1 ILUMINACIÓN	74
4.3.2 FUERZA	75
4.3.3 EQUIPOS DE COMPUTACIÓN.....	76
4.3.4 CONTROL ELECTRÓNICO	77
4.3.5 EXTRAS	77
4.4 DATOS HISTÓRICOS DE CONSUMO EARME	78
4.5 EQUIPO DE MEDICIÓN EARME.....	79
4.5.1 ANALIZADOR DE REDES.....	79
4.6 INDICADORES ELÉCTRICOS EARME.....	80
4.6.1 NIVEL DE VOLTAJE.....	80
4.6.2 ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER	81
4.6.3 CONTENIDO ARMÓNICO.....	82
4.6.4 DESBALANCE DE VOLTAJE.....	83
4.6.5 FACTOR DE POTENCIA.....	84
4.6.6 FRECUENCIA.....	84
4.6.7 ANÁLISIS DE CORRIENTE.....	85
4.6.7.1 Temperatura y calibre de conductores.	86
4.7 DEMANDA Y CONSUMO ELÉCTRICO EARME	87
4.7.1 ANÁLISIS DE DEMANDA	87
4.7.2 ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	89
4.7.3 ESTIMADO ANUAL DE CONSUMO DE ENERGÍA.....	92
4.8 ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN EARME.....	92
4.8.1 RESULTADOS DE ILUMINACIÓN	93
4.8.1.1 Aula 20 estudiantes, sin iluminación natural.....	93
4.8.1.2 Aula 20 estudiantes, con iluminación natural + iluminación artificial	97

4.8.1.3 Aula 20 estudiantes, iluminación natural	98
4.8.1.4 Iluminación en el pizarrón.....	98
4.8.1.5 Auditorio	99
4.8.1.6 Laboratorio de computación	99
4.8.1.7 Pasillos	100
4.8.1.8 Oficinas.....	101
4.8.2 ÍNDICE DEL RENDIMIENTO Y TEMPERATURA DEL COLOR.....	102
4.8.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN AULAS EARME.....	103
4.9 FACTOR DE EMISIÓN ANUAL DE CO2 EN EL EDIFICIO ARME.....	103
4.10 OPORTUNIDADES DE MEJORA Y AHORRO ENERGÉTICO EARME..	104
4.10.1 MEDIDAS TECNOLÓGICAS	104
4.10.1.1 Rediseño de iluminación en el edificio ARME	104
4.10.2 MEDIDAS ADMINISTRATIVAS	108
4.10.2.1 Recomendaciones para manejo eficiente de equipos.	108
4.10.2.2 Comité de eficiencia energética.....	111
4.10.3 RECOMENDACIONES DE FUTUROS EDIFICIOS.....	112

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE PROPUESTAS DE MEJORA EN EL EDIFICIO ARME 114

5.1 GENERALIDADES EARME.....	114
5.1.1 AHORRO POTENCIAL ANUAL	115
5.1.2 REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE CO2	115
5.2 INVERSIÓN INCREMENTAL EARME.....	116
5.3 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL EARME	117
5.4 VALOR ACTUAL NETO EFICIENCIA EARME	117
5.5 TASA INTERNA DE RETORNO EFICIENCIA EARME	118
5.6 RELACIÓN COSTO BENEFICIO EARME	118
5.7 RENTABILIDAD DE LA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EARME	119

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 121

6.1 CONCLUSIONES	121
6.2 RECOMENDACIONES	123

BIBLIOGRAFÍA 125

**ANEXO 1.- RESULTADOS AUDITORÍA ENERGÉTICA EN EL EDIFICIO EARME
(CONTENIDO EN CD)**

**ANEXO 2.- RESULTADOS SIMULACIÓN DE AULAS Y PASILLOS EN DIALUX
(CONTENIDO EN CD)**

RESUMEN

La eficiencia energética es un tema principal de debate en todas partes del mundo. Consumir menos energía sin dejar el confort y el bienestar es la premisa al hablar sobre eficiencia energética. Para analizar el estado energético y eléctrico de una instalación es necesario una evaluación energética.

En el presente proyecto se realiza una guía de auditoría energética para instalaciones universitarias, la misma que parte de un conjunto de normativas nacionales e internacionales. Se toman varios indicadores para establecer las condiciones energéticas actuales de una edificación.

Como aplicación de la normativa desarrollada, se realiza la evaluación energética del Edificio de Relación con el Medio Externo (EARME), perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional. Se analizan los parámetros propuestos en la guía y se comparan con normas vigentes.

Se analizan indicadores de calidad de energía, se determina el consumo y la demanda del edificio. Del análisis de iluminación se obtiene que el EARME cuenta con iluminación que no cumple con las normas analizadas y además la iluminación es ineficiente en aulas y pasillos. Se identifican oportunidades de ahorro energético utilizando medidas tecnológicas y administrativas. Se realiza la propuesta de eficiencia energética en iluminación. Se determina el ahorro energético (47,15%) y económico (15 358,3 US\$/año) que significaría la aplicación de la tecnología led de iluminación. La propuesta también ayuda a prevenir el cambio climático ya que se evitaría la emisión de decenas de toneladas de CO₂ al ambiente.

Se realiza la evaluación económica del proyecto y se determina que el cambio de luminaria actual por led es viable, el tiempo de recuperación de la inversión es de 2,6 años.

PRESENTACIÓN

Un edificio universitario debe ser ejemplo de consumo eficiente, un adecuado funcionamiento de las instalaciones eléctricas, además de cumplir las regulaciones de calidad de energía, garantizando un consumo racional.

El presente proyecto de titulación consta de 6 capítulos cuyos contenidos son los siguientes:

En el Capítulo 1 se presentan los objetivos generales y específicos, así como el alcance y justificación de este proyecto, además se establecen conceptos y definiciones generales de energía.

En el Capítulo 2 se analiza la normativa vigente tanto nacional como internacional referente a eficiencia energética y calidad de energía eléctrica. Se elabora un marco teórico que contiene información, tipos de perturbaciones y límites energéticos propuestos en normas.

En el Capítulo 3 se elabora una guía para desarrollar auditorías energéticas en instalaciones universitarias. La guía desarrollada tiene sustento técnico-teórico ya que se basa en normativa existente.

En el Capítulo 4 se desarrolla la evaluación energética del edificio EARME, utilizando la guía propuesta en el Capítulo 3. Se presentan las generalidades del edificio, y se procede con la toma de indicadores energéticos para su posterior análisis y propuestas de mejora.

En el Capítulo 5 se presenta la evaluación económica del proyecto de iluminación eficiente propuesto.

Finalmente, en el Capítulo 6 se desarrollan las conclusiones y recomendaciones globales del proyecto.

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES

La eficiencia energética se ha convertido en tema principal de debate en todas partes del mundo. Consumir menos energía sin dejar el confort y el bienestar es la premisa al hablar sobre eficiencia energética. El rápido crecimiento industrial y poblacional ha elevado la preocupación acerca de la capacidad energética para suplir dicho crecimiento. No solo el cambio climático acelerado debido a la contaminación por gases efecto invernadero, sino que el uso de energía no renovable como el petróleo y sus derivados han hecho que los países, estados y la comunidad en general se preocupe y concientice sobre el uso que se está dando a los recursos energéticos mundiales. Por lo tanto, es necesaria la creación de políticas, decretos, normas planes y proyectos que establezcan reglas claras para el uso y aprovechamiento sostenible de los recursos naturales.

En la actualidad existen organismos internacionales los cuales emiten normativas para un mejor desempeño energético, enfocados a instituciones de todo tipo. El enfoque de dichos organismos es la reducción de gases de efecto invernadero e impactos ambientales relacionados. Con una gestión sistemática de la energía se logra reducir consumo y a la vez reducir el costo energético. En la actualidad, varios países del mundo han optado por la certificación obligada en edificios y casas.

Existen normativas y regulaciones nacionales, las mismas que de acuerdo a las condiciones energéticas del país o región ajustan sus políticas para un mejor desempeño energético. En Ecuador existen diferentes normativas en el área de eficiencia energética y calidad de energía, las mismas que dictaminan regulaciones relacionadas con los mínimos estándares de calidad y procedimientos técnicos adecuados para promover el uso eficiente y sustentable de la energía en varios campos.[1, 2]

Los últimos años las construcciones de casas y edificios se han incrementado, al igual que el consumo energético. Además, al ser construcciones que prestan más servicios, la energía que se demanda es mayor.

En el siglo XXI la tecnología y las ciencias aplicadas han dado las herramientas correspondientes para dar este gran salto, ayudando a que los procesos en una infinidad de campos apliquen el concepto de eficiencia energética y calidad de energía.[1, 2]

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

- Realizar un estudio de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica en el edificio de Relación con el Medio Externo y diseñar una guía de auditoría energética para implementar en cualquier edificación con similares características.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar una guía de auditoría energética para una edificación que conste de aulas de clase, oficinas de profesores, biblioteca general, laboratorios de computación, características típicas de una edificación universitaria.
- Realizar el levantamiento de cargas instaladas.
- Realizar un estudio de eficiencia energética en el edificio de Relación con el Medio Externo.
- Realizar un estudio y análisis de la calidad de energía en el edificio de Relación con el Medio Externo.
- Evaluar el estado actual del consumo energético, para así proponer un consumo adecuado que se ajuste a las necesidades del edificio.
- Evaluar la calidad de energía en el edificio de acuerdo a normas regulatorias vigentes.

- Estimar un consumo de energía necesaria con criterios de eficiencia para que las instalaciones operen en condiciones normales satisfaciendo los requerimientos energéticos del edificio.
- Realizar el análisis técnico - económico de las posibles mejoras que se puedan implementar en el sistema eléctrico y en el consumo del edificio.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto de tesis realizará un estudio de eficiencia energética y calidad de la energía en el edificio de Relación con el Medio Externo en la Escuela Politécnica Nacional, además se analizará la calidad de energía eléctrica, con la respectiva propuesta de mejoras en el caso de ser necesario. Se propondrá una guía de auditoría energética para ser implementado en instalaciones universitarias. Se consideran los siguientes puntos:

Se desarrollará un marco teórico con definiciones y conceptos de eficiencia energética y calidad de energía eléctrica además se analizará la normativa y regulaciones vigentes para auditorías energéticas.

Se modelará una guía de auditoría energética enfocada a edificaciones universitarias la cual permita evaluar la eficiencia energía y calidad de energía en predios universitarios. Se realizará una auditoría energética en el edificio de Relación con el Medio Externo. Se tomarán datos de consumo de energía actual, se realizará el levantamiento de carga para conocer la potencia instalada, clasificación de la carga y características generales del consumo y demanda.

Se analizará la calidad de la energía eléctrica para lo cual se tomarán las mediciones respectivas, se evaluarán los resultados de acuerdo a las normas vigentes. Se presentará el estudio técnico – económico de las posibles mejoras con base en los estudios realizados.

1.4 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Las edificaciones universitarias en general presentan similares características distribución física ya que constan principalmente de aulas de clase, laboratorios de computación, oficinas de profesores, biblioteca, auditorio y ascensores por lo tanto un modelo de consumo eficiente de la energía eléctrica es importante para reducir el consumo, prestando el confort y supliendo todas las necesidades con un consumo menor.

El edificio de Relación con el Medio Externo de la Escuela Politécnica Nacional presenta instalaciones eléctricas con las características antes mencionadas, al ser un edificio nuevo puede servir de modelo de eficiencia energética para edificaciones con similares características que se deseen construir en el país y para otras ya existentes, el análisis de la calidad de energía va ligado al estudio energético.

Un edificio universitario debe ser ejemplo de consumo eficiente con un adecuado funcionamiento de las instalaciones eléctricas, además debe cumplir las regulaciones de calidad de energía, garantizando un consumo racional sin despilfarro de energía. Por lo tanto, el ahorro de energía es necesario. Para lograr esta meta, se concluye que la aplicación de nuevos conceptos de ingeniería eléctrica es una herramienta muy útil, más aún para un país en vías de desarrollo puesto que todavía no se ha alcanzado la soberanía energética. Por otro lado, promover una cultura de ahorro energético en general es vital. Con este tipo de estudios y propuestas se logrará un cambio histórico para el desarrollo del país y su economía.

1.5 CONCEPTOS Y DEFINICIONES GENERALES

A continuación se muestran conceptos y definiciones técnicos usados en el presente proyecto para el mejor entendimiento del mismo.

1.5.1 ENERGÍA ELÉCTRICA [3]

Un dipolo absorbe una potencia eléctrica que se la representa como el producto entre voltaje y corriente, así:

$$p = vi \quad (1.1)$$

Donde:

p Potencia eléctrica.

v Voltaje.

i Corriente.

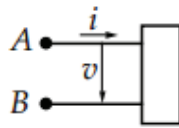


Figura 1.1 Puntos A y B del dipolo.

v es el resultado de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos diferentes, es un número real positivo si el potencial de A es mayor de B, caso contrario tiene valor negativo. i se la define como la intensidad de corriente eléctrica circulante. El producto de voltaje y corriente se la denomina potencia eléctrica que se entrega al objeto. Dicha potencia puede entregarse por más de dos terminales, como por ejemplo, el caso de un sistema trifásico. Para generalizar si se tiene un sistema multipolo de n terminales se tiene que:

$$p = v_1 i_1 + v_2 i_2 + \dots + v_n i_n = \sum_{k=1}^n v_k i_k \quad (1.2)$$

Habitualmente en el campo de la electricidad se la mide en kilovatios-hora o megavatios-hora (MWh). La expresión matemática es la siguiente:

$$W = \int_0^{\Delta t} p dt \quad (1.3)$$

Donde:

W Energía eléctrica [kWh]

p Potencia eléctrica instantánea [KW]

t Intervalo de tiempo en horas [h]

1.5.2 AUDITORIA ENERGÉTICA [4]

Es el análisis del rendimiento energético de una instalación, edificio, industria. La recolección de datos y la aplicación de una normativa preestablecida son vitales al realizar una auditoría. La energía que consume una instalación no solo es eléctrica, sino que se tiene diferentes tipos, como por ejemplo: térmica, luminosa, etc. El estudio del rendimiento energético en el campo de energía eléctrica es vital en el desarrollo integral de una auditoría. El fin de una auditoría energética es conocer el estado actual y real de consumo, para posteriormente realizar un conjunto de medidas con el objetivo de reducir el consumo y mejorar el aprovechamiento energético, sin dejar de lado el beneficio y confort. Si existen posibilidades de ahorro, se debe analizar desde el punto de vista técnico - económico, y así determinar la viabilidad de las posibles acciones.

1.5.2.1 Tipos de auditoría energética

Al realizar la auditoría energética de una instalación se debe considerar la profundidad del estudio y tipo de instalación. Se puede pasar desde un análisis rápido de las condiciones actuales de la instalación hasta un análisis detallado.[4]

Según el campo de acción

- En la industria.
- En edificaciones públicas o privadas ya construidas.

Según la profundidad del estudio

- Auditoría energética preliminar.
- Auditoría energética en profundidad.
- Auditoría energética continua.

1.5.3 CONSUMO

Es la cantidad de energía que se consume por unidad de tiempo. La medida se la toma en kilovatios-hora.[4]

1.5.4 DEMANDA

La demanda eléctrica se define como la tasa promedio del consumo eléctrico de una instalación, ya sea esta un edificio, industria o casa. Medida que se la toma cada cierto intervalo de tiempo. Se puede tomar un tiempo base de 15min de intervalo en cada medición. La demanda es una componente en la factura que reciben los usuarios por el uso del servicio eléctrico. Además, hace referencia con la cantidad de energía que se usa en un instante determinado, por esta razón esta medida se la toma en vatios W.[5]

1.5.4.1 Importancia de la demanda eléctrica

“La demanda tiene una importancia fundamental para el diseño y la planificación en sistemas eléctricos, pero frecuentemente es confundida con el valor de potencia instantánea, incluso se hace referencia equivocadamente a la demanda instantánea. Es un equívoco puesto que la demanda, por definición es el promedio en un intervalo de tiempo; entonces, la ausencia del intervalo de tiempo deja sin base a la demanda. La sola aplicación del concepto de demanda hace que se produzcan los ahorros que los ingenieros siempre buscan, sin sacrificar la seguridad al ajustar el diseño a las verdaderas necesidades de la carga”. [6]

1.5.4.2 Ecuación de demanda eléctrica

$$Demanda = \frac{\int_0^{\Delta t} P dt}{\Delta t} = \frac{Energía}{\Delta t} = \frac{kWh}{h} = kW \quad (1.4)$$

Donde:

Energía	Energía eléctrica kWh
P	Potencia instantánea kW
Δt	Intervalo de demanda h

- **Demanda máxima**

Es la mayor tasa de consumo eléctrico en una instalación. Se incluye la potencia de carga y pérdidas.[5]

- **Demanda promedio**

Es la demanda constante en un periodo de tiempo establecido.[5]

$$D_{PROMEDIO} = \frac{\text{Energía}}{T} \quad (1.5)$$

Donde:

$D_{PROMEDIO}$	Demanda promedio kW
$Energía$	Energía eléctrica kWh
T	Tiempo del periodo h

1.5.5 BALANCE DE ENERGÍA

Se define como la diferencia entre la energía entregada por la empresa distribuidora y la energía facturada.[7]

$$E_{TL} = E_S + E_R \quad (1.6)$$

1.5.6 CARGA INSTALADA

El sistema eléctrico de una instalación cuenta con equipo el mismo que puede estar en uso o no. La sumatoria de las potencias nominales de estos aparatos y equipos que están conectados al sistema se los conoce como carga instalada. Las unidades de medida son Kilovoltamperios (kVA) o Kilovatios (kW).[7]

1.5.6.1 Curva de carga

Se define como de la variación de las demandas en un periodo tiempo, generalmente se lo representa gráficamente.

1.5.7 FACTOR DE POTENCIA [8]

El factor de potencia es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, en un sistema de corriente alterna. Se tiene que:

$$\text{Factor de potencia} = \frac{\text{Potencia activa}}{\text{Potencia aparente}} = \frac{P}{S} \quad (1.7)$$

La naturaleza del factor de potencia depende de la relación del ángulo de fase de corriente y voltaje.

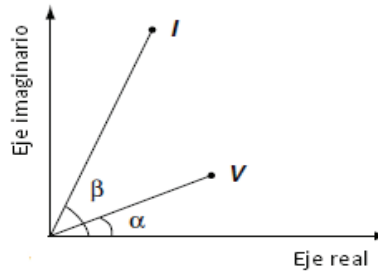


Figura 1.2 Diagrama fasorial. Corriente I, Voltaje V.

Donde:

$(\alpha - \beta) > 0$ Factor de potencia en atraso

$(\alpha - \beta) = 0$ Factor de potencia es uno

$(\alpha - \beta) < 0$ Factor de potencia es en adelanto

Factor de potencia = $\cos(\alpha - \beta)$

La medición del factor de potencia es muy importante en el análisis de sistemas eléctricos. Describe la cantidad de energía eléctrica que se transforma en trabajo. Además, es un indicador del aprovechamiento de energía eléctrica por medio de su triángulo de potencias. Permite conocer el tipo de carga de una instalación, ya que puede predominar la potencia reactiva, capacitiva o resistiva.[8]

1.5.8 ZONAS DE REPRESENTACIÓN

Lugares en los cuales el criterio de diseño, por motivos arquitectónicos o de imagen es preponderantes frente a los criterios de eficiencia energética.[9]

1.5.9 ZONAS DE NO REPRESENTACIÓN

Lugares en los cuales el criterio de diseño no es preponderante frente a los criterios de eficiencia energética. La imagen o el estado anímico que se desea transmitir no son de vital importancia frente a criterios de iluminación, confort visual, la seguridad y la eficiencia energética.[9]

1.5.10 ILUMINANCIA MEDIA HORIZONTAL (E_M)

Se refiere al nivel de iluminación que recibe una superficie. Es igual a la relación entre el flujo luminoso total y la superficie en la que incide dicho flujo, está dada en Lux= lúmenes/m². [9]

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO REGULACIÓN Y NORMATIVA

2.1 EFICIENCIA ENERGÉTICA

El acelerado crecimiento poblacional durante el último siglo ha llevado consigo un crecimiento también acelerado de la demanda de energía para suplir las necesidades de la sociedad. La energía es necesaria para brindar confort y sin duda desarrollar el sector industrial, comercial, residencial, transporte, etc. Energía no renovable como los combustibles fósiles han creado un espejismo de “energía sin límites”. En la actualidad, se ha concientizado sobre el fin de la energía no renovable y la importancia de tratar temas como la Eficiencia Energética en todos los sectores de la sociedad. Por otro lado, la polución que ha sido causada en gran parte por el uso de combustible fósil ha llevado a la humanidad a enfrentar desastres ambientales irreparables. Entonces, se ha visto la gran necesidad de utilizar la ciencia y tecnología disponible para desarrollar un consumo energético inteligente y sustentable, es decir, eficiente.[2, 6]

Un bien que genere confort y desarrollo para la sociedad con el menor consumo energético posible, es hablar de eficiencia energética. El consumo óptimo de energía es importante en temas de eficiencia. Los sectores en los que se ha enfocado este tema son: comercial, industrial, residencial y transporte. Estos sectores están íntimamente ligados al crecimiento productivo reflejándose en indicador importante denominado “indicador de intensidad energética”.

La implementación de Eficiencia Energética en el sector eléctrico debe estar acompañada de políticas y programas claros los mismos que se enfoquen al consumo inteligente de la energía. El principal objetivo es erradicar consumos innecesarios, además de utilizar equipos que cumplan normas de eficiencia los cuales reducen el consumo de energético, obteniendo los mismos o mejores beneficios del servicio utilizado.[2, 6]

2.1.1 IMPORTANCIA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

Según las estimaciones realizadas por Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en el período 2003-2018 Latinoamérica puede acumular un ahorro de 156 mil millones de US\$ dejando un lado el uso de combustibles fósiles e implementando programas sólidos de eficiencia energética. Se evidencia que en los países europeos la eficiencia energética es catalogada como un recurso de gran importancia para asegurar el abastecimiento energético de una región. Europa muestra una reducción sostenida del 0,9% anual de la intensidad energética desde 1990. Latinoamérica y el Caribe presentan apenas el 0,2% anual en el mismo período. La importancia de invertir en eficiencia energética con propuestas claras y factibles radica en el gran ahorro económico que significaría para un país o región, además de las reducciones de gases de efecto invernadero. Por ejemplo, México invirtió 5,5 millones US\$ en el 2005, obteniendo ahorros por 398 millones US\$ ese mismo año.[6]

2.1.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL MUNDO

El Consejo Americano para una Economía Eficiente en Energía (ACEEE, por sus siglas en inglés) en julio de 2014, publicó un ranking de eficiencia energética de las 16 mayores economías del mundo. Se analizaron aproximadamente 31 indicadores y además la aplicación de normativas existentes sobre eficiencia energética. Los países que obtuvieron los mejores puntajes son: Alemania, Italia y La Unión Europea. Los peores puntuados fueron: EEUU, Rusia, Brasil y México.[10]

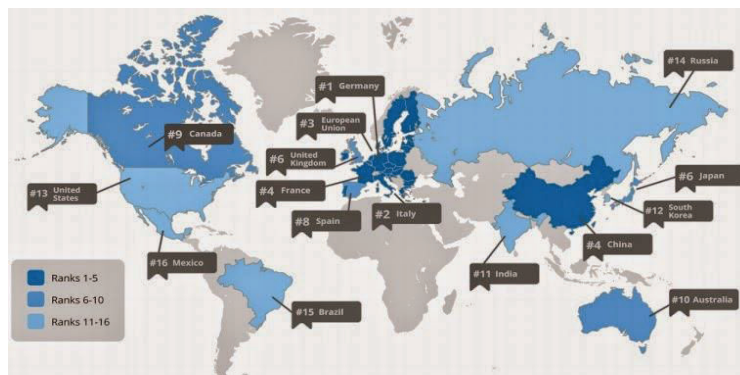


Figura 2.1 Ranking mundial de eficiencia energética año 2014

Fuente: Citada en ACEEE, 2014.[10]

2.2 EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ECUADOR

El INECEL, en el año de 1994 toma las primeras acciones en el campo de eficiencia energética, sin llegar a concretarse. En el año 2000 el CONELEC junto al Ministerio de Energía y Minas inician la concientización sobre el uso de focos ahorradores. Más tarde, en el año 2007 a partir de la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable MEER, se cuenta con una subsecretaría destinada a gestionar la eficiencia energética en el Ecuador. Finalmente, en el año 2012 se crea el Instituto Nacional de Eficiencia Energética INER, encargado de investigación en este campo e incluyendo proyectos de gran importancia para el desarrollo de este campo en Ecuador.[11]

2.2.1 CONSUMO ENERGÉTICO EN EL SECTOR ELÉCTRICO

Según la OLADE, en el año 2012 el sector eléctrico abasteció el 10% del requerimiento energético total del país. Las políticas energéticas y tecnología actual han hecho que la tendencia del aporte de electricidad en el sector energético sea creciente.[11]

Tabla 2.1 Consumo energético equivalente en miles de barriles de petróleo

Fuentes de consumo	kBep	%
ELECTRICIDAD	8 578	10
Hidrocarburos	66 578	79
No energético	4 865	6
Combustibles Renovables	3 928	5
Total	83 950	100

Fuente: Citado en Plan maestro de electrificación 2013-2022.[11]

Las empresas eléctricas con mayor consumo son las que cubren las principales ciudades del país. CNEL representa el 32% del consumo energético, mientras que la E.E. Guayaquil representa el 26,7% del consumo eléctrico nacional, seguido por la E.E. Quito con el 23,2%. [11]

El sector residencial consume el 35% de energía seguido por el sector industrial con el 31% y el sector comercial con el 20%. [11]

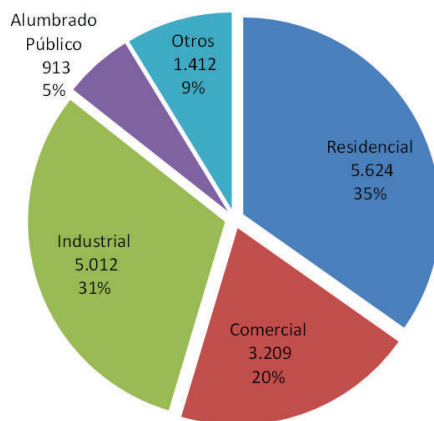


Figura 2.2 Energía eléctrica por categoría de consumo

Fuente: Citado en Plan maestro de electrificación 2013-2022.[11]

Existen 4 grupos de consumo con diferente comportamiento a lo largo del día como son: residencial, comercial, industrial, alumbrado público.

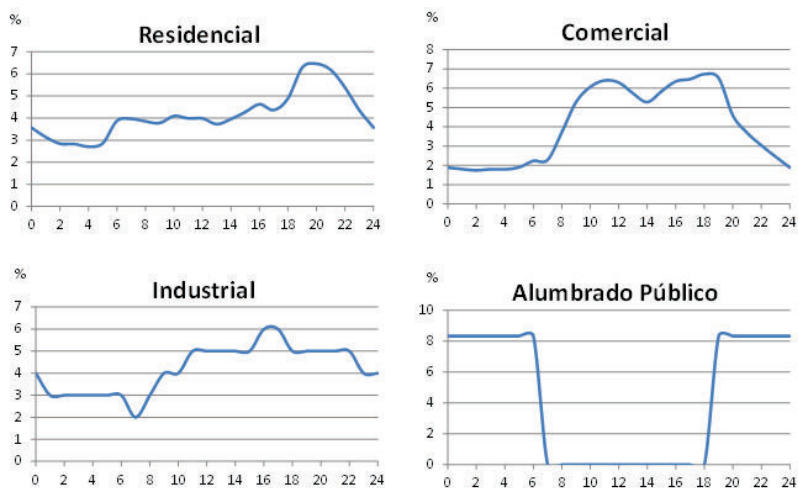


Figura 2.3 Curvas típicas de demanda por grupo de consumo

Fuente: Citado en Plan maestro de electrificación 2013-2022.[11]

2.2.2 PLAN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2013-2022

2.2.2.1 Eficiencia energética en edificios públicos

La Empresa Eléctrica Quito, está llevando a cabo proyectos de evaluación energética en base de auditorías energéticas. Además, la implementación de políticas para obtener ahorro energético en edificios públicos. Se estima tener un ahorro aproximadamente del 10%.[11]

2.2.2.2 Eficiencia energética en Iluminación.

En el sector comercial el consumo energético en iluminación representa entre el 35% - 50% de consumo energético. Por esa razón, este campo tiene una importante área de impacto al realizar acciones de eficiencia, promoviendo luminarias eficientes. Por otro lado, la implementación de tecnología led para iluminación es un tema tecnológico de vanguardia en este campo, reduciendo hasta en un 50% el consumo energético. Las lámparas de alta eficiencia (Rango A), no tienen recargo por concepto de aranceles. Los tubos fluorescentes T5 y T8 son los más usados en el sector comercial y público, no cancelan aranceles. De esta manera se incentiva el uso este tipo de iluminación en el país.[11]

Tabla 2.2 Comparación de tecnologías de iluminación

Ítem	Potencia	Eficiencia	Vida útil
	W	lm/W	horas
Incandescente	60	14	1 000
CFL	13-15	57	10 000
LED	5-7	70	50 000

Fuente: Citado en Plan maestro de electrificación 2013-2022.[11]

2.2.2.3 Tarifas e incentivos

En la actualidad existen esquemas tarifarios por horarios en el sector comercial. Por otro lado, se emiten incentivos a clientes con consumo mayor a 2 000 kWh/mes, con la presentación de una auditoría energética.[11]

2.2.2.4 Implementación normativa

La norma ISO 50001, puede ser aplicada en cualquier organización que desea implementar un sistema de gestión energética y tener un consumo eficiente de la energía. El mejoramiento sistemático de la energía debe ser adoptado por las empresas distribuidoras.[11]

2.3 CALIDAD DE ENERGÍA

Es difícil concebir una definición única de “Calidad de Energía”. En términos generales, calidad de energía se refiere a la característica que presenta el

suministro de energía eléctrica para que un equipo funcione correctamente. Los factores a considerar son: regulación de voltaje, frecuencia, forma de onda de voltaje, forma de onda de corriente, nivel de impulsos y ruido, y ausencia de interrupciones. En la actualidad, ciertos ingenieros han considerado fenómenos como: compatibilidad electromagnética y estudios de generación. El estudio de calidad de energía básicamente se centra en la forma de onda voltaje en un determinado punto de estudio.[12]

La calidad de energía eléctrica estudia todo el sistema eléctrico, desde generación hasta distribución, pero existen puntos neurálgicos en el estudio donde se hace énfasis como por ejemplo la distribución. Generalmente la distorsión de la forma de onda de voltaje es causada por la carga, y es más notable cerca de la fuente de distorsión. Los sistemas de generación y transmisión también son sometidos a evaluación y análisis de calidad de energía eléctrica.[12, 13]

2.3.1 IMPORTANCIA

El creciente interés por el estudio de calidad de energía se debe a la evolución de tecnología en equipamiento eléctrico y electrónico especialmente en el campo de la electrónica de potencia. Los drivers, convertidores estáticos de potencia y equipos de este tipo han producido un avance importante en la automatización del sector industrial, disminuyendo costos y aumentando rendimiento. Sin embargo, el uso de esta tecnología ha causado diversos problemas en el sistema eléctrico y debido a la mayor interconexión entre los usuarios, estos problemas pueden expandirse por la red eléctrica y afectar un área más grande.

La conexión de carga no lineal genera corrientes deformadas con gran cantidad de armónicos las mismas que se inyectan a la red y generan perturbaciones en la onda de voltaje, mismo voltaje que se aplica a otras cargas que pueden ser no lineales y se encuentran en la misma red eléctrica. La carga más sensible es la primera en ser afectada por las perturbaciones en la red eléctrica.[12, 13]

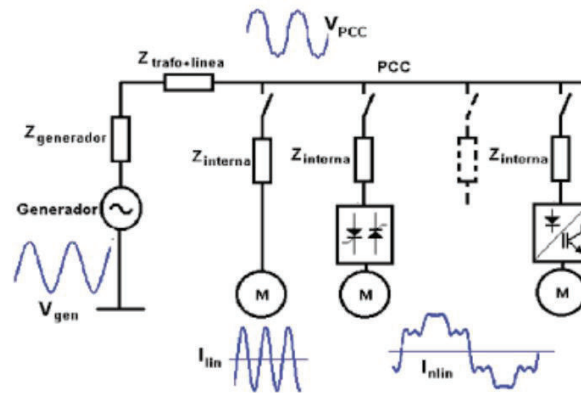


Figura 2.4 Conexión de carga lineal y no lineal

Fuente: Citada en "Electrical Power Systems", 2004.[13]

Actualmente, en la industria, comercio y edificaciones existe un alto crecimiento en el uso de equipo electrónico el mismo que se considera como carga no lineal y que afecta el desempeño de la red. Como consecuencias se tiene: calentamiento de conductores, pérdidas en los conductores, caída de voltaje en los alimentadores y por otro lado al alimentar una carga con una forma de onda de voltaje distorsionada se contribuye al deterioro de los equipos eléctricos.[13]

La automatización de procesos en todos los campos tiene una tendencia al alza, pero generando problemas en la red eléctrica, por este motivo el estudio de la calidad de energía es de gran importancia para evitar fallas en el sistema eléctrico que implican grandes pérdidas económicas. Organizaciones internacionales al notar la importancia de la calidad de energía en el sector eléctrico elaboraron estudios y normativas relacionadas a los fenómenos perturbadores.[13]

2.3.2 CLASIFICACIÓN DE FENÓMENOS PERTURBADORES

2.3.2.1 Norma europea EN 50160

Esta norma especifica las características principales del voltaje que debe ser suministrado a una red de bajo o medio voltaje. El punto de entrega de energía deberá cumplir con los requerimientos de esta norma en países europeos.[7]

Tabla 2.3 Clasificación de fenómenos perturbadores según EN 50160

Categoría	Espectro típico	Periodo mínimo de medición	Datos aceptables
1. Frecuencia	$\pm 1\%$ (49,5-50,5 Hz)	Medición durante un periodo de 10 segundos	99,5%. 7 días de medición
2. Variaciones de voltaje	$\pm 10\%$ de variación de voltaje	Voltaje RMS Periodos de 10 minutos	95% de 7 días continuos
3. Índice de severidad de Flicker de larga duración	$Plt \leq 1$	Cada 2 horas	95% de la semana
4. Huecos de voltaje	$V \leq 60\%$ Duración < 1 seg		
5. Interrupción breve de voltaje	$V \leq 10\%$ Duración: hasta 3 min		
6. Interrupción prolongada de voltaje	Duración: > 3 min		< 10- 50 por año
7. Sobrevoltaje temporal	< 1,5 kVrms		
8. Sobrevoltaje transitoria	< 6 kV Duración : μs - ms		
9. Desequilibrio de voltaje	$\pm 2\%$	10 min	95% de la semana
10. Voltaje armónico	Ver en la Tabla 2.4		

Fuente: Citada en "Perturbaciones en redes eléctricas", 2012.[7]

Tabla 2.4 Límites de armónicos según EN 50160

Armónicos			
Múltiplos de 3		Impares	
Orden	Voltaje relativo %	Orden	Voltaje relativo %
5	6	3	5
7	5	9	1,5
11	3,5	15	0,5
13	3	21	0,5
17	2	Pares	
19-25	1,5	2	2
		4	1
		6-24	0,5

Fuente: Citada en "Perturbaciones en redes eléctricas", 2012.[7]

2.3.2.2 IEEE 1159 (1995) [7, 13]

Según el estándar IEEE 1159 (1995), cada fenómeno perturbador se clasifica por valores de Espectro, Duración y Magnitud del voltaje. Las perturbaciones se clasifican de la siguiente forma:

1. Transitorios
2. Variaciones de voltaje de corta duración
3. Variaciones de voltaje de larga duración
4. Desbalance de tensión
5. Distorsión de forma de onda
6. Fluctuación de voltaje
7. Variaciones de frecuencia

Tabla 2.5 Clasificación de fenómenos perturbadores según IEEE 1159 (1995)

Categoría	Espectro típico	Duración típica	Magnitud típica de voltaje
1. Transitorios Impulsivos <ul style="list-style-type: none"> • Nanosegundos • Microsegundos • Milisegundos Oscilatorios <ul style="list-style-type: none"> • Baja frecuencia • Media frecuencia • Alta frecuencia 	5 ns (rise) 1µs(rise) 0,1 ms(rise)	< 50 ns 50 ns- 1ms >1ms	0-4 pu 0-8 pu 0-4 pu
2. Variaciones de corta duración Instantáneas <ul style="list-style-type: none"> • Disminuciones de tensión • Subidas de voltaje Momentáneas <ul style="list-style-type: none"> • Interrupción • Sag • Swell Temporarias <ul style="list-style-type: none"> • Interrupción • Sag • Swell 		0,5-30 ciclos 0,5-30 ciclos 0,5 ciclos– 3 s 30 ciclos – 3 s 30 ciclos – 3 s	0,1 – 0,9 pu 1,1 – 1,8 pu < 0,1 pu 0,1 – 0,9 pu 1,1 – 1,4
3. Variaciones de larga duración <ul style="list-style-type: none"> • Interrupción sostenida 		>1 min	0,0 pu

Categoría	Espectro típico	Duración típica	Magnitud típica de voltaje
<ul style="list-style-type: none"> • Subvoltajes • Sobrevoltajes 		>1 min >1 min	0,8 – 0,9 pu 1,1 – 1,2 pu
4. Desbalance de voltaje		Estado estable	0,5 % - 2%
5. Distorsión de forma de onda			
<ul style="list-style-type: none"> • Offset de CC (dc offset) • Armónicos • Interarmónicos • Muecas (notching) • Ruido (Noise) 	0–Cientos de Hz 0 – 6 kHz Banda ancha	Estado estable Estado estable Estado estable Estado estable	0% - 0,1% 0% - 20% 0% - 1% 0% - 1%
6. Fluctuación de voltaje	< 25Hz	Intermitente	0,1% - 7%
7. Variaciones de frecuencia		< 10 s	

Fuente: Citada en IEEE 1159, 1995.[13]

De acuerdo a la clasificación de los fenómenos perturbadores según el estándar IEEE 1159 (1995), se procede a definir cada uno los fenómenos.

2.3.3 TRANSITORIOS

Un transitorio es la distorsión de la forma de onda de CA en un sub-ciclo que se la toma como una deformación de la forma de onda. La definición radica en que los transitorios son eventos que ocurren en un sub-ciclo.

Algunos transitorios son difíciles de detectar y tratar debido a que son fenómenos de muy corta duración. La gravedad de este fenómeno dependerá de las condiciones de operación del sistema eléctrico y el momento en el que ocurra. Los equipos convencionales no son aptos para detectar la medida y duración de este fenómeno, deben ser equipos especiales los destinados a la toma de datos. Por ejemplo, si un transitorio tiene una duración de 1 ms se lo caracteriza con una frecuencia de 10 kHz, el instrumento de medida debe ser capaz de responder con una frecuencia de al menos 10 veces 10 kHz, es decir 100 kHz, para así describir las características del transitorio ocurrido. Si se tiene transitorios más rápidos es necesario mayores frecuencias de muestreo.[7, 13]

2.3.3.1 Causas y efectos de los transitorios [13, 14]

Los transitorios son fenómenos que tienen una duración muy corta menores que un ciclo, cuando este fenómeno ocurre el sistema eléctrico debe ser restablecido rápidamente a la operación normal sin causar ningún daño. Existen transitorios que tienen causas externas e internas. Las causas externas más comunes son:

- Fenómenos atmosféricos (descargas atmosféricas, erupciones solares, perturbaciones geomagnéticas)
- Conexión y desconexión de cargas
- Interrupciones debido a fallas
- Conexión de líneas de transmisión
- Conexión de banco de capacitores

Los transitorios también se deben al uso de equipos electrónicos. Dentro de la red eléctrica existen equipos electrónicos conectados que son fuente de perturbaciones. Las causas internas más comunes son:

- Controladores electrónicos de velocidad en motores CA Y CC
- Dispositivos de conexión y desconexión de rectificadores
- Balastros de iluminación
- Plantas de soldar

Los efectos que se atribuyen a la presencia de este tipo de perturbaciones son:

- Mal funcionamiento de equipo digital.
- Tarjetas electrónicas pueden resultar quemadas.
- Dispositivos Lógicos Programables pueden resultar quemados
- Caída de enlaces de comunicaciones

2.3.4 VARIACIONES DE CORTA DURACIÓN [7, 15]

Según la regulación IEC 1159 las variaciones de voltaje de corta duración se subdividen por su duración en: instantáneas, momentarias o temporarias.

Dependiendo de la localización de la falla y de las condiciones del sistema eléctrico, dicha falla puede causar variaciones como disminución de voltaje (sags), elevación de voltaje (swells), o una interrupción total del voltaje.[15]

2.3.4.1 Disminución de Voltaje (Sag)

Consiste en la disminución súbita de voltaje el mismo que se recupera después de un periodo corto de tiempo en donde la duración del sag de voltaje dura 4 ciclos y luego se reestablece a su condición normal. La reducción de voltaje va del 10%-90%. Un sag de voltaje es un evento que tiene una duración desde un medio ciclo hasta varios segundos.[8]

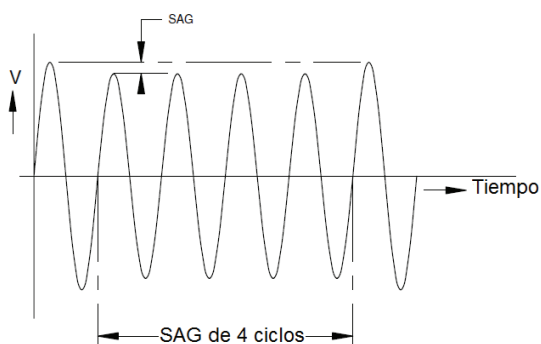


Figura 2.5 SAG de voltaje de 4 ciclos de duración

Fuente: Citada en "Electric Engineering Handbook", 2004.[8]

2.3.4.2 Subida de voltaje (Swell)

Este fenómeno presenta una elevación de voltaje sobre el valor normal de operación, se tiene elevaciones entre 110% a 180% dependiendo de la duración pueden ser instantáneas, momentáneas o temporarias. Un swell de voltaje es un evento que tiene una duración desde un medio ciclo hasta un minuto. Generalmente ocurre cuando existe desconexión o transferencia de carga de un sistema a otro.[13, 15]

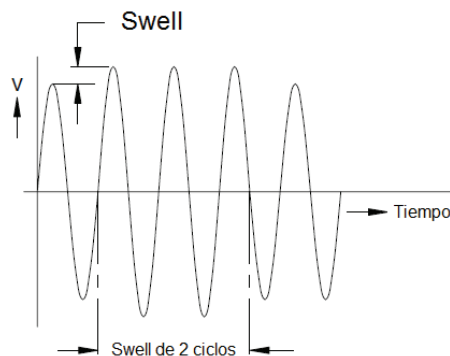


Figura 2.6 Swell de voltaje de 2 ciclos de duración

Fuente: Citada en "Electric Engineering Handbook", 2004.[8]

2.3.4.3 Interrupciones de corta duración

Se denomina interrupción de voltaje de corta duración cuando en el punto de estudio el voltaje decae por debajo de 0,1 pu con una duración no mayor a 1 minuto. Las causas para pueden ser: falla en el sistema de potencia, en el equipamiento o de control. Este evento es caracterizado por su duración siempre que el voltaje este por debajo del 10% de su valor nominal. Los equipos de protección influyen el tiempo que puede durar este evento, por ejemplo existen dispositivos que proceden al recierre de interruptores después de 30 ciclos cuando ha existido una falla no permanente. Se puede tener interrupciones momentáneas o temporarias, dependiendo el tiempo de duración. Algunas interrupciones pueden venir acompañadas de un sag de voltaje con anterioridad. La Figura 2.7 muestra un sag de voltaje que tiene una duración de 3 ciclos y luego al operar los sistemas de protección el voltaje cae a cero por 1,8 segundos.[15]

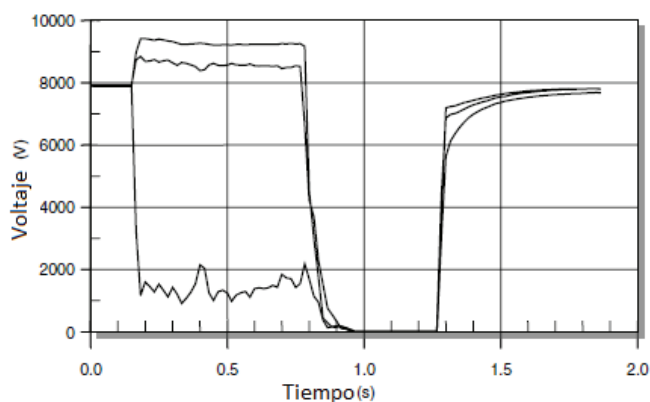


Figura 2.7 Sag de voltaje de 3 ciclos de duración y posterior operación de reconector

Fuente: Citada en "Power Quality", 2004.[15]

2.3.5 VARIACIONES DE VOLTAJE DE LARGA DURACIÓN

Se denomina variación de voltaje de larga duración cuando un evento de interrupción, sobrevoltaje, subvoltaje tiene una duración mayor a un minuto. Generalmente, los sobrevoltajes, subvotajes no son resultados de fallas en el sistema sino que se deben a variaciones en la carga o en el sistema de operación. Este tipo de eventos se los muestra en gráficas de voltaje rms vs tiempo.[13]

2.3.5.1 Interrupciones sostenidas de voltaje

Si el voltaje decae a 0 pu por un tiempo mayor a un minuto se considera una interrupción sostenida de voltaje. Una interrupción con una duración mayor a un minuto generalmente requerirá intervención manual para recobrar el servicio. Se tiende a confundir en el uso de los términos interrupción y corte de servicio. Interrupción sostenida de voltaje es un término específico que se refiere a la ausencia de voltaje durante largos periodos de tiempo. Por otro lado, el término corte del servicio o apagón según el estándar IEEE 100, se refiere a algún componente del sistema que ha dejado de funcionar como se esperaba.[13, 15]

2.3.5.2 Subvoltaje

Se define como subvoltaje a la disminución de voltaje a límites entre 0,8-0,9 pu. La duración de este evento es mayor a un minuto. Las causas principales son: carga considerable conectada súbitamente, desconexión de banco de capacitores. [13]

2.3.5.3 Sobrevoltaje

Se denomina sobrevoltaje cuando en el punto de estudio se registra un incremento de voltaje mayor a 1.1 pu, y una duración del evento mayor a un minuto. Una causa común de este fenómeno es la desconexión de una cantidad considerable de carga, energización de bancos de capacitores, control de voltaje inadecuado o el resultado de una incorrecta posición del tap del transformador. [13, 15]

2.3.6 DESBALANCE DE VOLTAJE

Se tiene una condición de desbalance de voltaje si las tres fases de voltaje no tienen la misma amplitud, no están desplazadas entre sí 120 grados eléctricos, o ambas a la vez.

El desbalance de voltaje es definido por estándares internacionales usando componentes simétricos. En un sistema de alimentación de energía eléctrica trifásico, la aparición de secuencia negativa o cero muestran el desequilibrio del sistema. Si el sistema eléctrico es balanceado exactamente en la misma proporción, en las tres fases únicamente aparece la secuencia positiva. El grado de desbalance relaciona la componente de secuencia negativa o secuencia cero con la componente de secuencia positiva. Al tener corrientes desbalanceadas se genera una componente de secuencia negativa o cero de corriente, resultando la

aparición de una componente de secuencia negativa o cero de voltaje. Mostrando así el desbalance en el sistema trifásico de energía.[13, 15]

En una red de bajo voltaje, la mala distribución de cargas monofásicas entre las fases del sistema es causante de desbalances de voltaje. Según la norma IEEE 1159-1995, el desbalance de voltaje en un sistema trifásico es la máxima desviación de voltaje respecto al voltaje promedio de las tres fases. La representación matemática es la siguiente:

$$\text{Desbalance de Voltaje} = \frac{\text{Máx}[V_{1\phi} - V_{PROM}]}{V_{PROM}} \quad (2.1.)$$

$$V_{PROM} = \frac{V_A + V_B + V_C}{3} \quad (2.2.)$$

Donde:

$V_{1\phi}$ Máxima desviación de cualquiera de los tres voltajes de fase respecto del Valor promedio de voltaje de fase.

V_{PROM} Valor promedio del voltaje de fase.

El principal efecto de suministrar voltaje desbalanceado a un equipo trifásico como motores es el calentamiento de los bobinados. En ciertos equipos, al detectarse un desbalance de voltaje peligroso, se procede a la desconexión de dicho equipo de la fuente de energía. La secuencia negativa presenta un nivel de compatibilidad si no supera el 2% de la secuencia positiva.[13, 15]

2.3.7 DISTORSIÓN DE LA FORMA DE ONDA

La fuente más común de distorsión de la forma de onda de voltaje es el uso de cargas no lineales, las mismas que consumen corriente deformadas y por este motivo son fuentes de corrientes armónicas que circulan por la red de energía eléctrica. Las cargas no lineales consumen corriente, la misma que no es proporcional al voltaje aplicado. El estándar IEEE 1159 (1995) muestra cinco tipos de distorsiones de formas de onda como son: Armónicos, Interarmónicos, Muecas (Notching), Ruido (Noise) y DC off-set.[13, 15]

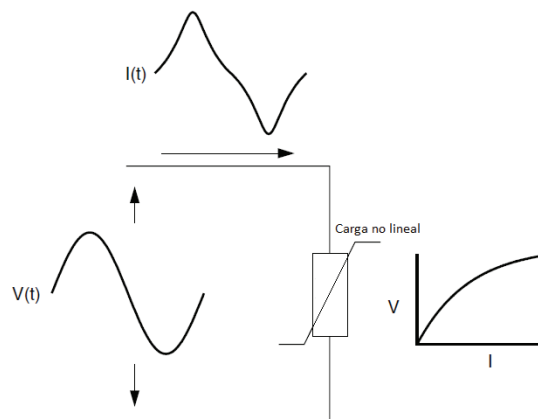


Figura 2.8 Carga no lineal

Fuente: Citada en "Power Quality", 2004.[15]

2.3.7.1 Armónicos

Se dice que la onda sinusoidal periódica de voltaje o corriente presenta armónicos si contienen frecuencias con múltiplos enteros de la frecuencia nominal en la que opera el sistema de energía eléctrica. Formas de onda de voltaje o corriente distorsionadas que contienen armónicos son perjudiciales para la red eléctrica. Para analizar correctamente este fenómeno se usa la matemática de Fourier, estableciendo que cualquier onda periódica puede ser representada como la suma de la frecuencia fundamental más múltiplos enteros de dicha frecuencia. La versión simplificada de la expresión de Fourier se muestra en la ecuación (2.3).[13, 15]

$$v(t) = V_0 + V_1 \cdot \text{Sen}(\omega t) + V_2 \cdot \text{Sen}(2\omega t) + \dots + V_n \cdot \text{Sen}(n\omega t) \quad (2.3.)$$

Donde:

V_0	Componente de DC
$V_1, V_2, V_3, \dots V_n$	Valores pico de voltaje de cada una de las frecuencias.
n	Número entero positivo

El número del armónico representa la frecuencia individual que compone la forma de onda a estudiar. Por ejemplo, la tercera componente armónica se tiene una frecuencia igual a tres veces la frecuencia fundamental. En el caso de Ecuador, se tiene una frecuencia normalizada de 60Hz. Por lo tanto, la frecuencia de la tercera

armónica será de $60 \times 3 = 180$ Hz. El uso de los números de los armónicos ayuda a su rápida identificación y facilita los cálculos matemáticos.[15]

La serie de Fourier es una serie infinita donde la onda fundamental también se la denomina primera armónica, se le asigna el número armónico 1 (uno). La componente DC de la señal tiene asignado el número 0 (cero), que representa la diferencia neta entre la mitad positiva y negativa de una onda completa.[15]

La Figura 2.9 muestra un periodo de una onda distorsionada en función del tiempo, la misma que usando la Serie de Fourier se descompone en su onda fundamental más sus armónicos.

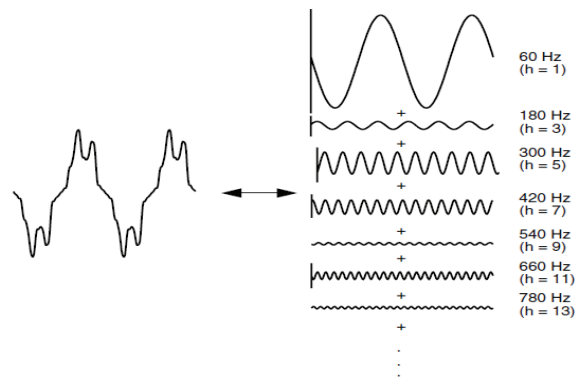


Figura 2.9 Series de Fourier representadas gráficamente

Fuente: Citada en "Power Quality", 2004.[15]

Generalmente los armónicos pares se anulan entre sí cuando una señal presenta una forma de onda igual en el semiciclo positivo y negativo. Los armónicos de 3er orden o múltiplos de 3 se suman y circulan por el neutro de una red eléctrica (en el caso de tener conductor de neutro), llegando a sobrecargar este conductor y consecuentemente puede producir un calentamiento perjudicial para el conductor.[15]

Es usual que se represente el espectro armónico de manera porcentual o en valores por unidad como se muestra en la Figura 2.10, donde se observa la carencia de armónicos pares.

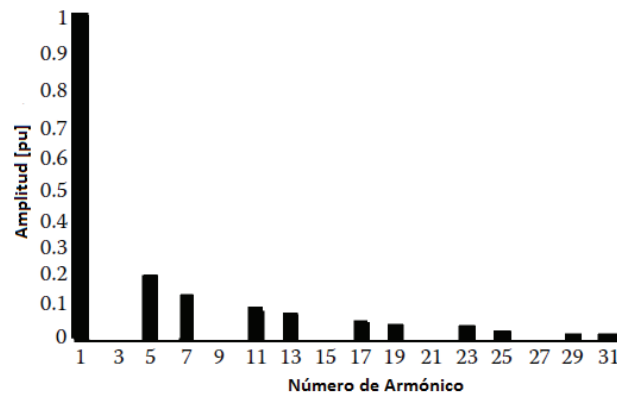


Figura 2.10 Espectro Armónico

Fuente: Citada en "Power Quality", 2004.[15]

- **Fuentes de Armónicos**

Los armónicos se pueden generar en la propia red eléctrica. En los sistemas de generación, transmisión y distribución se cuenta con equipamiento electromecánico que es fuente de armónicos. Este tipo de fuente de armónicos genera una distorsión de forma de onda casi despreciable.[15]

Por otro lado, se tiene la principal fuente de armónicos como son cargas no lineales conectadas a la red de suministro eléctrico. En el sector industrial, comercial y residencial se tiene una gran variedad de cargas no lineales. Por ejemplo en el sector comercial y edificaciones se tiene equipos como: lámparas fluorescentes de alta eficiencia con balastos electrónicos o electromagnéticos, equipos de ventilación y aire acondicionado, computadores, monitores, copiadoras, impresoras, equipo electrónico y sensores para seguridad, drivers de ascensores, equipo electrónico monofásico en general. Este tipo de carga se caracteriza por cuantificarse en gran número en una instalación. Es decir, se tiene un gran número de pequeñas cargas generadoras de armónicos. A continuación se detallará las cargas no lineales típicas en una edificación de oficinas o universitaria.[15]

- **Fuentes conmutadas**

Su gran mayoría son cargas electrónicas monofásicas como: computadores, impresoras, pantallas y televisiones led o plasma, cargadores, proyectores, etc.

Las fuentes conmutadas en la actualidad ya no cuentan con un transformador reductor en la entrada, sino que el rectificador se conecta directamente a la fuente de energía eléctrica y se procede a la rectificación de la señal. Por consiguiente se tiene fuentes de menores dimensiones, compactas y de menor costo. El tercer armónico es predominante en este tipo de fuentes.[15]



Figura 2.11 Esquema de fuente conmutada en la actualidad

Fuente: Citada en "Power Quality", 2004.[15]

- **Computadoras personales y monitores**

Este tipo de carga es muy común en oficinas y universidades. La Figura 2.12 corresponde a la corriente consumida por una computadora personal. Es decir, se trata de cargas con características no lineales. Se genera principalmente armónicos del orden 3,5 y 7. El tercer armónico es predominante en este tipo de carga con el 87,2% y 90% respectivamente.[15]

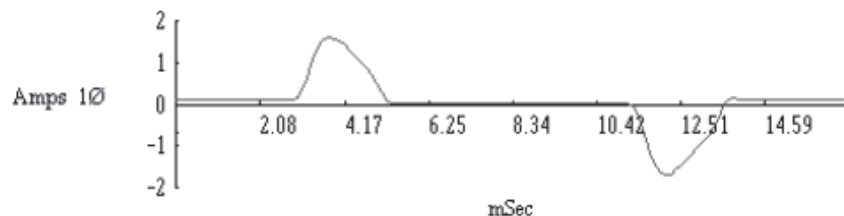


Figura 2.12 Forma de onda de corriente de una computadora personal.

Fuente: Citada en "Power Quality", 2004.[15]

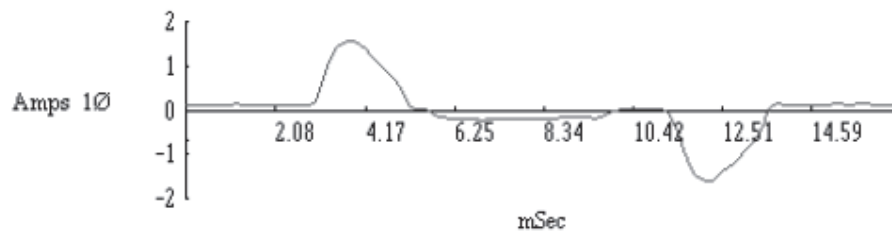


Figura 2.13 Forma de onda de corriente de un monitor de video.

Fuente: Citada en "Power Quality", 2004.[15]

- **Lámparas fluorescentes.**

Generalmente la iluminación representa un consumo total entre 40% y 60% en el sector comercial, edificaciones de oficinas y universitarias. La lámpara fluorescente es el tipo de iluminación más común, requieren un balastro que provee de alto voltaje para iniciar la descarga y la corriente fluya entre los dos electrodos. Existen dos tipos de balastos, electromagnético (convencional) y electrónico.[15]






El balastro electromagnético cuenta con un transformador con núcleo de hierro y un capacitor encapsulado en material aislante. Este tipo de balastro puede operar entre 1 y 2 lámparas a la vez a la frecuencia de 50-60 Hz. La desventaja de usar este tipo de balastro se debe al uso del núcleo de hierro ya que genera pérdidas por calentamiento.[15]

Por otro lado se tiene el balastro electrónico el mismo que usa convertidores, filtros y rectificadores electrónicos para su funcionamiento. La alimentación se la realiza con voltaje de alta frecuencia para ello es necesario convertir CA en CC y luego CA de alta frecuencia. El voltaje a frecuencia normal de la red se convierte en voltaje de alta frecuencia en un rango de 25 a 40 kHz. Este tipo de balastro presenta claras ventajas ya que al usar alta frecuencia para su operación la lámpara tiene alta eficiencia en iluminación, menores pérdidas y menor peso. Los armónicos generados por este tipo de cargas son de alta frecuencia y dependerá del tipo de control utilizado.[15]

El tercer armónico es el más representativo en ese tipo de cargas con un 13,9%, pero en menor porcentaje comparado a las cargas de computación. El rango espectral de estas cargas es mayor ya que trabaja a frecuencias altas.[15]

La Tabla 2.6 muestra algunas corrientes armónicas de rectificadores presentes en diferentes aplicaciones como por ejemplo: TV, computadoras, monitores, variadores de velocidad, UPS, etc.

Tabla 2.6 Corrientes armónicas típicas algunos tipos de rectificadores

Tipo de circuito	Forma de corriente	THD _i	Ejemplos de aplicación
Rectificadores monofásicos con capacitor de filtrado		≈ 150%	TV, lámparas fluorescentes controladas electrónicamente, (lámparas de emergencia), computadoras
Rectificadores de 6 pulsos con capacitor de filtrado		≈ 80%-90%	Sistemas ininterrumpibles de energía (UPS), convertidores para motores trifásicos (bombas, ventiladores, industria papelera, etc.)
Rectificadores de 6 pulsos con capacitor de filtrado e inductancia en serie		≈ 40%-70%	
Convertidor de 6 pulsos controlado (tiristores) con inductancia de filtrado		≈ 25%-40%	UPS, rectificadores para motores de CC
Convertidor de 12 pulsos controlado (tiristores) con inductancia de filtrado		≈ 15%	Rectificadores para control de motores de CC de alta potencia (DC drives)

Fuente: Citada en “Cómo afectan los variadores de velocidad a la distribución de alimentación eléctrica”, 2004.[15]

2.3.7.2 Muestras de voltaje (Notching).

Se denominan muescas de voltaje a las perturbaciones periódicas que se deben a un cortocircuito entre una las fases en el proceso de conmutación de rectificadores presentes en los dispositivos electrónicos de potencia. Los efectos se manifiestan como perturbaciones en los equipos electrónicos y puede dañar componentes inductivos. Puede ser caracterizado por el espectro armónico ya que afecta a la forma de onda de voltaje pero se lo trata como un caso diferente ya que la frecuencia puede ser mayor y no ser tomada por el equipo de medición.[13]

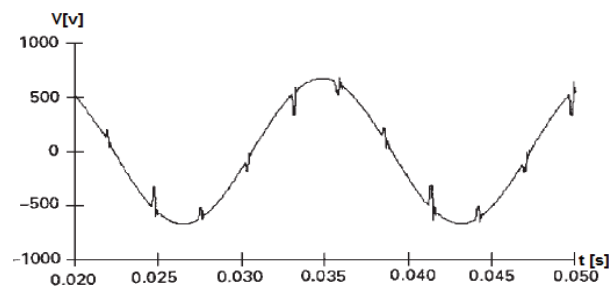


Figura 2.14 Ejemplo de muesca de voltaje casada por un convertidor trifásico

Fuente: Citada en ““Electrical Power Systems Quality”, 2004.[13]

2.3.7.3 Ruido (Noise).

Este tipo de perturbación se muestra superpuesta en la señal de voltaje o corriente de los conductores de fase, neutro o líneas que tengan señales eléctricas. El ruido no es clasificado como transitorio o distorsión armónica, sino que tiene su propia caracterización. Se presentan en una banda espectral menor a 200kHz. El rango de frecuencia del ruido depende de la fuente de la perturbación y de las características del sistema. Generalmente, el ruido tiene un valor menor al 1% de la magnitud de voltaje. El ruido es una distorsión no deseada en las señales eléctricas que puede perturbar equipos electrónicos.[13]

2.3.7.4 DC offset

Se denomina DC offset cuando se tiene la presencia de corriente o voltaje continuo en una red eléctrica de alterna. Esta perturbación es indeseable en los sistemas eléctricos ya que afecta el correcto funcionamiento de equipo electrónico y transformadores. Por ejemplo, el núcleo del transformador puede llegar a saturarse. En equipos electrónicos de amplificación la presencia de DC offset no permite que la regulación de volumen llegue totalmente a 0db. Tan solo una pequeña cantidad de DC causa problemas en este tipo de equipamiento.[13]

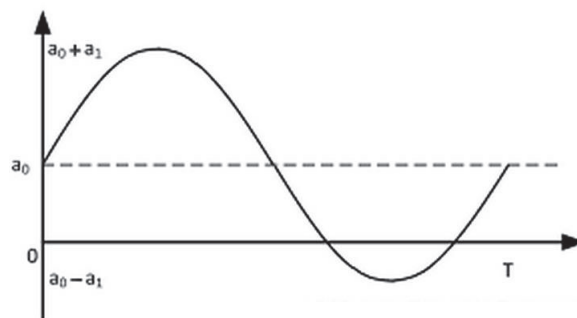


Figura 2.15 Señal sinusoidal con DC offset

Fuente: Citada en ““Electrical Power Systems Quality”, 2004.[13]

2.3.8 FLUCTUACIONES DE VOLTAJE

Según la norma IEC 61000-2-1, las fluctuaciones de voltaje son variaciones cíclicas o sistemáticas de la envolvente de voltaje. El rango de las perturbaciones de voltaje no excede el 10% del voltaje nominal del punto en cuestión. Las causas se deben generalmente a un cambio considerable de impedancia de carga provocando

cambio de corrientes en la red eléctrica y por consiguiente fluctuaciones de voltaje en punto de conexión con la carga.[16]

El funcionamiento de cargas variables importantes genera fluctuaciones de voltaje, resultando visible en el cambio de intensidad luminosa en equipos de iluminación. El resultado de este tipo de perturbación es conocido como flicker.[16]

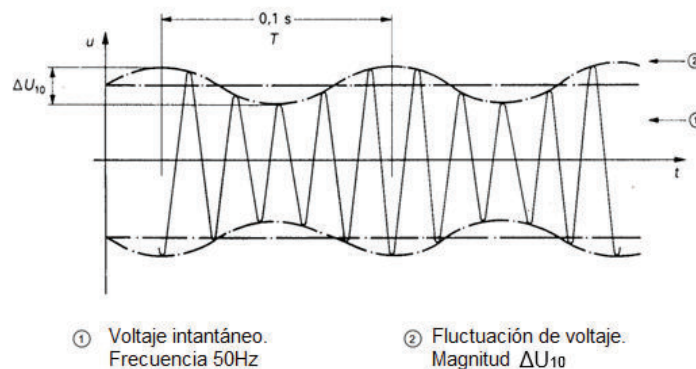


Figura 2.16 Fluctuación de voltaje sinusoidal

Fuente: Citada en “Compatibilidad Electromagnética Parte 2”, 2008.[16]

2.3.8.1 Flicker

Es el resultado de las fluctuaciones de voltaje que se caracterizan por ser rápidas (periodo menor a 1 hora) y de pequeña amplitud (menor al 10% del voltaje nominal).

Se presenta físicamente con la variación de intensidad luminosa debido a fluctuaciones de voltaje. El índice de perceptibilidad “P” es la unidad de medida, basada en un modelo biológico de la perceptibilidad del ojo humano ante las fluctuaciones de luz. Según la norma IEC 60868-0 las fluctuaciones de voltaje que son percibidas por el parpadeo de luz son aquellas con una envolvente de frecuencia entre 0,5-25 Hz.[16]

Las principales fuentes son: Variación fluctuante de potencia que absorben cargas como: máquinas de soldar, hornos de arco, motores, impresoras láser, microondas, sistemas de aire acondicionado etc.

Los efectos comunes de las fluctuaciones de voltaje son:

- Parpadeo en iluminación.

- Afectación a equipo electrónico sensible.

Existen algunos indicadores de esta perturbación como son: Índice de severidad de corta duración (P_{st}) e Índice de severidad de larga duración (P_{lt}).[16]

2.3.8.1.1 Índice de severidad de corta duración (P_{st}) [16]

Según la norma IEC 60868-0 es una unidad de medida que evalúa la severidad del flicker en un tiempo de 10 minutos. Esta dada por la siguiente ecuación experimental.

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2.4.)$$

Donde:

P_{st}	Índice de severidad de Flicker de corta duración.
$P_{0.1}$	Valor máximo de perceptibilidad durante 0,1% del tiempo programado. Si el tiempo programado es 10 [min] entonces serán los 0,6 [s] primeros segundos.
P_1	Valor máximo de perceptibilidad durante 1% del tiempo programado. Es decir, 6 [s].
P_3	Valor máximo de perceptibilidad durante 3% del tiempo programado. Es decir, 18 [s].
P_{10}	Valor máximo de perceptibilidad durante 10% del tiempo programado. Es decir, 60 [s].
P_{50}	Valor máximo de perceptibilidad durante 50% del tiempo programado. Es decir, 600 [s].

2.3.8.1.2 Índice de severidad de larga duración (P_{lt}) [16]

Según la norma IEC 60868 este índice se determina para periodos de tiempo de 2 horas. Este análisis es necesario cuando la perturbación es producida por diferentes cargas de funcionamiento aleatorio o al tener cargas con ciclos de

funcionamiento largos y variables. La siguiente ecuación define matemáticamente este índice.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^N P_{sti}^3}{N}} \quad (2.5.)$$

Donde:

P_{lt} Índice de severidad de Flicker de larga duración.
 N Número de periodos de integración durante el tiempo que establece las normativas.

Para periodos de 2 horas divididos en intervalos de 10 minutos, $N = 12$.

2.3.8.1.3 Límites de Pst y Plt

Según la norma IEC 61000 3-7 se fijan límites de planificación para redes de medio y alto voltaje. No se consideran límites de planificación para bajo voltaje ya que muchos límites han sido fijados para instalaciones de otro tipo.

Respecto a los límites de esta perturbación existe diferentes maneras de interpretación, especialmente para sistemas eléctricos de 120 Voltios. La referencia IEC al efectuar pruebas para proporcionar información para el uso del medidor de Flicker IEC muestra que en el nivel de voltaje de 120 V los sistemas norteamericanos pueden tener un límite entre de Pst entre 1,2 – 1,35 en lugar de 1 como lo indica la norma ecuatoriana del CONELEC. La razón de este incremento en el límite se debe a que las lámparas de 120 V son menos sensibles a las fluctuaciones de voltaje comparándolas con las lámparas de 230 V. Entonces, las lámparas de 120 V pueden tener un límite Pst mayor.[16]

2.3.8.1.4 Efectos físicos en los humanos debido al flicker

El efecto flicker se muestra como disminución en la cantidad luminosa de lámparas y equipos de iluminación. Las universidades que componen una gran cantidad de aulas, laboratorios, bibliotecas, oficinas deben preocuparse que la calidad de iluminación sea la adecuada en cada uno de los espacios en cuestión. Como se ha

analizado los índices de severidad del flicker muestran ciertos límites que dependen de la sensibilidad biológica del ojo humano a cambios en la iluminación. Por consiguiente, un buen sistema de iluminación garantizará el confort de todos los ocupantes de un edificio universitario, sin afectar las actividades normales que se realizan en estos predios. Las consecuencias físicas que puede producir el efecto flicker en el humano son: dolor de cabeza, efectos estroboscópicos, irritabilidad y en ocasiones extremas hasta epilepsia.[17]

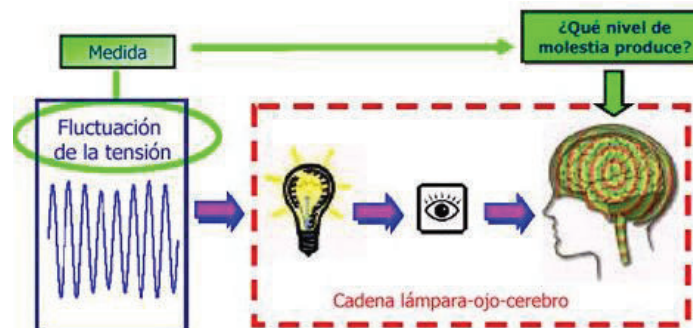


Figura 2.17 Efecto flicker, cadena lámpara-ojo-cerebro

Fuente: Citada en “Los efectos visuales y biológicos de la luz”, 2015.[17]

2.3.9 VARIACIONES DE FRECUENCIA.

La frecuencia nominal del sistema eléctrico ecuatoriano es 60Hz, cualquier cambio de dicha magnitud se denomina variación de frecuencia. Se relaciona directamente con la conexión o desconexión de grandes cargas o grupos de generación, las cuales pueden afectar la frecuencia en la que opera el sistema eléctrico. En la actualidad, variaciones significantivas de frecuencia son muy raras.[7]

2.4 NORMA INEN 2506 [9]

El Instituto Ecuatoriano de Normalización en el año 2009 establece su Norma Técnica 2506 enfocada a los requisitos de eficiencia energética en edificaciones. En su primera edición se destacan los principales requerimientos que un edificio debe cumplir para reducir el consumo de energía a límites sostenibles y además se impulsa a que parte del consumo provenga de fuentes de energía renovable.

La aplicación de esta norma va enfocada a edificios de nueva construcción, y a edificios en los cuales las modificaciones o rehabilitaciones sean superiores al 25%. Se exceptúan los siguientes casos:

- Edificios y monumentos con valor histórico o arquitectónico.
- Construcciones que debido a diferentes razones su utilización será igual o inferior a dos años.
- Instalaciones industriales, talleres y edificios agrícolas no residenciales.
- Edificaciones que deban permanecer abiertas debido a sus características.

Los requisitos específicos presentes en esta norma son:

2.4.1 AISLAMIENTO TÉRMICO

Aislamiento térmico en la envolvente del edificio en donde se limitará la demanda energética para alcanzar el confort térmico.[9]

2.4.2 ILUMINACIÓN EFICIENTE

Los edificios deberán cumplir el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE-INEN-036, donde se especifica los requerimientos de iluminación eficiente. El valor de eficiencia energética de iluminación en una instalación (VEEI) de una zona por cada 100 lux.[9]

$$VEEI = \frac{P \times 100}{S_i \times E_m} \quad (2.6.)$$

Donde

$VEEI$	Valor de eficiencia energética [W/m ²]
P	Potencia total instalada en lámparas y equipos auxiliares [W]
S_i	Superficie total iluminada [m ²]
E_m	Iluminancia media horizontal [lux]

El valor de eficiencia energética en una instalación (VEEI) no debe superar los límites establecidos en las tablas 2.7 y 2.8:

Tabla 2.7 VEEI máximo para zonas de no representación

Zona de actividad diferenciada	VEEI máximo [W/ m ²]
Administración general	3,5
Andenes de estación de transporte	3,5
Salas de diagnóstico	3,5
Pabellones de exposición o ferias	3,5
Aulas y laboratorios	4,0
Habitaciones de hospital	4,5
Zonas comunes	4,5
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5,0
Aparcamientos	5,0
Espacios deportivos	5,0

Fuente: Citada en “Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2506”, 2009.[9]

Tabla 2.8 VEEI máximo para zonas de representación

Zona de actividad diferenciada	VEEI máximo [W/ m ²]
Administración general	6,0
Estaciones de transporte	6,0
Supermercados, hipo mercados y almacenes	6,0
Bibliotecas, museos y galerías de arte	6,0
Zonas comunes en edificios residenciales	7,5
Centros comerciales	8,0
Hostelería y restauración	10
Religioso en general	10
Salones de acto, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias	10
Tiendas y pequeño comercio	10
Zonas comunes	10
Habitaciones de Hoteles y Hostales	12

Fuente: Citada en “Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 506”, 2009.[9]

2.4.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN

Sistema de control de iluminación correspondiente a la ocupación real de la zona. No se aceptan sistemas de encendido y apagado como sistema de control únicamente en los tableros eléctricos. Toda zona debe disponer de al menos un sistema de control manual. Las zonas que tienen poca ocupación o de poco uso

deben disponer de un control de encendido y apagado por control de presencia o temporización.[9]

2.5 REGULACIÓN CONELEC 004/01 [18]

El organismo encargado de la supervisión y control de todas las empresas distribuidoras es el Consejo Nacional de Electrificación CONELEC. La Regulación CONELEC 004/01, establece claramente los niveles de calidad de energía que debe cumplir una empresa distribuidora al prestar su servicio de energía eléctrica. Muestra también los procedimientos de evaluación a ser tomados en cuenta por las Empresas Distribuidoras en el territorio ecuatoriano.[18]

2.5.1 ASPECTOS DE CALIDAD

Según la norma vigente la calidad de servicio eléctrico consta de tres aspectos principales: Calidad del Producto, Calidad del Servicio Técnico y Calidad del Servicio Comercial.[18]

2.5.2 CALIDAD DE PRODUCTO

Acorde a la disposición del CONELEC, la empresa distribuidora deberá efectuar las mediciones correspondientes, el análisis y procesamiento de datos, determinación de compensaciones a consumidores afectados. Los parámetros de calidad del producto técnico a considerarse son: nivel de voltaje, perturbaciones (Flicker, Coeficiente de distorsión armónica) y factor de potencia. En el caso del factor de potencia el consumidor es el encargado de mantenerse bajo los límites establecidos por el ente regulador.[18]

2.5.3 NIVEL DE VOLTAJE

Se tiene que:

$$\Delta V_k(\%) = \frac{V_k - V_n}{V_n} \cdot 100 \quad (2.7.)$$

Donde:

ΔV_k Variación de voltaje en un punto de medición en un intervalo k de 10 minutos

V_k Voltaje eficaz medido en un intervalo k de 10 minutos

V_n Voltaje nominal en el punto de medición.

El distribuidor deberá realizar las mediciones de las variaciones del valor eficaz de voltaje cada 10 min. Para la selección de los puntos se considera si la zona es rural o urbana, la topología de la red y nivel de voltaje. Se debe registrar simultáneamente la energía entregada. Finalmente se efectuará la medición durante un periodo no inferior a 7 días continuos.[18]

Al menos durante el 95% del tiempo de medición, el nivel de voltaje deberá permanecer dentro de los límites permitidos para que no se incumpla la regulación.

Tabla 2.9 Límite de voltaje según regulación CONELEC 004/001

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto Voltaje	± 7,0%	± 5,0%
Medio Voltaje	± 10,0%	± 8,0%
Bajo Voltaje (Urbanas)	± 10,0%	± 8,0%
Bajo Voltaje (Rurales)	± 13,0%	± 10,0%

Fuente: Citada en “Regulación CONELEC 004/001”, 2001.[18]

2.5.4 PERTURBACIONES

2.5.4.1 Flicker (Parpadeo)

Se tiene que:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_1 + 0.0657P_3 + 0.28P_{10} + 0.08P_{50}} \quad (2.8.)$$

Donde:

P_{st} Índice de severidad de Flicker de corta duración.

$P_{0.1}, P_1, P_3, P_{10}, P_{50}$ Niveles de efecto “parpadeo” que sobrepasan el 0,1%, 1%, 3%, 10%, 50% del tiempo de medición.

Se considera en la medición el Índice de Severidad por Flicker de Corta Duración (P_{st}). Los intervalos de medición se los realizará cada 10 minutos, similar al intervalo de medición en el nivel de voltaje. Por lo tanto, esta medición se realizará simultáneamente y el equipo debe ser capaz de tomar dichos datos a la par. La conexión se la realizará en los bornes de bajo voltaje del transformador. Para la selección de los puntos se considera si la zona es rural o urbana, la topología de la red y nivel de voltaje. Finalmente se efectuará la medición durante un período no inferior a 7 días continuos.[18]

El índice de severidad del Flicker no debe superar el límite $P_{st} = 1$, mismo que se considera como el valor máximo de irritabilidad asociado a la fluctuación máxima de luminancia sin molestia al ojo humano.

Al menos durante el 95% del tiempo de medición, el índice de Flicker deberá permanecer dentro de los límites permitidos para que se cumpla la regulación.[18]

2.5.4.2 Armónicos

Se tiene que:

$$V_{i'} = \left(\frac{V_i}{V_n} \right) \cdot 100 \quad (2.9.)$$

$$THD = \left(\frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{40} (V_i)^2}}{V_n} \right) \cdot 100 \quad (2.10.)$$

Donde:

$V_{i'}$	Factor de distorsión armónica individual de voltaje
THD	Factor de distorsión porcentual total por armónicos
V_i	Valor eficaz del voltaje armónico, donde $i = 2 \dots 40$
V_n	Voltaje nominal en el punto de medición

Se considera en la medición el valor eficaz de los voltajes armónicos individuales (V_i) y el coeficiente de distorsión armónica (THD). Los armónicos considerados son

desde la segunda a cuadragésima. Los intervalos de medición se los realizará cada 10 minutos, similar al intervalo de medición en el nivel de voltaje. Por lo tanto, esta medición se realizará simultáneamente con la medición de voltaje. La conexión se la realizará en los bornes de bajo voltaje del transformador. Para la selección de los puntos se considera si la zona es rural o urbana, la topología de la red y nivel de voltaje. Finalmente se efectuará la medición durante un período no inferior a 7 días continuos.[18]

Tabla 2.10 Límites de los voltajes armónicos según regulación CONELEC 004/001

ORDEN (n) DE LA ARMONICA Y THD	TOLERANCIA $ V_i' $ o $ THD' $ (% respecto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V > 40 kV (otros puntos)	V ≤ 40 kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de tres		
5	2,0	6,0
7	2,0	5,0
11	1,5	3,5
13	1,5	3,0
17	1,0	2,0
19	1,0	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
> 25	$0,1 + 0,6*25/n$	$0,2 + 1,3*25/n$
Impares múltiplos de tres		
3	1,5	5,0
9	1,0	1,5
15	0,3	0,3
21	0,2	0,2
Mayores de 21	0,2	0,2
Pares		
2	1,5	2,0
4	1,0	1,0
6	0,5	0,5
8	0,2	0,5
10	0,2	0,5
12	0,2	0,2
Mayores a 12	0,2	0,5
THD	3	8

Fuente: Citada en "Regulación CONELEC 004/001", 2001.[18]

2.5.5 FACTOR DE POTENCIA

El cumplimiento del factor de potencia está a cargo del cliente. El consumidor debe cumplir al menos el 95% del tiempo de evaluación caso contrario estaría incumpliendo la normativa. Los intervalos de medición se los realizará cada 10 minutos por un tiempo no menor a 7 días continuos con régimen de funcionamiento normal. El valor mínimo del factor de potencia será de 0,92, caso contrario el consumidor se atenderá a los cargos propuestos por el Reglamento de Suministro del Servicio de Electricidad.[18]

2.6 NORMA ISO 50001 [19]

Esta norma se encarga de establecer sistemas y procesos necesarios para mejorar el desempeño energético de una organización. Se abordan temas de eficiencia energética, uso y consumo de la energía. A través de la gestión sistemática se logrará disminuir los costos de la energía y además reducir las emisiones de gases de efecto invernadero e impactos ambientales relacionados. Esta norma se aplica independientemente de la energía utilizada.

Se especifican los requisitos para desarrollar e implementar una política energética estableciendo objetivos, metas y planes de acción relacionadas con el uso de la energía. Esa norma se basa en el ciclo de mejora continua: Planificar-Hacer-Verificar-Actuar.

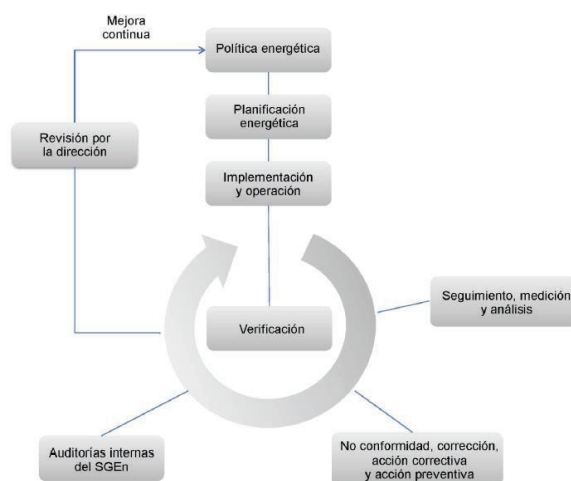


Figura 2.18 Modelo de sistema de gestión de la energía (SGEn) ISO 50001

Fuente: Citada en "ISO 50001", 2011.[19]

2.7 NORMA EUROPEA DE ILUMINACIÓN UNE-EN 12464-1 [20]

En esta norma se establecen los requisitos necesarios para un correcto sistema de iluminación para lugares de trabajo en interiores y áreas asociadas, cumpliendo con las necesidades visuales y de confort. Por otro lado, se dan recomendaciones para una buena práctica de iluminación.

2.7.1 CRITERIOS DE ILUMINACIÓN [20]

2.7.1.1 Ambiente luminoso

Es necesario satisfacer estas tres necesidades humanas básicas:

1. Confort visual: sensación de visual e indirectamente mayor productividad
2. Prestaciones visuales: capacidad para realizar tareas visuales, inclusive por largos periodos de tiempo.
3. Seguridad.

Los parámetros para determinar un ambiente luminoso son.

- Distribución de luminarias
- Iluminancia
- Deslumbramiento
- Dirección de la luz
- Rendimiento del color
- Flicker
- Luz natural

2.7.1.2 Distribución de luminancias

Se encarga de controlar el nivel de adaptación de los ojos que afecta a la visibilidad de la tarea en un campo de visión.[20]

Gracias a la adaptación de iluminancia bien equilibrada se puede aumentar:

- La agudeza visual.
- Sensibilidad al contraste.
- Eficiencia de las funciones oculares.

Por otro lado, una mala distribución de luminancias afecta al confort visual, entonces se debe evitar:

- Deslumbramiento, debido a elevados niveles de iluminancias.
- Fatiga por readaptación constante de los ojos, debido a contrastes de luminancia.
- Ambiente de trabajo no estimulante, debido a contrastes y luminancias demasiados bajos.

2.7.1.3 Apariencia y rendimiento del color.

La apariencia del color se refiere al color aparente de la luz emitida. La apariencia del color es algo subjetivo y dependerá de una cuestión psicológica, estética y lo que se considera como luz natural. En zonas climáticas frías se prefiere un color de luz más cálida y al contrario, en zonas climáticas calientes se prefiere un color de iluminación frío.[20]

Tabla 2.11 Apariencia de color de lámparas

Apariencia de color	Temperatura del color correlacionada T _{cp} [K]
Cálida	< 3 300
Intermedia	3 300-5 300
Fría	>5 300

Fuente: Citada en "AENOR, Norma Europea EN 12464-1", 2003.[20]

El rendimiento del color es importante por las prestaciones visuales y la sensación de confort. El índice de rendimiento del color R_a , presenta la capacidad que tiene una fuente de luz artificial de reproducir los colores, tomándose como referencia la luz solar. El máximo valor de R_a es 100, y va disminuyendo si el rendimiento del color disminuye. Esta norma sugiere que no se debe usar un **$R_a < 80$ en interiores** donde las personas trabajen extensos periodos de tiempo.[20]

2.7.1.4 Luz natural y aprovechamiento de energía

En ciertas áreas de la instalación la luz natural puede aportar con la totalidad o parte de la iluminación necesaria. La composición espectral depende del tiempo por lo tanto se tiene una variación en la iluminación interior. La iluminación natural generalmente proviene de las ventanas razón por la cual el flujo luminoso es horizontal. Se puede evitar deslumbramiento por luz natural con un adecuado

apantallamiento. Es necesario equilibrar la luz natural con distribución de luminancias dentro de la sala. Para ello se puede usar regulación automática o manual del alumbrado eléctrico. Una instalación de iluminación debe cumplir los requisitos especificados promoviendo el uso racional de la energía. Así que, se debe implementar equipamiento apropiado para este fin.[20]

Finalmente las tablas 2.12 y 2.13 muestra los límites de iluminancia media que se recomiendan en interiores y a su vez puede ser tomado específicamente para aulas en edificios universitarios.[20]

Tabla 2.12 Límites de iluminancia media en espacios de lectura según Norma Europea De Iluminación Une-En 12464-1

Tipo de interior	\overline{E}_M [lux]	R _a	Observaciones
Estanterías	200	80	-
Área de lectura	500	80	-
Puestos de servicio público	500	80	-

Fuente: Citada en "AENOR, Norma Europea EN 12464-1", 2003.[20]

Tabla 2.13 Límites de iluminancia media en edificios educativos. Fuente: Norma Europea De Iluminación Une-En 12464-1

Tipo de interior	\overline{E}_M [lux]	R _a	Observaciones
Aulas de tutoría	300	80	Iluminación controlable
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	80	Iluminación controlable
Sala de lectura	500	80	Iluminación controlable
Pizarra	500	80	Evitar reflexiones especulares
Mesa de demostraciones	500	80	-
Aulas de arte	500	80	-
Aulas de dibujo técnico	750	80	-
Laboratorios y aulas de práctica	500	80	-
Aulas de prácticas de música	300	80	-
Aulas de prácticas de informática	300	80	-
Laboratorio de lenguas	300	80	-
Hall de entrada	200	80	-
Áreas de circulación, pasillos	100	80	-
Escaleras	150	80	-
Comunes de estudio y reunión	200	80	-

Tipo de interior	$\overline{E_M}$ [lux]	R _a	Observaciones
Sala de profesores	300	80	-
Sala de deportes, gimnasio	300	80	Para actividades específicas revisar Norma EN 12193

Fuente: Citada en "AENOR, Norma Europea EN 12464-1", 2003.[20]

2.7.1.5 Uniformidad de iluminancia

El área de trabajo debe ser iluminada con un grado de uniformidad que se establece en esta norma. Se debe mantener una iluminación tan uniforme como sea posible. Uniformidad de iluminancia se la determina mediante la relación entre la iluminancia mínima y la iluminancia media.[20]

Tabla 2.14 Límites de uniformidad de iluminancia. Fuente: Norma Europea De Iluminación Une-En 12464-1

Iluminancia de tarea	Iluminancia de áreas circundantes inmediatas
750	500
500	300
300	200
200	Etarea
Uniformidad $\geq 0,7$	Uniformidad $\geq 0,5$

Fuente: Citada en "AENOR, Norma Europea EN 12464-1", 2003. [20]

CAPÍTULO 3

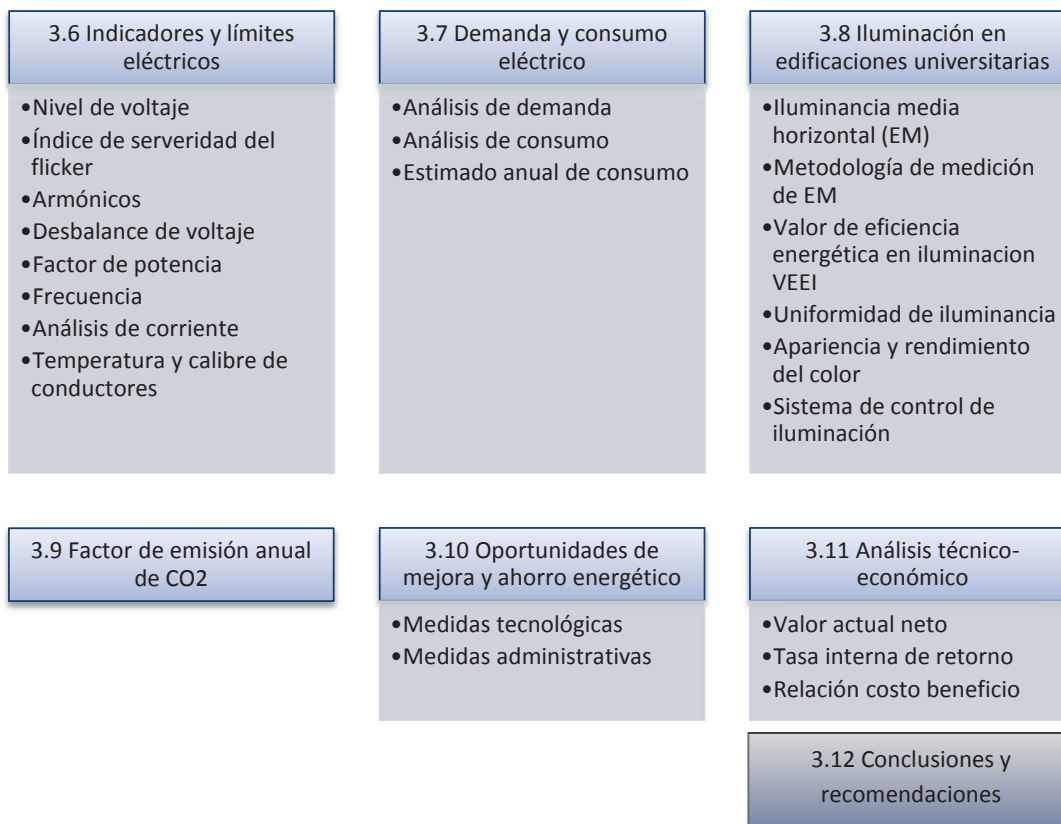
MODELO DE GUÍA PARA AUDITORÍA ENERGÉTICA EN PREDIOS UNIVERSITARIOS

Los edificios universitarios presentan diferentes tipos de áreas usadas por estudiantes, profesores, investigadores, personal administrativo, etc. Dichos espacios son caracterizados por el uso que se les da, como por ejemplo un edificio universitario en general tendrá: aulas, laboratorios, bibliotecas, salas de computación, salas de estudio o reunión, halls, parqueaderos entre otros. Cada una de estas áreas tendrá un requerimiento energético propio, con distintos porcentajes de carga que alimentar. La iluminación es un tema muy importante en edificios universitarios, más aún cuando los ocupantes pasan gran cantidad de tiempo en las instalaciones, representando una carga eléctrica considerable. Existen varias normas y regulaciones tanto en calidad de energía como en eficiencia energética las cuales serán analizadas en este capítulo para esta guía. El objetivo es tener las herramientas útiles para desarrollar una auditoria energética en edificaciones universitarias.

El modelo para realizar esta auditoría parte de normativa existente tanto nacional como internacional y basa su análisis en el uso de un solo tipo de energía, la eléctrica. A continuación se muestra el contenido de los puntos que contiene esta guía.

Tabla 3.1 Resumen del modelo de guía para auditoría energética en un predio universitario.

3.1 Generalidades	3.2 Diagnóstico general	3.3 Levantamiento de carga
<ul style="list-style-type: none"> •Comunicación universidad-empresa auditora •Características arquitectónicas y utilización del edificio •Definición de fechas y plazos 	<ul style="list-style-type: none"> •Planos eléctricos •Diagnóstico 	3.4 Datos históricos de consumo
		3.5 Equipo de medición e instalación



3.1 GENERALIDADES

3.1.1 COMUNICACIÓN UNIVERSIDAD - EMPRESA AUDITORA

Se establecerá la comunicación entre el administrador del edificio del campus universitario y la empresa auditora. Se revisará el marco legal vigente para la elaboración del contrato de trabajo en caso de ser necesario.

3.1.2 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS Y UTILIZACIÓN DEL EDIFICIO

Se realizará una descripción de los antecedentes del edificio en cuestión, con la finalidad de tener información general del edificio universitario. Se deberá incluir especificaciones, tales como: finalidad del edificio, tipo de uso, espacios disponibles, ubicación geográfica, superficie total de construcción e información general de la edificación, año de inauguración, etc.

Se elaborará un resumen general de la utilización física del edificio, en la cual se debe incluir:

- Generalidades.
- Actividades académicas.
- Área y capacidad del edificio.
- Número de pisos, aulas, auditorios, bibliotecas, ascensores, entre otros.
- Personal administrativo y trabajadores.
- Otros datos generales.

3.1.3 DEFINICIÓN DE FECHAS Y PLAZOS

Se definirá las fechas en las cuales se va a proceder con las respectivas mediciones y toma de datos. Además, se coordinará el acceso del personal auditor a los lugares donde se realizarán las mediciones respectivas.

Se establecerán las horas de trabajo del personal auditor dentro de las instalaciones. El período mínimo de medición de calidad de energía será de 7 días continuos. Para toma de medidas de iluminancia en aulas se deberá coordinar las fechas para evitar la interrupción del horario normal de clases.

3.2 DIAGNÓSTICO GENERAL

3.2.1 PLANOS ELÉCTRICOS

Se analizarán los planos eléctricos de la edificación (As Built). Se debe reconocer los circuitos que alimentan cada uno de los pisos y sus diferentes cargas conectadas al tablero principal de distribución de energía eléctrica.

Este análisis inicial dará una perspectiva base de las cargas a ser evaluadas y los futuros problemas que se puedan encontrar al realizar las mediciones respectivas.

En caso de que la instalación no cuente con los planos respectivos, se recomienda elaborar dichos planos con el fin de conocer el estado actual de las instalaciones eléctricas, distribución de las cargas, conexionado, entre otros.

3.2.2 DIAGNÓSTICO

Se realizará un diagnóstico inicial del edificio identificando problemas generales en el sistema eléctrico. Esta información generalmente es proporcionada por parte del administrador técnico del edificio. El personal encargado del mantenimiento y soporte técnico de la edificación tendrá registrados los inconvenientes que presente la edificación. Además, los usuarios son otra fuente de información para el diagnóstico e identificación de los problemas eléctricos que se presente en la edificación.

3.3 LEVANTAMIENTO DE CARGA

Se elaborará el levantamiento de carga de todos los elementos y dispositivos que usen energía eléctrica alimentada por el tablero principal del edificio. Se debe recolectar toda la información de la carga total instalada en tablas. Además, cada carga debe ser clasificada por su tipo como se muestra a continuación:

- Iluminación.
- Ascensores.
- Computadores.
- Equipo de comunicaciones y redes.
- Motores para ventilación y bombas de agua.
- Equipos de electrónicos y de automatización.
- Otros.

Se registrarán las cargas conectadas, de las cuales se observará su estado, correcto funcionamiento y tipo de carga para su posterior clasificación. Con la ayuda de herramientas gráficas se presentarán los resultados correspondientes. Los planos eléctricos son una gran ayuda para realizar el levantamiento de carga. Los planos As Built (como en construcción) son usados como material de apoyo en esta actividad. En instalaciones universitarias, generalmente se tiene un mayor porcentaje de carga instalada en iluminación.

3.4 DATOS HISTÓRICOS DE CONSUMO

Se analizará el consumo energético histórico de la edificación mediante información proporcionada por la empresa distribuidora o por el personal administrativo. Se realizará un diagrama de registro histórico donde conste el resumen del consumo energético mensual de la edificación.

3.5 EQUIPO DE MEDICIÓN E INSTALACIÓN

El equipo que medirá los parámetros eléctricos de calidad de energía se instalará en el tablero principal que alimente el edificio en cuestión.

Primero, se debe reconocer el conexionado e identificar las fases que alimentan el tablero de distribución. La respectiva conexión dependerá del equipo (analizador de redes) a ser conectado. Se recomienda revisar el manual del usuario del equipo analizador. Los indicadores mencionados anteriormente especifican el tiempo que el equipo debe permanecer conectado y recolectando datos.

Las mediciones de iluminación se realizarán en las diferentes zonas del edificio universitario. Existirán instalaciones que presenten similares características arquitectónicas y de red eléctrica, por lo tanto se tomará solo una instalación modelo para el análisis.

3.6 INDICADORES Y LÍMITES ELÉCTRICOS

La información dada por los indicadores será comparada con los sus respectivos límites de acuerdo la normativa pertinente. Los indicadores energéticos identificados ayudarán a medir el desempeño energético actual del edificio. Los límites considerados en esta guía son basados en normas nacionales e internacionales.

Se registrará cada uno de los indicadores para el análisis. Si algún parámetros sale de los límites establecidos se especificarán las posibles causas.

Los resultados obtenidos pueden mostrar diferentes problemas los cuales pueden ser causados por una o múltiples fuentes.

3.6.1 NIVEL DE VOLTAJE

Se deberá cumplir con lo establecido en la regulación CONELEC 004/01. El nivel de voltaje será medido durante 7 días continuos. Se realizarán mediciones cada 10 minutos. Al menos durante el 95% del tiempo de medición, el nivel de voltaje deberá permanecer dentro de los límites que se muestran a continuación.

Tabla 3.2 Nivel de Voltaje según regulación CONELEC 004/001

	Subetapa 2
Bajo Voltaje (Urbanas)	± 8,0%

3.6.2 ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER

Se deberá cumplir con lo establecido en la regulación CONELEC 004/01. El nivel de flicker será medido durante 7 días continuos. Se realizarán mediciones cada 10 minutos. Al menos durante el 95% del tiempo de medición, el índice de severidad del flicker deberá permanecer dentro de los límites que se muestran a continuación:

- El índice de severidad de corta duración de Flicker no debe superar el límite $P_{st} = 1$.
- El índice de severidad de larga duración de Flicker no debe superar el límite $P_{lt} = 1$.

El análisis de los resultados del índice de severidad del flicker es muy importante ya que al ser un edificio universitario en el cual la mayor cantidad de superficie está dedicada a aulas, y en donde la carga mayoritaria es iluminación, un resultado desfavorable tendría una repercusión negativa sobre los cientos de estudiantes y personal que utiliza el edificio. En el capítulo 2 se mencionan los efectos negativos del flicker.

3.6.3 ARMÓNICOS

Se deberá cumplir con lo establecido en la regulación CONELEC 004/01. Se medirá el valor eficaz de los voltajes armónicos individuales (V_i) y el coeficiente de distorsión armónica (THD) durante 7 días continuos. Se realizarán mediciones cada 10 minutos. Los límites permitidos se muestran a continuación.

Tabla 3.3 Límites de contenido armónico de voltaje según regulación CONELEC 004/01

Armónicos			
Múltiplos de 3		Impares	
Orden	Tensión relativa %	Orden	Tensión relativa %
5	6	3	5
7	5	9	1,5
11	3,5	15	0,5
13	3	21	0,5
17	2	Pares	
19-25	1,5	2	2
		4	1
		6-24	0,5

- Coeficiente de distorsión armónica: $THD < 8$.

3.6.4 DESBALANCE DE VOLTAJE

Según la regulación IEEE 1159, el desbalance de voltaje de cualquiera de las fases no deberá superar el 2%. El desbalance de voltaje será medido durante 7 días continuos. Se realizarán mediciones cada 10 minutos. Al menos durante el 95% del tiempo de medición se deberá permanecer dentro de los límites establecidos por la regulación.

3.6.5 FACTOR DE POTENCIA

Se deberá cumplir con lo establecido en la regulación CONELEC 004/01. Los intervalos de medición se los realizará cada 10 minutos por un tiempo no menor a 7 días continuos con régimen de funcionamiento normal. El valor mínimo del factor de potencia será de 0,92.

3.6.6 FRECUENCIA

Se deberá cumplir con los límites establecidos en el Procedimiento de Despacho y Operación, regulación CONELEC No 006/00. El límite de frecuencia será de 59,85-60,15 Hz, para condiciones normales de operación en el sistema eléctrico. [21]

3.6.7 ANÁLISIS DE CORRIENTE

Actualmente, no existe normativa acerca de los límites de desbalance de corriente en un sistema trifásico de una instalación o edificación. Si bien es cierto, en algunos sistemas trifásicos un desbalance de corriente en las fases puede reflejarse en un desbalance de voltaje. Desde el punto de vista de calidad de energía, al no registrarse un desbalance de voltaje los sistemas monofásicos y trifásicos, éstos no presentan ningún riesgo eléctrico en las instalaciones.

Los conductores deben estar diseñados para soportar la corriente normal de carga, por esa razón se recomienda tomar datos de temperatura y calibre de conductores.

3.6.7.1 Temperatura y calibre de conductores

Una vez obtenidos los resultados de corriente por fase, se procederá a analizar si el calibre del conductor es capaz de soportar dichas corrientes y evitar sobrecalentamiento de conductores ya que esto contribuye a generar pérdidas por efecto joule y deterioro del sistema eléctrico. Se especificará el calibre y el tipo de conductor. Se tomarán datos de temperatura en los conductores del sistema trifásico y neutro en el tablero de distribución principal que alimenta la instalación. Se deberán tomar los datos a la hora que se tenga la máxima demanda.

3.7 DEMANDA Y CONSUMO ELÉCTRICO

Se registrará la potencia consumida por la edificación al menos por 7 días continuos. Con estos datos se podrá caracterizar el consumo de energía y cuáles son las horas del día, y los días de la semana en los cuales se registra mayor consumo energético.

3.7.1 ANÁLISIS DE DEMANDA

Se registrará la demanda máxima de potencia que tiene la instalación a lo largo de los 7 días de medición. Se establecerán los horarios de máxima demanda.

3.7.2 ANÁLISIS DE CONSUMO

Se registrará el consumo de energía eléctrica de una instalación y se contrastará con los costos previstos por dicho consumo.

3.7.3 ESTIMADO ANUAL DE CONSUMO

De acuerdo con el cronograma anual de clases se establece que el período de uso anual de la instalación universitaria. Se estimará el consumo anual de la instalación así como el costo anual de energía eléctrica.

3.8 ILUMINACIÓN EN EDIFICACIONES UNIVERSITARIAS

Una edificación universitaria generalmente consta de aulas de clase, oficinas de profesores, biblioteca general, laboratorios de computación, entre otros. Dichos espacios cuentan características y límites energéticos típicos en iluminación. En este apartado se analizará la iluminación y el uso eficiente de la misma. La iluminación en un ambiente universitario dependerá de algunos parámetros importantes que se los detallará a continuación:

3.8.1 ILUMINANCIA MEDIA HORIZONTAL (E MEDIA)

Cada una de las zonas del edificio tendrá su valor propio de iluminancia media. Los límites vendrán dados por la norma UNE 12464.1, tabla para edificios educativos.

Los límites correspondientes para espacios universitarios se muestran en la Tabla 3.4:

Tabla 3.4 Límites de iluminancia media. Fuente: Norma Europea De Iluminación Une-En 12464-1

Tipo de interior	$\overline{E_M}$ [lux]	R _a	Observaciones
Aulas de tutoría	300	80	Iluminación controlable
Aulas para clases nocturnas y educación de adultos	500	80	Iluminación controlable
Sala de lectura	500	80	Iluminación controlable
Pizarra	500	80	Evitar reflexiones especulares
Mesa de demostraciones	500	80	-
Aulas de arte	500	80	-
Aulas de dibujo técnico	750	80	-
Laboratorios y aulas de práctica	500	80	-
Aula de manualidades	500	80	-
Aulas de prácticas de música	300	80	-
Aulas de prácticas de informática	300	80	-
Laboratorio de lenguas	300	80	-
Hall de entrada	200	80	-
Áreas de circulación, pasillos	100	80	-
Escaleras	150	80	-
Comunes de estudio y reunión	200	80	-
Sala de profesores	300	80	-
Sala de deportes, gimnasio	300	80	Para actividades específicas revisar Norma EN 12193
Cocina	500	80	

Fuente: Citada en "AENOR, Norma Europea EN 12464-1", 2003. [20]

La medición de iluminancia en un punto es la suma de la componente directa de iluminación y componentes indirectas (reflejadas). Para el análisis de iluminancia sobre el plano de trabajo suficiente tomar los valores de iluminancia horizontal, no son de interés los valores correspondientes a la iluminancia vertical.[22]

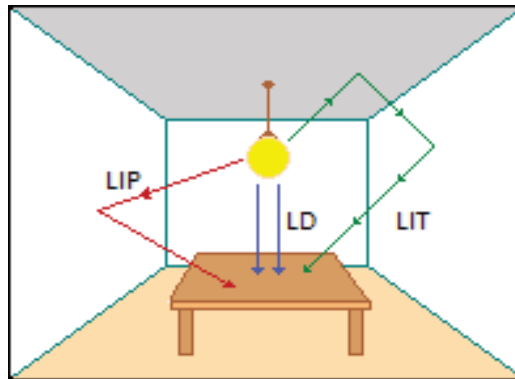


Figura 3.5 Iluminación incidente sobre el plano horizontal de trabajo.

Fuente: Citada en “Iluminación incidente sobre el plano horizontal de trabajo”, 2014. [22]

Donde:

- LD: Luz directa
 LIP: Luz indirecta proveniente de la pared
 LIT: Luz indirecta proveniente del techo

La iluminación directa y la componente perpendicular al plano de trabajo son las fuentes de iluminación que inciden en la iluminancia horizontal. La iluminancia vertical se utiliza en el caso de modelado de objetos y ambientes como: cine, televisión, deportes, etc. En el caso de la iluminancia en las áreas del edificio ARME se usa la iluminancia horizontal.

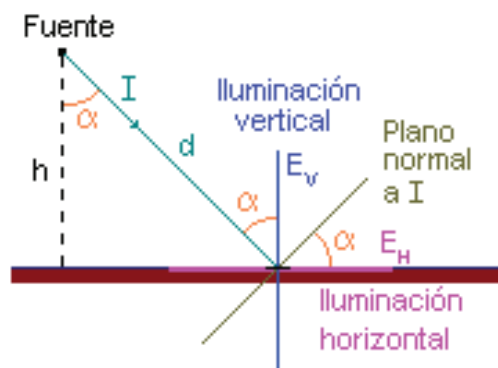


Figura 3.2 Iluminación incidente sobre el plano horizontal de trabajo.

Fuente: Citada en “Iluminación incidente sobre el plano horizontal de trabajo”, 2014. [22]

3.8.1.1 Metodología de medición de Iluminancia media E_m .

La iluminancia media se determinará mediante el método de cuadrilla. La superficie analizada es dividida en varias micro-zonas en las cuales se realizará la medición de iluminancia con la ayuda de un luxómetro. Este método cubre toda la superficie

plana en cuestión dividiendo en cuadrados de igual dimensión en los cuales se tomarán los datos. Los datos que se necesita ingresar serán las dimensiones de la zona en cuestión, esto es: altura, ancho y largo.

La iluminancia será medida en el plano que se encuentra a 0,8 [m] del suelo, este plano está referido a la ubicación de los escritorios, mesas, pupitres, etc. Primero se determinará el número mínimo de puntos de una área en donde se tomarán las mediciones, a esto se lo conoce como índice del local (k) y se relaciona con la geometría del local. Este cálculo es válido para un sistema de iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa.

$$k = \frac{a \cdot b}{(h)(a + b)} \quad (3.1)$$

Donde:

k	Índice del local
a	Ancho del local
b	Largo del local
h	Altura de la luminaria al plano de trabajo

$$h = H - h' \quad (3.2)$$

Donde:

H	Altura del local
h'	Altura desde el piso al plano de trabajo

Una vez calculado el índice del local, se determina el número mínimo de puntos de medición y se lo calcula con la siguiente ecuación.

$$N = (k + 2)^2 \quad (3.3)$$

Donde:

N :	Número mínimo de puntos de medición de iluminancia
k :	Índice del local

El luxómetro es el equipo de medición adecuado para tomar medidas de iluminancia.

3.8.2 VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN ILUMINACIÓN (VEEI)

Se debe calcular el valor de eficiencia energética de iluminación en las áreas de análisis. Los límites de VEEI se establecen en la norma INEN 2506. En el capítulo 2, se encuentra información respecto a esta normativa. Con el fin de tener el mínimo consumo energético se toma las instalaciones universitarias como **zonas de no representación**. Se tienen los siguientes límites.

Tabla 3.6 VEEI máximo para zonas de no representación

Zona de actividad diferenciada	VEEI máximo [W/ m ²]
Administración general	3,5
Andenes de estación de transporte	3,5
Salas de diagnóstico	3,5
Pabellones de exposición o ferias	3,5
Aulas y laboratorios	4
Habitaciones de hospital	4,5
Zonas comunes	4,5
Almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	5
Aparcamientos	5
Espacios deportivos	5

Fuente: Citada en "Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 506", 2009. [9]

3.8.3 UNIFORMIDAD DE ILUMINANCIA

Se determina el valor de uniformidad de iluminancia "U" y se contrasta con los límites de uniformidad de iluminancia según la norma Europea De Iluminación Une-En 12464-1, Uniformidad $\geq 0,7$.

3.8.4 APARIENCIA Y RENDIMIENTO DEL COLOR

El rendimiento del color deberá ser confortable y cumplir con las prestaciones visuales que requieren. Para tareas visuales se recomienda color de luminosidad entre 3 000-6 500 K. Rendimiento de color > 80 en interiores del edificio. Este parámetro es dado por las características técnicas de la iluminación utilizada.

3.8.5 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN

Las aulas que cuenten con acceso a iluminación natural deberán tener un sistema de control que aproveche dicha iluminación. Se establecerán los circuitos de iluminación en aulas.

3.9 FACTOR DE EMISIÓN ANUAL DE CO₂

Se determinará la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) emitida equivalente a la energía eléctrica consumida en las condiciones actuales. Se deberá obtener el factor de emisión anual de CO₂ por kWh, el mismo que dependerá del tipo de fuente de energía de cada país o región. Una generación de energía eléctrica basada en la quema de combustibles fósiles tendrá un mayor factor de emisión de CO₂ que una generación renovable como centrales hidroeléctricas.

3.10 OPORTUNIDADES DE MEJORA Y AHORRO ENERGÉTICO

A partir de los resultados obtenidos de la evaluación energética se identificarán las oportunidades de mejora en el sistema eléctrico, para cumplir con los límites establecidos de cada uno de los indicadores.

Por un lado el ahorro energético se dará por la implementación de mejoras en el sistema eléctrico y por otro el uso de equipo eficiente en la instalación.

Se determinará la cantidad de CO₂ emitida por la energía eléctrica consumida en las condiciones actuales. Por otro lado, si se implementaran las mejoras, se debe identificar cual sería el ahorro energético de la instalación.

3.10.1 MEDIDAS TECNOLÓGICAS

Es un grupo de lineamientos técnicos basados en los resultados obtenidos para solventar los problemas eléctricos encontrados en la edificación. Las medidas tecnológicas aplicadas deberán estar acorde a normativa nacional y en caso de no tenerla se aplica normas internacionales con el fin de que la medida aplicada responda a certificaciones y bases tecnológicas de aplicación con sustento técnico.

3.10.2 MEDIDAS ADMINISTRATIVAS

Las medidas administrativas deberán ser analizadas por parte de los directivos de la instalación con el fin de promover el uso eficiente y racional de la energía. Las medidas administrativas responden a una serie de políticas y lineamientos los cuales ayudarán a la instalación a disminuir el consumo energético. Se pueden tomar las siguientes medidas administrativas:

- Políticas para adquisición de equipos eficientes.
- Mantenimiento de equipos y luminarias.
- Uso eficiente de equipos eléctricos.
- Charlas de concientización.
- Creación de comité de eficiencia energética, entre otros.

3.11 ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE LAS PROPUESTAS DE MEJORA

Una vez detectado algún tipo de problema eléctrica, una oportunidad de mejora o ahorro energético se debe realizar el respectivo análisis técnico y económico de las propuestas en caso de haberlas.

Se deberá evaluar la propuesta como un proyecto de inversión el que genere el mayor beneficio técnico y económico. El objetivo es encontrar una propuesta que represente un aumento efectivo de confort y bienestar con los menores gastos.

La viabilidad de las propuestas técnicas de mejora que incluyan inversión de capital se determinará mediante el manejo de tres tipos de indicadores los mismos que ayudarán a establecer la rentabilidad de un proyecto: valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), y relación costo beneficio.

3.11.1 VALOR ACTUAL NETO

También conocido como valor presente neto, el cual estima el valor monetario de los beneficios y costos que representará la implementación del proyecto. Este cálculo trae las ganancias anuales a valor actual (año cero). Si el proyecto es

rentable el resultado deberá ser un valor positivo, caso contrario se debe desistir de invertir en dicho proyecto.

$$VAN = -I + \sum \frac{NE}{(1+i)^n} \quad (3.4)$$

Donde:

I	Gastos de inversión inicial
FNE	Flujo neto de efectivo
i	Tasa social de descuento
n	Número de períodos

3.11.2 TASA INTERNA DE RETORNO

El valor correspondiente a la tasa de retorno (TIR), están relacionados totalmente al flujo de caja que tendrá el proyecto y hace cero el valor actual neto. Este valor es independiente de factores de financiamiento externo. Este método se utiliza para evaluar la factibilidad de un proyecto. Si presentan varios proyectos el TIR ayudará en la decisión del proyecto más rentable.

3.11.3 RELACIÓN COSTO BENEFICIO

Este método se basa en traer a valor presente de todos los ingresos y egresos que represente el proyecto. Se determina la relación entre el valor presente y la inversión inicial.

$$\frac{B}{C} = \frac{VPA}{TI} \quad (3.5)$$

Donde:

$\frac{B}{C}$	Relación costo beneficio
VPA	Valor presente del ahorro
TI	Inversión inicial

Para el análisis de este valor se toma las siguientes consideraciones:

- $B/C > 1$; Se recomienda la realización del proyecto. Los ingresos son mayores que los egresos.

- $B/C = 1$; La realización del proyecto es irrelevante. Los ingresos son iguales que los egresos.
- $B/C < 1$; No recomienda la realización del proyecto. Los ingresos son menores que los egresos.

3.12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Una vez que se han recolectado todos los datos y se ha cumplido todo el proceso, se escribirán las conclusiones y recomendaciones. El análisis técnico realizado y las condiciones eléctricas de la edificación serán reflejados en cada una de las conclusiones. Finalmente las recomendaciones incluirán las referencias sugeridas a los problemas eléctricos.

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO DE AULAS Y RELACIÓN CON EL MEDIO EXTERNO, EPN

4.1 GENERALIDADES EARME

4.1.1 COMUNICACIÓN CON LA ADMINISTRACIÓN EARME

Se establece la comunicación correspondiente con los administradores del edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo. El director administrativo del departamento de Servicios Generales se encarga de la administración de los edificios que se ubican en el campus politécnico. El edificio EARME cuenta con una administración general de la etapa 1 y 2 (4to y 5to piso). Las instalaciones ocupadas por el CEC-EPN (1ro-3er piso), cuentan con sus propios administradores.

Se ha contactado con los respectivos directivos para informarles del trabajo que se realizará en las instalaciones del edificio EARME. Se solicitaron los respectivos permisos y documentación administrativa.

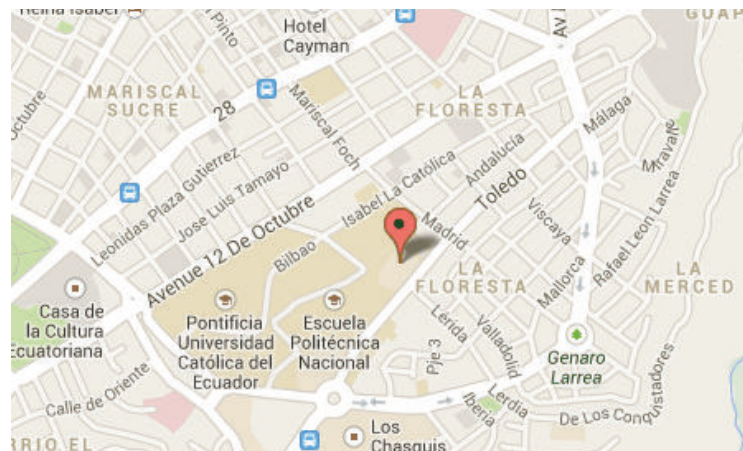
Finalmente se obtienen todos los permisos por parte de la administración de la EPN y del edificio EARME, para proceder con la respectiva toma de datos y ubicación de los equipos de medición.

4.1.2 GENERALIDADES Y UTILIZACIÓN EARME

El Edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo (EARME) se ubica en calle Toledo, entre la avenida Ladrón de Guevara y Madrid, este edificio se encuentra en el campus “José Rubén Orellana R” perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional en la ciudad de Quito, Ecuador.

El edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo lleva a cabo actividades académicas propias de la universidad, actividades públicas y del sector privado como son las siguientes: clases magistrales, conferencias, seminarios, congresos, etc. Antes, dichas actividades se las realizaba en espacios reducidos o

simplemente en otros lugares fuera de la universidad, lo cual resultaba inusual para una universidad reconocida por su nivel académico.[23]



**Figura 4.1 Ubicación edificio de Aulas y
Relación con el Medio Externo.**

Fuente: Citada en “Memoria arquitectónica edificio de aulas y relación con el medio externo”, 2013.[23]



**Figura 4.2 Ubicación edificio de Aulas y
Relación con el Medio Externo en el campus Politécnico.**

Fuente: Citada en “Memoria arquitectónica edificio de aulas y relación con el medio externo”, 2013.[23]

Al realizarse el primer plan integral de desarrollo institucional y físico, la Escuela Politécnica Nacional a través de su respectivo departamento de Dirección de Planificación se vio en la necesidad de ampliar su espacio físico debido al crecimiento continuo de estudiantes y falta de espacios para vinculación con la comunidad. En el año 2006 se decide realizar los estudios previos a la construcción

del edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo. La Dirección de Planificación se encargó del diseño arquitectónico considerando las necesidades y requerimientos institucionales. Después de un exhaustivo análisis del uso de aulas y espacios dedicados para fines académicos, se determinaron las dimensiones y capacidad de la edificación.[23]

Los resultados preliminares de la ubicación del nuevo edificio dentro del Campus Politécnico “ José Rubén Orellana” dieron como resultado la ubicación actual del edificio, la construcción se da lugar sobre la avenida Toledo, entre las calles Ladrón de Guevara y Madrid. Al analizar los anteproyectos y estudios correspondientes se estimó un área aproximada de construcción correspondiente a 33 800 m².

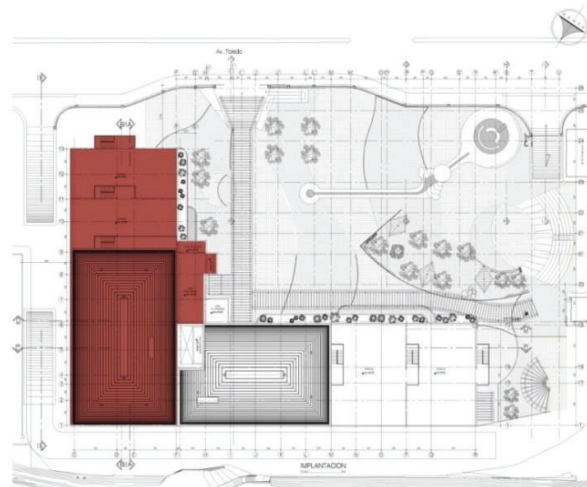
Debido al alto costo que significaba construir una edificación de tales características fue necesario realizar la construcción en dos etapas, lo cual era lo más conveniente considerando las limitaciones monetarias de la institución en ese momento. El edificio se concibió en dos partes denominadas Etapa 1 y Etapa 2.[23]

Al terminar el proyecto se trabajaría en conjunto y ayudaría a resolver el problema del espacio físico faltante para la realización de actividades académicas. En el primer plan de desarrollo físico también se decidió unificar al edificio un parqueadero para vehículos, los mismos que se ubicaron en dos subsuelos, por lo tanto el edificio también tendría otra utilidad aparte del área académica. La finalidad de separar una amplia área de construcción destinada a parqueaderos de vehículos fue descongestionar y cambiar los estacionamientos al aire libre, en parques, áreas de jardines y árboles, con una remodelación de las calles, y así conseguir que el espacio físico ubicado en la superficie sea amigable y útil para los transeúntes que se desplazan dentro de la universidad.[23]

La superficie total de la construcción es de 33 800 m², la misma que se encuentra distribuida de la siguiente manera: dos subsuelos destinados para estacionamiento de vehículos, planta baja, cinco plantas altas y una plazoleta con ágora donde se realizan eventos culturales, conciertos y exposiciones, fomentando así la integración de la comunidad politécnica, profesores y estudiantes, y además con personas que viven en los sectores cercanos a la universidad.[23]

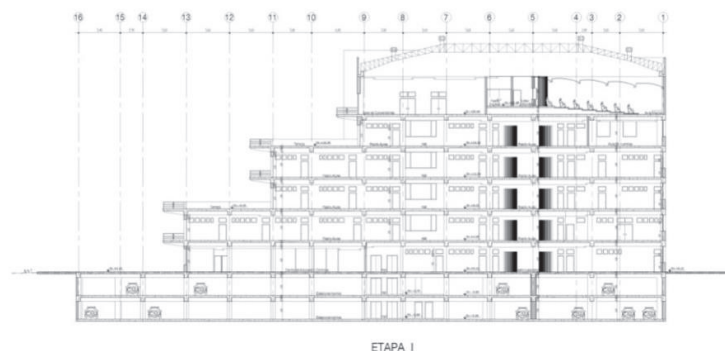
4.1.2.1 Etapa 1 EARME

Este edificio consta de 6 plantas y dos subsuelos. La etapa 1 es una edificación de corte racionalista, es decir considerando el ahorro máximo en superficie de construcción y de materiales utilizados. La superficie total es de 13 822,2 m² y además esta etapa cuenta con terrazas recreativas con una superficie total de 595,3 m². De acuerdo al estudio de tráfico correspondiente se dimensionó el número total de cinco elevadores, al igual que el número de baterías sanitarias las mismas que fueron diseñadas a partir de la concurrencia de hombres y mujeres.[23]



**Figura 4.3 Ubicación etapa 1. Edificio de Aulas y
Relación con el Medio Externo en el campus Politécnico**

Fuente: Citada en “Memoria arquitectónica edificio de aulas y relación con el medio externo”, 2013.[23]



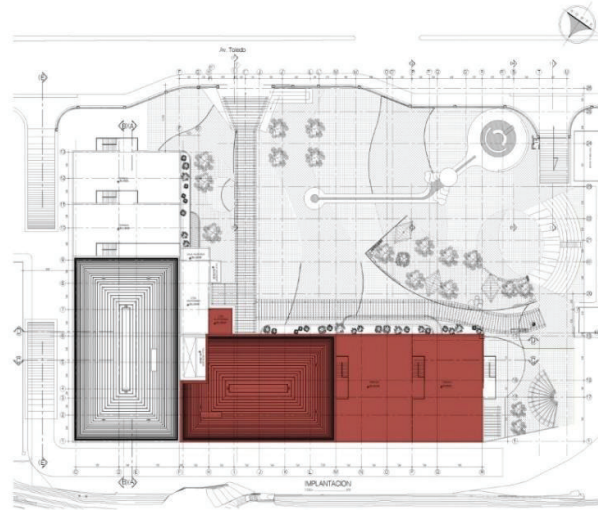
**Figura 4.4 Corte lateral edificio de Aulas y
Relación con el Medio Externo, Etapa 1**

Fuente: Citada en “Memoria arquitectónica edificio de aulas y relación con el medio externo”, 2013.[23]

- La primera etapa cuenta con dos subsuelos los mismos que han sido destinados para parqueaderos, cuentan con una área de 2 643,5 m² y 2 856 m² respectivamente. La capacidad del primer parqueadero ubicado en el primer subsuelo es de 67 espacios y del segundo subsuelo el parqueadero cuenta con 66 espacios.[23]
- En la planta baja se encuentran las oficinas administrativas del Centro de Educación Continua (CEC), y 7 laboratorios. También cuenta con espacios destinados a la ubicación de equipos de datos correspondientes al sistema de comunicaciones del campus politécnico. El área total es de 1 680 m².
- La primera planta del edificio cuenta con una área total de 2 696 m², donde funcionan 16 aulas, con capacidad de entre 20 y 40 alumnos. Además, una biblioteca especializada.
- La segunda planta cuenta con un área de 1 360 m², cuenta también con una terraza de 298 m². Este piso tiene 12 aulas y una cafetería adecuada para 60 personas aproximadamente.
- La tercera planta tiene un área de 1 360 m², cuenta con 14 aulas con capacidad de 30-40 personas.
- La cuarta planta tiene una área de 1 087 m², y una terraza de 297,3 m². Se encuentran 7 aulas con capacidad entre 20 a 60 estudiantes.
- La quinta planta está destinada a una sala de convenciones y auditorio. Espacios destinados al uso académico, cultural, institucional y a la comunidad en general.[23]

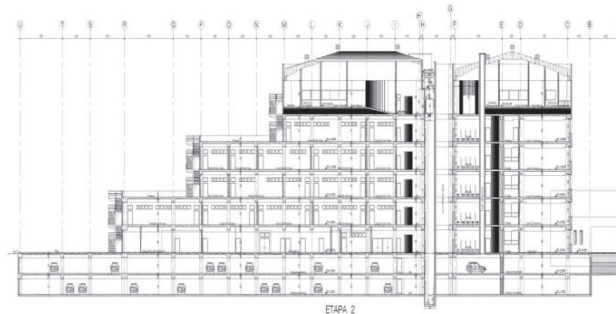
4.1.2.2 Etapa 2 EARME

El Edificio de Relación con el Medio Externo-Etapa 2 tiene un área de 20 385 m². Al igual que la primera etapa tiene dos subsuelos, planta baja y cinco plantas altas. Su ubicación es paralela a la calle Toledo, se encuentra formando una plaza central. Esta etapa cuenta con cuatro ascensores y baterías sanitarias, dimensionadas con el estudio de tráfico de personas correspondiente.[23]



**Figura 4.5 Ubicación etapa 2. Edificio de Aulas y
Relación con el Medio Externo en el campus Politécnico**

Fuente: Citada en "Memoria arquitectónica edificio de aulas y relación con el medio externo", 2013.[23]



**Figura 4.6 Corte lateral edificio de Aulas y
Relación con el Medio Externo, Etapa 2**

Fuente: Citada en "Memoria arquitectónica edificio de aulas y relación con el medio externo", 2013.[23]

- El primer subsuelo tiene un área de 6 382 m² y el segundo 5 957 m². Los dos subsuelos están destinados a parqueaderos con una capacidad de 219 cada uno, en total 438 espacios de estacionamiento.
- El área total de la planta baja es de 1 572 m². En este piso funcionan: Asociación de Profesores (ADEPON), Asociación de Trabajadores (AGT) y la Cooperativa de Ahorro y Crédito Politécnica. Por otro lado, cuenta con dos aulas que se destinan a capacitaciones y reuniones gremiales.

- La primera planta cuenta con un área de 1 569 m². Esta planta cuenta con 11 aulas con capacidad para 20-40 estudiantes.
- La segunda planta cuenta con un área de 1 231 m², además con una terraza de 388 m². Se ubica un total de 9 aulas con capacidad de 20-40 estudiantes.
- La tercera planta tiene un área de 1 231 m², al igual que la segunda planta. Se tiene un total de 10 aulas con capacidad de 20–40 estudiantes.
- La cuarta planta alta cuenta con un área de 843 m² con terraza de 338 m². Este piso cuenta con 3 aulas y además una cafetería la cual puede extenderse en el uso de la terraza.
- Finalmente se tiene la quinta planta alta con un área de 868 m². Se encuentra una sala vip y un auditorio los mismos que prestaran servicios académicos, sirven para la realización de eventos culturales.

El presupuesto referencial para la construcción del edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo asciende a 10 024 882 US\$. El presupuesto referencial de la primera etapa es de 3 590 618. Para la segunda etapa el presupuesto asciende a 6 434 264 US\$. La inauguración de este edificio universitario se da a cabo en noviembre de 2013.[23]

4.1.3 DEFINICIÓN DE FECHAS Y PLAZOS EARME

Se procede a la calendarización de mediciones y toma de datos a realizarse en el edificio EARME ya que se deberá coordinar con la administración. Se definen las fechas en las cuales se procede con la auditoria energética. En el ANEXO 1 se presenta el calendario de mediciones.

4.2 DIAGNÓSTICO GENERAL EARME

4.2.1 REVISIÓN DE PLANOS ELÉCTRICOS

Se analizan los planos eléctricos correspondientes al edificio EARME Etapa 1 y 2. La alimentación de energía es suministrada por parte de la Empresa Eléctrica Quito. Se tiene un transformador trifásico INATRA de 500 kVA que alimenta las siguientes cargas:

- EARME Etapa 1.
- EARME Etapa 2.
- Taller Metalmecánica.
- Laboratorio de Metalúrgica.
- Bombas 1.
- Bombas 2.
- Reservas.

En el ANEXO 1 se presenta el diagrama unifilar del edificio.

4.2.2 DIAGNÓSTICO

El departamento de servicios generales se encarga de la inspección y corrección de posibles fallas en el sistema eléctrico. En los últimos periodos de inspección no se han encontrado fallas.

Acorde a los informes técnicos desarrollados periódicamente, se observa que los problemas eléctricos que presenta este edificio se basan en la falta de mantenimiento o reemplazo de algún equipamiento. Lo común es el reemplazo de lámparas defectuosas o totalmente dañadas así como los balastos electrónicos.

No se ha registrado ningún tipo de sobrecalentamiento o daño de equipos debido al sistema eléctrico. Tampoco se ha tenido daño en el sistema eléctrico o desconexión de carga en cualquiera de los pisos o aulas. Cada una de las etapas como sus respectivos pisos no presentan fallas reportadas por la administración en el sistema eléctrico.

4.3 LEVANTAMIENTO DE CARGA EARME

Se realiza el respectivo levantamiento de carga del edificio EARME Etapa 1 y 2. Se recorre cada uno de los pisos ubicados en ambas etapas, registrando todas las cargas que consumen energía eléctrica.

Al tratarse de un edificio inaugurado hace poco tiempo, las instalaciones eléctricas no han sufrido ningún tipo de cambio representativo respecto a lo estipulado en los planos eléctricos del edificio.

Para el levantamiento y análisis de la carga instalada en el EARME, se divide dicha carga en 5 grupos. Estos son:

1. Iluminación.
2. Fuerza.
3. Equipos de computación.
4. Control electrónico.
5. Extras.

Los valores de potencia de carga instalada se presentan en la Tabla 4.1.

Tabla 4.1 Potencia total por cada tipo de carga presente en el edificio EARME

Etapa	Iluminación	Fuerza	Equipo de comp.	Control electr.	Extras
ET1 [W]	108 518	86 830	99 741	5 602	10 323
ET2 [W]	94 649	55 530	26 241	0	2 700
% DEL TOTAL	41,5%	29,0%	25,7%	1,1%	2,7%
TOTAL [W]	203 167	142 360	125 982	5 602	13 023

Tabla 4.2 Potencia total instalada en el edificio ARME, Etapa 1 y 2

Total ET1 [W]	311 014
Total ET2 [W]	179 120
TOTAL EARME [W]	490 134

Los resultados de levantamiento de carga muestran que en la Etapa 1 tiene mayoritariamente la presencia de carga en iluminación, seguido de equipo de computación, fuerza, control electrónico y finalmente extras. Por otro lado, la Etapa 2 tiene presencia mayoritaria de iluminación (al igual que en la Etapa 1), seguido de fuerza, equipo de computación y extras. Se observa que el equipo de computación es la segunda carga representativa en la Etapa 1, mientras que en la Etapa 2 es la tercera carga representativa, después de la carga de fuerza.

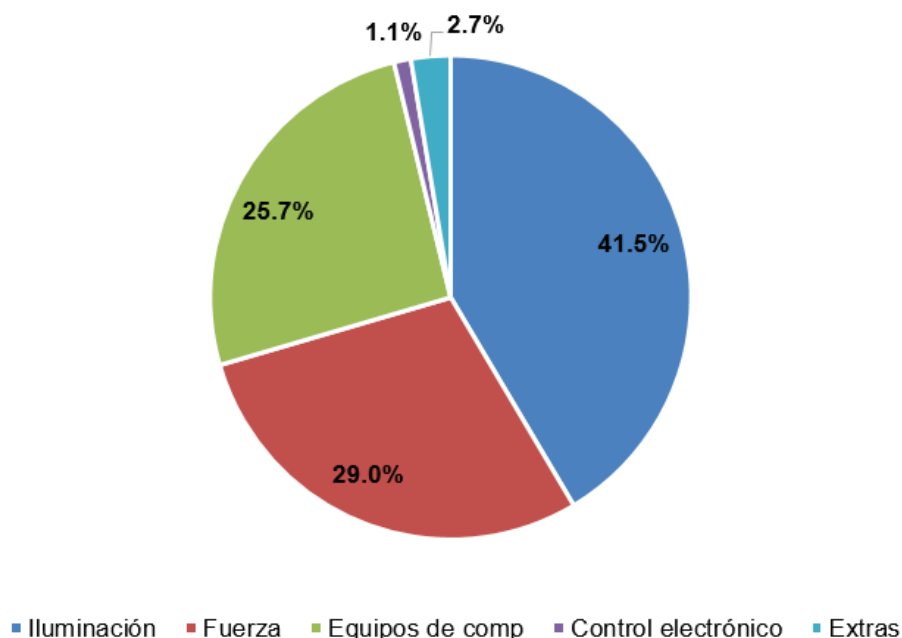


Figura 4.7 Porcentaje por tipo de carga instalada en el edificio EARME, Etapa 1 y 2

La iluminación es la carga mayoritaria en el edificio con 41,5%, le sigue la carga de fuerza con 29%, equipos de computación con 25,7% extras con 2,7% y finalmente control electrónico con una carga de 1,1%.

4.3.1 ILUMINACIÓN

El edificio universitario EARME cuenta con los siguientes tipos de iluminación: lámparas, focos ahorradores, dicróicos, led, lámparas de descarga de sodio.

Tabla 4.3 Carga total por tipo de luminaria del Edificio ARME, Etapas 1 y 2

Iluminación	ET1	ET2	Total	Porcentaje del Total
Lámparas fluorescentes –T8 [W]	52 028	57 152	109 180	53,7%
Focos ahorradores compactos [W]	39 440	11 867	51 307	25,3%
Dicroicos halógenos [W]	13 250	13 400	26 650	13,1%
LED [W]	0	730	730	0,4%
Lámparas de descarga de Sodio (NA) [W]	3 800	11 500	15 300	7,5%
TOTAL [W]	108 518	94 649	203 167	100,0%

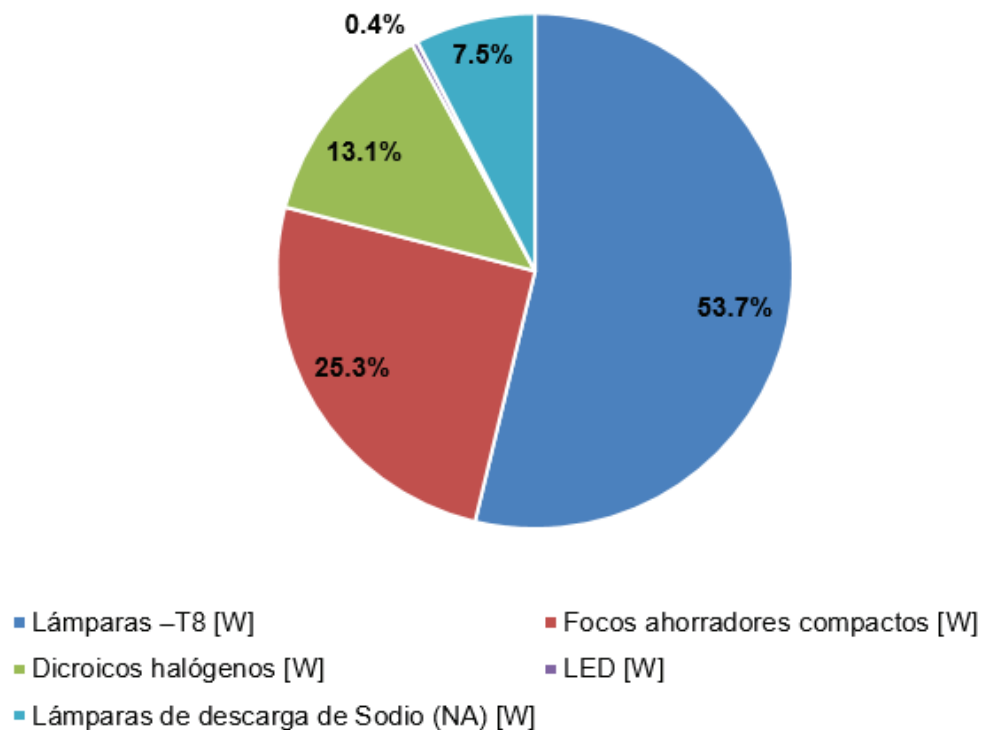


Figura 4.8 Porcentaje de carga instalada por tipo de iluminación en el edificio EARME, Etapa 1 y 2

Se observa que la carga de iluminación mayoritaria corresponde a lámparas fluorescentes tipo T8.

4.3.2 FUERZA

Las cargas correspondientes a esta categoría son las siguientes: ascensores y motores de ventilación.

La primera etapa cuenta con un total de 5 ascensores, mientras que la segunda etapa cuenta 4 ascensores. Por otro lado, se cuenta con motores para ventilación de subsuelos. La potencia total se muestra en la Tabla 4.4.

Tabla 4.4 Carga de fuerza total del Edificio EARME, etapas 1 y 2

Fuerza	ET1	ET2	TOTAL	Porcentaje del Total
Ascensores [W]	69 500	38 200	107 700	75,7%
Motores-Ventilación [W]	17 330	17 330	34 660	24,3%
Total Etapas [W]	86 830	55 530	142 360	100,0%

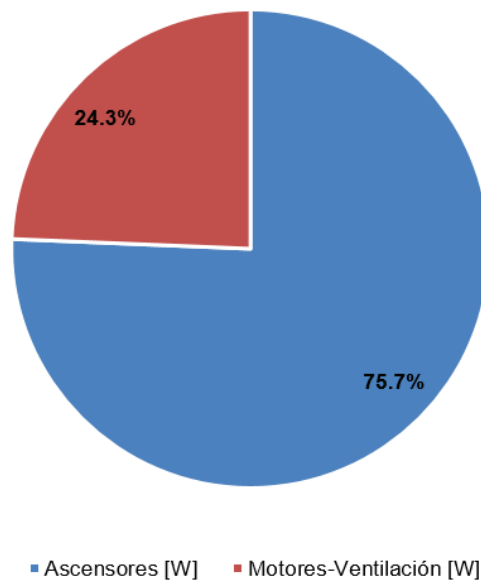


Figura 4.9 Porcentaje de carga instalada en fuerza edificio EARME, Etapa 1 y 2

Se observa que los ascensores representan una carga importante en el edificio. Los motores prestan servicio para ventilación de los parqueaderos, los mismos que se encuentran ubicados en los dos subsuelos de cada etapa. Además, existen dos circuitos correspondientes a bombas de agua que no son alimentados por los tableros principales en cuestión, sin embargo prestan servicios al edificio. Un grupo de motores representa una carga para la Etapa 1 de 16 500 W y para la Etapa 2 de 4 400 W. Se tiene bombas de agua contra incendios con carga de 7 500 W.

4.3.3 EQUIPOS DE COMPUTACIÓN

En esta categoría se incluyen múltiples equipos de computación y periféricos como: computadores, proyectores, impresoras, copadoras, máquinas registradoras, comunicaciones, entre otros.

Tabla 4.5 Carga de total de equipos de computación del Edificio EARME, Etapas 1 y 2

Equip. Computación	ET1	ET2	TOTAL	Porcentaje del Total
Computadoras [W]	74 850	12 000	86 850	68,9%
Proyección [W]	5 750	1 250	7 000	5,6%
Impresión [W]	12 991	12 991	25 982	20,6%
Otros [W]	6 150	-	6 150	4,9%
Total Etapas [W]	99 741	26 241	125 982	100,0%

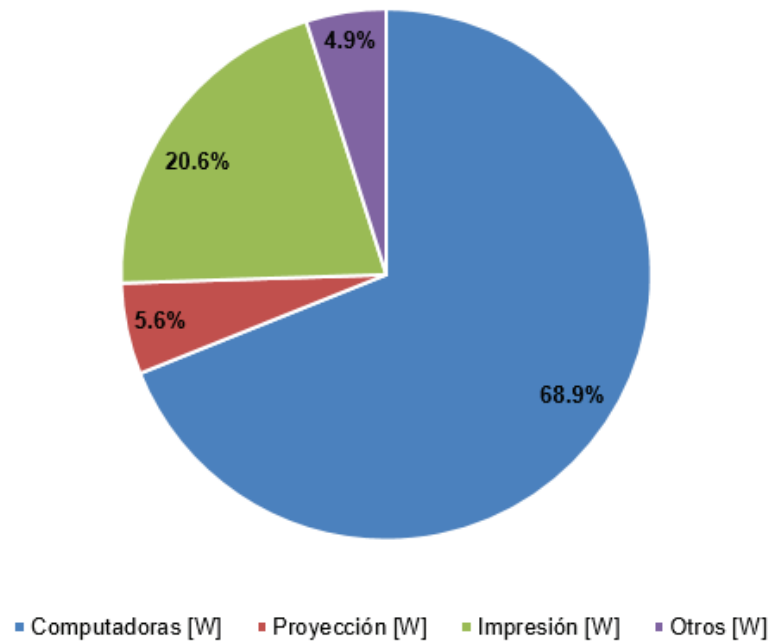


Figura 4.10 Porcentaje de carga instalada en equipos de computación edificio EARME, Etapa 1 y 2

4.3.4 CONTROL ELECTRÓNICO

El control electrónico incluye el siguiente tipo de cargas: parlantes, controladores de accesos, lectores de tarjetas, valla vehicular, cerraduras electromagnéticas, luces de salida y cámaras de vigilancia.

Tabla 4.6 Carga de total de equipos de control electrónico del Edificio EARME

	Control electrónico
TOTAL [W]	5 602

Este tipo de carga es minoritaria en el edificio, pero a su vez es de gran importancia para la seguridad y otros servicios.

4.3.5 EXTRAS

En este grupo general se incluyen cargas poco comunes encontradas en este edificio, tales como: televisores, hornos microondas, minicomponentes, entre otros.

Tabla 4.7 Carga de total de extras del Edificio EARME, etapas 1 y 2

Extras	
ET1 [W]	10 323
ET2 [W]	2 700
TOTAL[W]	13 023

4.4 DATOS HISTÓRICOS DE CONSUMO EARME

Con la información proporcionada por la administración del edificio se analiza el consumo histórico del edificio. Según la facturación de la EEQ, el número de suministro correspondiente al edificio es 1641664-9. El consumo promedio mensual desde agosto/13 hasta junio/14 es de 52 000 kWh.

De acuerdo a la planilla, la facturación corresponde a la tarifa “G14: Asistencia Social y Beneficio Público con Demanda”. Tarifa aplicada a consumidores: Asistencia social del estado y entidades de beneficio público del estado, servidos en baja y media tensión, con demanda.

La tarifa aplicada identifica consumos de potencia y energía en dos períodos horarios: 07h00-22h00 y 22h00-07h00. Con el objetivo de incentivar el uso de energía en las noches.

Los valores calculados son similares a los facturados. Por lo tanto, los valores cobrados en la factura están en concordancia con el pliego tarifario vigente a la fecha (junio/2014).

En este análisis se deja de lado la tasa de recolección de basura y tasas adicionales.

La EEQ realiza la medición desde el lado de alta tensión del transformador, por lo tanto los resultados mostrados de medición de energía corresponden a todas las cargas alimentadas por dicho transformador. Se presenta en el ANEXO 1 la facturación por parte de la EEQ y pliego tarifario vigente (Junio/2014).

4.5 EQUIPO DE MEDICIÓN EARME

Los equipos de medición que se utilizaron para la toma de datos son:

1. Analizador de redes marca Dranetz Power Xplorer.- Equipo que tomará datos de calidad de energía.
2. Luxómetro marca Leybold.- Equipo para tomar datos de iluminancia.
3. Multímetro marca Fluke- Equipo para tomar datos de corriente y voltaje.
4. Termómetro láser marca Fluke. Equipo para medir temperatura en conductores.

Los tableros principales tanto para la Etapa 1 y Etapa 2 se encuentran en el Subsuelo 2.

4.5.1 ANALIZADOR DE REDES

El equipo Dranetz es un poderoso analizador de redes que también cuenta con un software. El programa Dran View descarga la información registrada por el equipo Power Explorer para un posterior análisis de datos mediante tablas y gráficos.

Las sondas de medición son ubicadas en el tablero principal en cada una de las Etapas. Se toman datos con el equipo conectado en modo toma de registros a largo plazo.



Figura 4.11 Sondas de corriente conectadas en el tablero principal del edificio EARME Etapa 1

- **Configuración utilizada**

La configuración de la conexión es trifásica estrella. Para ello se debe conectar las pinzas de corriente en cada una de las tres fases y tierra. Así mismo se debe conectar las puntas de voltaje en cada una de las tres fases. Esta conexión se la realiza en el tablero principal de cada una de las etapas en cuestión. El diagrama de conexión al equipo “PowerXplorer PX5” se muestran en la Figura 4.12.

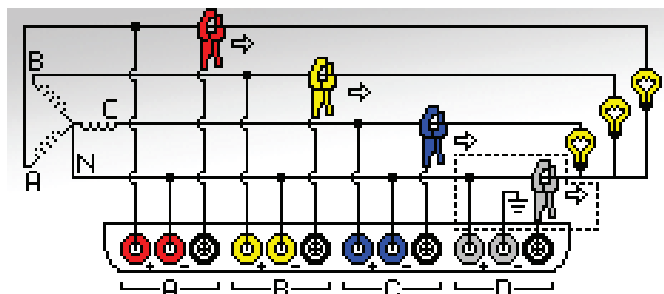


Figura 4.12 Diagrama de conexión al equipo “PowerXplorer PX5”

4.6 INDICADORES ELÉCTRICOS EARME

4.6.1 NIVEL DE VOLTAJE

Con el equipo analizador de redes se mide el voltaje como lo establece la metodología desarrollada en el capítulo 3.

Los perfiles de voltaje se muestran en el ANEXO 1.

- **Análisis de resultados ET1**

En el periodo analizado se observa que los perfiles de voltaje se mantienen entre los límites permitidos. Se toma como voltaje nominal 120 V, el rango aceptable según la regulación CONELEC 004/01 oscila entre 109-132 V.

Los resultados muestran los perfiles de voltaje por fase, donde el valor máximo es 129,7 V en la fase B el sábado (10/05/14) a las 22h10. Es decir, 8,1% de variación de voltaje. El voltaje mínimo es 119,02 V en la fase A, el miércoles (07/05/14) a las 13h40. Es decir, 0,82% de variación de voltaje.

Durante el 100% del tiempo de medición, el nivel de voltaje permanece dentro de los límites permitidos. Por lo tanto, el nivel de voltaje correspondiente a la etapa 1 cumple satisfactoriamente la regulación del CONELEC 004/01.

- **Análisis de resultados ET2**

Los resultados muestran los perfiles de voltaje por fase, donde el valor máximo es 129,44 V en la fase B el viernes (30/05/14) a las 22h30. Es decir, 7,9% de variación de voltaje. El voltaje mínimo es 121,08 V en la fase C el jueves (29/05/14) a las 10h00. Es decir, 0,9% de variación de voltaje.

Durante el 100% del tiempo de medición, el nivel de voltaje permanece dentro de los límites permitidos. Por lo tanto, el nivel de voltaje correspondiente a la etapa 2 cumple satisfactoriamente la regulación del CONELEC 004/01.

4.6.2 ÍNDICE DE SEVERIDAD DEL FLICKER

Con el equipo analizador de redes se obtiene los valores del índice de severidad de Flicker tal como lo establece la metodología desarrollada en el capítulo 3. A continuación se muestran los resultados obtenidos tanto de la etapa 1 como la etapa 2 del edificio EARME.

Tabla 4.8 Resultados de índice de severidad del Flicker de corta y larga duración del edificio EARME etapa 1

Parámetros		Valor medido	Límite	Conclusión
Flicker de corta duración (Pst)	Fase A	0,55	1,00	OK
	Fase B	0,54	1,00	OK
	Fase C	0,53	1,00	OK
Flicker de larga duración (Plt)	Fase A	0,58	1,00	OK
	Fase B	0,58	1,00	OK
	Fase C	0,56	1,00	OK

Tabla 4.9 Resultados de índice de severidad de Flicker de corta y larga duración del edificio EARME etapa 2

Parámetros		Valor medido	Límite	Conclusión
Flicker de corta duración (Pst)	Fase A	0,56	1,00	OK
	Fase B	0,55	1,00	OK
	Fase C	0,56	1,00	OK
Flicker de larga duración (Plt)	Fase A	0,60	1,00	OK
	Fase B	0,59	1,00	OK
	Fase C	0,60	1,00	OK

- **Análisis de resultados**

Se observa que el índice de severidad de Flicker de corta duración y larga duración no sobre pasa los límites establecidos en la etapa 1 y 2.

El valor máximo de Pst se obtiene en el edificio EARME etapa 1, con un valor de 0,56 en las fases A y C. El valor máximo de Plt se obtiene en el edificio EARME etapa 2, con un valor de 0,60 en las fases A y C. El valor máximo de Pst se obtiene en el edificio EARME etapa 2, con un valor de 0,56 en las fases A y C. El valor máximo de Plt se obtiene en el edificio EARME etapa 2, con un valor de 0,60 en las fases A y C. Los resultados son aceptables ya que muestran valores inferiores a 1 para Pst y Plt, dado por la regulación CONELEC 004/01.

4.6.3 CONTENIDO ARMÓNICO

Estos resultados muestran el valor eficaz de los armónicos individuales de voltaje y la distorsión armónica total de voltaje. Se obtiene datos desde la onda fundamental de voltaje hasta el armónico número 25.

En el ANEXO 1 se muestran los resultados tanto para el edificio EARME Etapa 1 y Etapa 2.

Los resultados obtenidos muestran el contenido del quinto armónico de voltaje es predominante, tanto en la Etapa 1 como en la Etapa 2 y en cada una de las fases ABC. El edificio EARME Etapa 1 presenta un contenido del quinto armónico máximo en la fase C, con un valor máximo de 5,33%. La Etapa 2 presenta un contenido armónico máximo en la fase C, con un valor máximo de 3,71%. En menor

proporción se encuentran el tercer y séptimo armónico de voltaje. Los resultados responden a la presencia mayoritaria de carga no lineal presente en el edificio EARME. El uso de lámparas fluorescentes, led, lámparas de descarga de sodio, convertidores para el funcionamiento de ascensores y demás carga no lineal instalada son la principal causa para que se presente este tipo de contenido armónico. Ningún valor de voltaje armónico individual sobrepasa los límites establecidos en la regulación CONELEC 004/01.

4.6.4 DESBALANCE DE VOLTAJE

En las tablas 4.10 y 4.11 se muestran los resultados de frecuencia y desbalance de voltaje obtenidos en las mediciones correspondientes al edificio EARME Etapa 1 y Etapa 2.

Tabla 4.10 Resultados de desbalance de voltaje en el edificio EARME Etapa 1

Parámetros		Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Límite	Conclusión
Desbalance de Voltaje	Fase A	0,7678%	1,37%	0,3838%	2%	OK
	Fase B	0,8498%	1,19%	0,6343%	2%	OK
	Fase C	0,1998%	0,40%	0,0273%	2%	OK

Tabla 4.11 Resultados de desbalance de voltaje en el edificio EARME Etapa 2

Parámetros		Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Límite	Conclusión
Desbalance de Voltaje	Fase A	0,1501%	0,372%	0,0233%	2%	OK
	Fase B	0,8117%	1,36%	0,544%	2%	OK
	Fase C	0,7096%	1,45%	0,334%	2%	OK

Los resultados correspondientes a la Etapa 1 muestran valores por debajo del 2%, la fase que presenta un mayor desbalance máximo es A con 1,37%.

Los resultados de desbalance de voltaje correspondientes a la Etapa 2, muestran valores que cumplen la normativa satisfactoriamente. El mayor desbalance máximo

de voltaje se registra en la fase C con 1,45%. Los resultados obtenidos son satisfactorios y cumplen con la regulación IEEE 1159.

4.6.5 FACTOR DE POTENCIA

En las tablas 4.12 y 4.13 se muestran los resultados de factor de potencia, las mediciones corresponden al edificio EARME Etapa 1 y Etapa 2.

Tabla 4.12 Factor de potencia por fase, edificio EARME Etapa 1

Parámetros		Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Límite	Conclusión
Factor de potencia	Fase A	0,992	0,998	0,979	0,92	OK
	Fase B	0,971	0,991	0,94	0,92	OK
	Fase C	0,97	0,985	0,949	0,92	OK

Tabla 4.13 Factor de potencia por fase, edificio EARME Etapa 2

Parámetros		Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Límite	Conclusión
Factor de potencia	Fase A	0,970	0,995	0,934	0,92	OK
	Fase B	0,983	0,997	0,956	0,92	OK
	Fase C	0,976	0,995	0,976	0,92	OK

Los resultados obtenidos cumplen satisfactoriamente con la normativa CONELEC 004/01. Los valores de factor de potencia tanto para la Etapa 1 y 2 muestran valores de factor de potencia superiores al límite de 0,92.

4.6.6 FRECUENCIA

Los resultados de frecuencia de voltaje son los siguientes:

Tabla 4.14 Resultados de frecuencia de voltaje en el edificio EARME Etapa 1

Parámetros	Valor medido	Límite	Conclusión
Frecuencia (Hz)	60,02	60±0,15	OK

Tabla 4.15 Resultados de frecuencia de voltaje en el edificio EARME Etapa 2

Parámetros	Valor medido	Límite	Conclusión
Frecuencia (Hz)	60,02	60±0,15	OK

Los resultados de frecuencia se encuentran en el rango permitido según la regulación CONELEC 006/00. Se obtiene un valor de 60,02 Hz en la frecuencia de la onda de voltaje, este resultado es satisfactorio.

4.6.7 ANÁLISIS DE CORRIENTE

El resultado de corriente por fase indica un desbalance de carga en cada de las fases. Se presenta una corriente máxima por el neutro de 98,84 A.

En la Tabla 4.16 se muestran los resultados obtenidos de corriente por fase de la Etapa 1.

Tabla 4.16 Valores eficaces de corriente en el edificio EARME ET1

Parámetros		Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Desbalance
Corriente [A]	Fase A	131	263,8	70,37	5,77%
	Fase B	102,7	265,8	45,56	6,58%
	Fase C	87,41	218,6	44,75	12,35%
	Fase D	47,66	98,84	24,5	-

La Etapa 2 presenta valores de corriente por el neutro de 45,54 A, este valor es menor que en la Etapa 1. En la Tabla 4.17 se muestran los resultados obtenidos de corriente por fase de la Etapa 2.

Tabla 4.17 Valores eficaces de corriente en el edificio EARME ET2

Parámetros		Promedio	Valor máximo	Valor mínimo	Desbalance
Corriente [A]	Fase A	44,84	123,6	17,56	2,03%
	Fase B	54,22	113,8	25,34	9,80%
	Fase C	56,46	141,1	18,78	11,84%
	Fase D	21,45	45,54	13,68	-

En el caso del presente estudio se debería reflejar dicho desbalance de voltaje en los datos tomados en el tablero principal, pero el desbalance de corriente no genera ningún desbalance de voltaje. Los resultados de calidad de voltaje para el edificio EARME son satisfactorios.

4.6.7.1 Temperatura y calibre de conductores.

La alimentación de fluido eléctrico al tablero principal de la Etapa 1 se da mediante 4 conductores calibre 250 MCM por fase.

Tabla 4.18 Conductores de alimentación de fluido eléctrico al tablero principal ET1

Parámetros	N° Conductores	Calibre	Cap de corriente [A]
Fase A	4	250MCM	255
Fase B	4	250MCM	255
Fase C	4	250MCM	255
Fase D	2	250MCM	540

Para la Etapa 2 se tiene la alimentación mediante 4 conductores calibre 1/0 por fase.

Tabla 4.19 Conductores de alimentación de fluido eléctrico al tablero principal ET2

Parámetros	N° Conductores	Calibre	Cap de corriente [A]
Fase A	4	1/0 AWG	150
Fase B	4	1/0 AWG	150
Fase C	4	1/0 AWG	150
Fase D	4	1/0 AWG	150

El tipo de cable utilizado es el TTU 2000V, el cual presenta los siguientes límites de corriente.

- Operación Normal 75°C
- Sobrecarga 130°C
- Cortocircuito 250°C

Tabla 4.20 Resultados de temperatura de conductores del tablero principal ET1

Parámetros	Corriente [A]	Temperatura medida [°C]	Temp Operación normal [°C]	Conclusión
Fase A	246,2	26,8	75	OK
Fase B	237,3	27,2	75	OK
Fase C	199,9	26	75	OK
Fase D	83,21	23,8	75	OK

Tabla 4.21 Resultados de temperatura de conductores del tablero principal ET2

Parámetros	Corriente [A]	Temperatura medida [°C]	Temp Operación normal [°C]	Conclusión
Fase A	130,1	20,8	75	OK
Fase B	142,3	21,2	75	OK
Fase C	87,8	20,8	75	OK
Fase D	50,1	20,4	75	OK

Los resultados de la temperatura de los conductores del tablero principal de la Etapa 1 y 2 muestran valores satisfactorios. Puesto que el calibre de los conductores es el adecuado para el paso de corriente, no se registra ningún problema sobre-temperatura en los conductores. El conductor del neutro tiene un calibre que es capaz de soportar la corriente actual de desbalance, tampoco se registra valores de calentamiento fuera de los límites adecuados.

4.7 DEMANDA Y CONSUMO ELÉCTRICO EARME

Se realizan las mediciones para establecer el perfil de consumo eléctrico del edificio EARME tanto para la Etapa 1 y 2. Los datos son recolectados a lo largo de 7 días continuos de acuerdo a la normativa especificada en el Capítulo 3.

Las aulas de la Etapa 1 son utilizadas en su mayoría por el departamento de lingüística y CEC. Según la carga horaria de cada una de las aulas se está entre las 07h00-20h00.

En el ANEXO 1 se observan las curvas de energía a lo largo del periodo analizado.

4.7.1 ANÁLISIS DE DEMANDA

Para la Etapa 1 se realizan las mediciones del 06-13 de mayo de 2014. Entre los días 06 y 09 de mayo de 2014, se registra una curva típica de clases regulares. Mientras, los días del 12-13 de mayo del 2014 corresponde a una curva típica de exámenes y pruebas. El horario de clases del CEC es 07h00-20h00, correspondientes al departamento de lingüística, mientras que el horario de laboratorios de computación ubicados en planta baja se extiende hasta las 21h00.

Desde las 06h40 se registra un aumento de la demanda de potencia hasta las 12h00 (28,04 kW). Desde las 14H00 inicia nuevamente al incremento de demanda hasta llegar a su **punto máximo a las 16h30 (90,78 kW)**. Desde las 19h30 inicia el descenso de la demanda desde 70 kW, hasta llegar a una potencia constante de 24,95 kW a las 23h00. Desde las 23h00 a 06h00 se registra una demanda de 25 kW constante. El fin de semana existe una demanda aproximadamente constante de 25 kW.

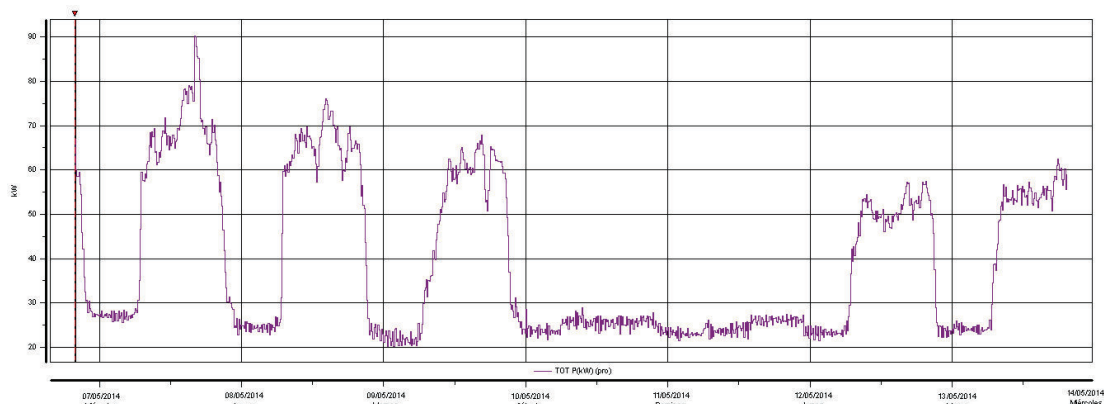


Figura 4.13 Perfil de demanda del edificio EARME Etapa 1

Los datos analizados para la Etapa 2 corresponden a la semana del 27-31 de mayo de 2014, se registra una curva típica de clases regulares. Mientras, la semana del 02-04 de Mayo del 2014 corresponde a una curva típica de exámenes y pruebas. Desde las 06h00 la demanda de potencia activa comienza su ascenso con una pendiente positiva hasta las 12h00 (30,5 kW). De 12h00 a 13h00 (23,8 kW) por el horario de almuerzo se observa un decremento de la demanda. Desde las 13h00 inicia nuevamente al incremento de demanda hasta llegar a su **punto máximo a las 18h00 (42,18 kW)**. A las 18h00 se llega al punto máximo de la demanda con 42,2 kW. Después de las 18h00 se registra un decremento de demanda hasta las 20h00 (32 kW). Después de las 20h00 se registra un decremento paulatino de la demanda hasta las 22h00. Desde las 22h00 a 06h00 se registra una demanda de 14 kW constante.

Se observa que el fin de semana existe una demanda con un pico de 23,5 kW a las 11h00. Los días sábados se tiene una menor concurrencia de estudiantes que un

día entre semana. El horario de clases de sábados se registra entre las 07h00 hasta 14h00.

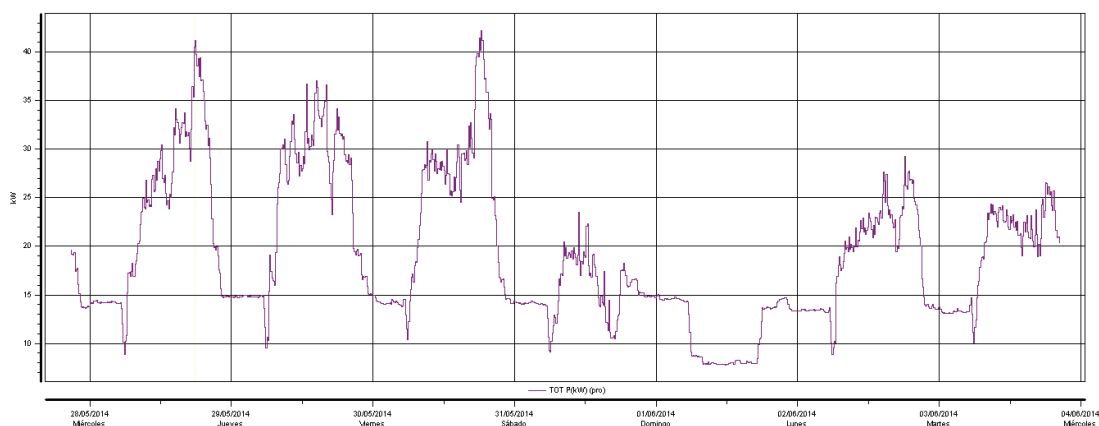


Figura 4.14 Perfil de demanda del edificio EARME Etapa 2

4.7.2 ANÁLISIS DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA

- **Consumo de energía eléctrica en la Etapa 1**

Según la tarifa G14 de la EEQ aplicada a este tipo de edificación se tiene los siguientes resultados de energía empleada en el periodo de punta (07h00-22h00) y en el periodo de valle (22h00-07h00).

La energía consumida a lo largo de un día de clases entre semana es de 1 237,16 kWh, con un costo de 74 US\$. En la Tabla 4.22 se observa la energía y costo del día miércoles 07 de Mayo de 2014.

Tabla 4.22 Energía diaria empleada en el edificio EARME Etapa 1, un día típico entre semana

Período- Entre semana	Energía [kWh]	Costo US\$
22h00-07h00	245,70	13
07h00-22h00	991,45	61
TOTAL	1 237,16	74

La energía consumida a lo largo de un día de fin de semana es de 597,29 kWh, con un costo de 35 US\$. En la Tabla 4.23 se observa la energía y costo del día sábado 10 de mayo de 2014.

Tabla 4.23 Energía diaria empleada en el edificio EARME Etapa 1, fin de semana

Período-fin de semana	Energía [kWh]	Costo US\$
22h00-07h00	211,36	11
07h00-22h00	385,93	24
TOTAL	597,29	35

A lo largo del periodo de 7 días se observa que la energía total empleada en la Etapa 1 es de 6 569,44 kWh, con un costo de 392 US\$

Tabla 4.24 Energía empleada en un periodo de 7 días en el edificio EARME Etapa 1

Período - semanal	Energía [kWh]	Costo US\$
22h00-07h00	1 551,73	81
07h00-22h00	5 017,70	311
TOTAL	6 569,44	392

- **Consumo de energía eléctrica en la Etapa 2**

Según la tarifa G14 de la EEQ aplicada a este tipo de edificación se tiene los siguientes resultados de energía empleada en el periodo de punta (07h00-22h00) y en el periodo de valle (22h00-07h00).

La energía consumida a lo largo de un día de clases entre semana es de 554,9 kWh, con un costo de 34 US\$. En la Tabla 4.25 se observa la energía y costo del día viernes 30 de mayo de 2014.

Tabla 4.25 Energía diaria empleada en el edificio EARME Etapa 2, un día típico entre semana

Período - entre semana	Energía [kWh]	Costo [US\$]
22h00-07h00	126,69	7
07h00-22h00	428,20	27
TOTAL	554,90	34

La energía consumida a lo largo de un día de clases de fin de semana es de 368,37 kWh, con un costo de 21 US\$. En la Tabla 4.26 se observa la energía y costo del día sábado 31 de mayo de 2014.

Tabla 4.26 Energía diaria empleada en el edificio EARME Etapa 2, fin de semana

Período – fin de semana	Energía [kWh]	Costo [US\$]
22h00-07h00	122,88	6
07h00-22h00	245,47	15
TOTAL	368,36	21

A lo largo del periodo de 7 días se observa que la energía total empleada en la Etapa 2 es de 3 205,03 kWh, con un costo de 190 US\$.

Tabla 4.27 Energía empleada en un periodo de 7 días en el edificio EARME Etapa 2

Período EARME ET2	Energía [kWh]	Costo US\$
22h00-07h00	879,36	46
07h00-22h00	2 325,66	144
TOTAL	3 205,03	190

- **Consumo de energía eléctrica total del edificio EARME.**

El consumo de energía de la Etapa 1 es aproximadamente el doble del consumo de la Etapa 2. La característica de consumo del edificio EARME Etapa 1 y Etapa 2, responde a un grupo típico de **consumo comercial**.

En la Tabla 4.28 se observa el consumo energía eléctrica semanal del edificio EARME.

Tabla 4.28 Energía total empleada en un periodo de 7 días en el edificio EARME

EARME	Energía [kWh]	Costo US\$
ET1	6 569,44	392
ET2	3 205,03	190
TOTAL	9 774,47	582

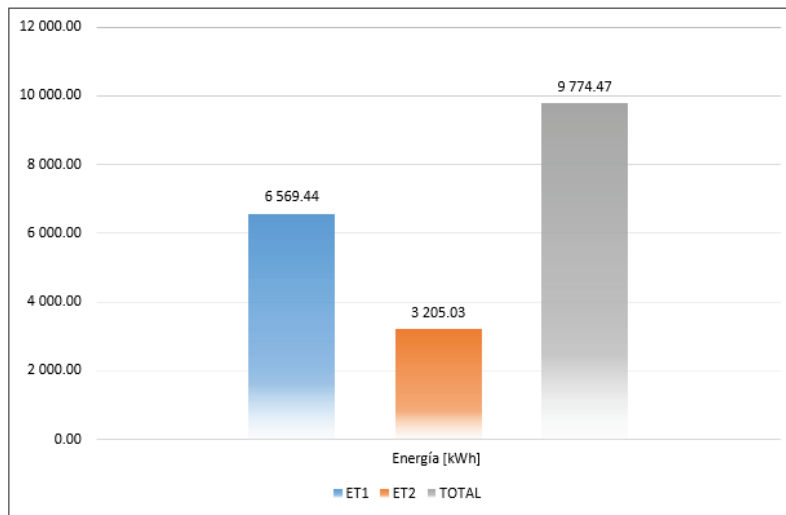


Figura 4.15 Energía total empleada en un periodo de 7 días en el edificio EARME

4.7.3 ESTIMADO ANUAL DE CONSUMO DE ENERGÍA

De acuerdo con el cronograma anual de clases se establece que el período de uso anual de la instalación universitaria es de 9 meses y 3 meses de receso. A continuación se presenta el total de energía anual consumida por el edificio EARME Etapa 1 y 2 y el costo anual que representaría dicho consumo energético.

Tabla 4.29 Consumo y costo anual de energía del edificio ARME

Período	Total energía anual [kWh/año]	Gasto anual en energía EARME [US\$]
Anual	525 313,89	32 060,00

4.8 ANÁLISIS DE ILUMINACIÓN EARME

El levantamiento de carga instalada en el edificio muestra que el tipo de carga representativa es la iluminación, tanto en la Etapa 1 y 2.

Este edificio cuenta con cinco tipos de iluminación, estos son: lámparas fluorescentes, focos ahorradores, dicróicos, led y lámparas de descarga de sodio. Se detallan las especificaciones de cada tipo de iluminación utilizada en el edificio EARME en el ANEXO 1.

4.8.1 RESULTADOS DE ILUMINACIÓN

En este apartado se muestran resultados de: Iluminancia media horizontal (E_m), valor de eficiencia energética en iluminación (VEEI) y uniformidad de iluminación (U). En el capítulo 3 se especifican los valores límite con los que debe cumplir este edificio, se utilizará la metodología propuesta.

Se ubican las zonas modelo, mismas que se replican en varios pisos del edificio EARME. De un total de 76 aulas, 57 aulas son de 20 alumnos, es decir el 75%, por ese motivo se ha tomado el modelo de aula de 20 estudiantes.

La selección de estas zonas corresponde a un modelo general. Se ha tomado las siguientes zonas de estudio:

- Aula 20 estudiantes (iluminación artificial-natural)
- Auditorio
- Laboratorio de computación
- Pasillos
- Oficinas

4.8.1.1 Aula 20 estudiantes, sin iluminación natural

El edificio EARME cuenta con varias aulas que debido al diseño arquitectónico no tienen acceso de iluminación natural. La fuente de iluminación para este tipo de aulas es iluminación artificial. Se las considera como zona de no representación.

A continuación se presenta un ejemplo de cálculo con su posterior análisis conforme a las normas pertinentes.

Datos generales:

Aula N°: 314

Horario de clase: 07h00-20h00

Dimensiones: 9.5x5x3 [m], Largo(a)XAncho(b)XAlto(H) [m].

Plano de trabajo: $h'=0,8$ [m]

Cálculos:

Altura de luminaria al plano de trabajo, h :

$$h = H - h' \quad (4.1)$$

$$h = 3 - 0,8 \quad (4.2)$$

$$h = 2,2 \text{ [m]} \quad (4.3)$$

Índice del local k :

$$k = \frac{a \cdot b}{(h)(a + b)} \quad (4.4)$$

$$k = \frac{5 \cdot 9,5}{(2,2)(5 + 9,5)} = 1,48 \approx 1 \quad (4.5)$$

$$k = 1 \quad (4.6)$$

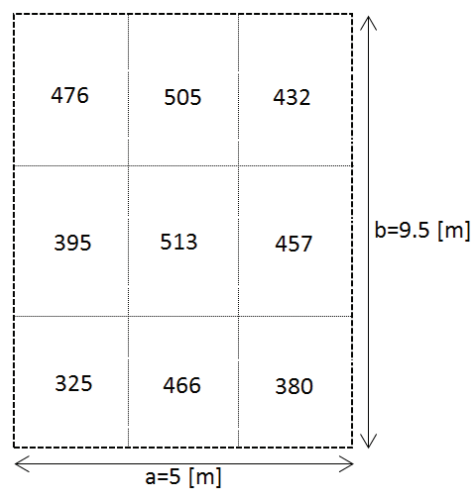
Número mínimo de puntos de medición N :

$$N = (k + 2)^2 \quad (4.7)$$

$$N = (1 + 2)^2 \quad (4.8)$$

$$N = 9 \quad (4.9)$$

Como mínimo se debe tomar 9 medidas.



- **Cálculo de iluminancia media:**

$$E_m = \frac{476 + 505 + 432 + 395 + 513 + 457 + 325 + 466 + 380}{9} \quad (4.10)$$

$$E_m = 439[\text{lux}] \quad (4.11)$$

$E_m < 500[\text{lux}] \therefore$ no cumple normativa UNE – En 12464 – 1

- **Uniformidad de iluminancia:**

$$U = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad (4.12)$$

$$E_{\min} = 325[\text{lux}] \quad (4.13)$$

$$U = \frac{325}{439} \quad (4.14)$$

$$U = 0,74 \quad (4.15)$$

$U \geq 0,7 \therefore$ cumple normativa UNE – En 12464 – 1

- **Iluminación eficiente VEEI:**

En el edificio EARME un aula de 20 estudiantes representa la siguiente carga instalada en iluminación:

Luminarias:

$$P_{\text{lámparas}} = 6 \times 96W = 576[W] \quad (4.16)$$

$$P_{\text{dicroicos}} = 3 \times 50W = 150[W] \quad (4.17)$$

$$P_{\text{iluminación}} = P_{\text{lámparas}} + P_{\text{dicroicos}} \quad (4.18)$$

$$P_{\text{iluminación}} = 726 [W] \quad (4.19)$$

Superficie:

$$a = \text{ancho} = 5 [m^2]$$

$$b = \text{largo} = 9,5 [m^2]$$

$$S = a \times b \quad (4.20)$$

$$S = 5 \times 9,5 \quad (4.21)$$

$$S = 47,5 [m^2] \quad (4.22)$$

Cálculo de VEEI:

$$VEEI = \frac{\text{Piluminación} \times 100}{S_i \times E_m} \quad (4.23)$$

$$VEEI = \frac{726 \times 100}{47,5 \times 439} \quad (4.24)$$

$$VEEI = 3,48 \left[\frac{W}{m^2} \right] \quad (4.25)$$

$VEEI \leq 4 \therefore$ cumple normativa INEN 2506

Tabla 4.30 Resultados de iluminación en aula de 20 estudiantes, sin iluminación natural

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Aula 313 (sin iluminación natural)	Em [lux]	439	mín 500	No cumple
	U	0,74	>0,7	OK
	VEEI [W/m²]	3,48	≤4	No cumple*

*Para cumplir la normativa de VEEI debe cumplir Em.

- **Análisis de resultados:**

La iluminancia media presenta valores de 439 lux, resultado que no cumple la norma UNE 12464-1. La iluminancia media para aulas debe permanecer sobre los 500 lux, cualquier resultado por debajo de dicho valor representa un déficit de iluminación. La uniformidad de iluminancia muestra resultados satisfactorios y cumplen la norma UNE 12464-1, la cual determina valores superiores a 0,7.

El horario de estas aulas se registra entre las 07h00-20h00. Puesto que esta instalación no cuenta con entrada de luz natural.

4.8.1.2 Aula 20 estudiantes, con iluminación natural + iluminación artificial

En este caso se analiza un aula en la cual se presente el uso de iluminación natural más la iluminación artificial.

El edificio EARME cuenta con 57 aulas con capacidad para 20 estudiantes con acceso a iluminación natural. Este tipo de **aulas representa el 72% del total** de aulas en el edificio EARME.

Tabla 4.31 Resultados de iluminación en aula de 20 estudiantes, Iluminación natural + artificial

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Aula 310 (Iluminación natural + artificial)	Em [lux]	1327	mín 500	OK
	U	0,6	>0,7	No cumple
	VEEI [W/m²]	1,15	≤4	OK

- **Análisis de resultados:**

La iluminancia media presenta valores de 1327 lux, resultado que cumple satisfactoriamente la norma UNE 12464-1. La iluminancia media para aulas debe permanecer sobre los 500 lux, cualquier resultado por debajo de dicho valor representa un déficit de iluminación. La uniformidad de iluminancia muestra resultados por debajo de 0,7 no cumpliendo con la norma UNE 12464-1. El indicador de iluminación eficiente (VEEI) muestra un resultado satisfactorio de 1,15 W/m².

Un aula del edificio EARME con la presencia de iluminación exterior presenta mejores indicadores de iluminación eficiente e iluminancia que un aula que no tiene aporte de iluminación exterior. Por ese motivo es importante que arquitectónicamente se diseñe un aula con fuentes de luz natural, ya que contribuyen al uso eficiente de la iluminación dentro del aula.

El horario de estas aulas se registra entre las 07h00-20h00. Estos resultados son obtenidos en condición atmosférica soleada, con hora 10h00.

Se debe evitar valores de iluminación que sobrepasen los 2 000 lux, ya que puede causar fatiga visual al personal según la regulación Española NPT 211.

4.8.1.3 Aula 20 estudiantes, iluminación natural

Se analiza el aula 310, en ese caso no se enciende ninguna luminaria y se mide únicamente la fuente de iluminación natural dentro del aula.

Tabla 4.32 Resultados de iluminación en aula de 20 estudiantes, iluminación natural

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Aula 310 (solo iluminación natural)	Em [lux]	1273	mín 500	OK
	U	0,28	>0,7	No cumple
	VEEI [W/m ²]	-	≤4	No aplica

- **Análisis de resultados:**

La iluminancia media es de 1 273 lux, es decir mayor a lo que establece la normativa (500 lux), pero los resultados de uniformidad son críticos ya que se presenta alta iluminancia en lugares cercanos a la ventana (promedio 3 000 lux) y baja iluminancia en el otro extremo del aula (promedio 400 lux), los resultados muestran un valor de uniformidad de 0,28, muy por debajo del valor límite 0,7 según la norma UNE 12464-1. Además, genera alto contenido de sombras debido a que la fuente de la iluminación natural proviene de la ventana. Estos resultados son obtenidos en condición atmosférica soleada, con hora 10h00.

Por dichas razones, un aula de estas características no presta el confort necesario para su uso. Los resultados finales no son satisfactorios en este tipo de aula del edificio ARME, así que no se recomienda el uso exclusivo de iluminación natural.

4.8.1.4 Iluminación en el pizarrón

Las aulas de clase además del plano de trabajo horizontal (mesas), presenta un plano perpendicular correspondiente al pizarrón.

Se toma medidas de iluminancia en el plano del pizarrón (perpendicular).

Tabla 4.33 Resultados de iluminación sobre el pizarrón

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Pizarrón	Em [lux]	411	mín 500	No cumple

- **Análisis de resultados:**

El valor mínimo de iluminancia es de 500 lux según la regulación UNE 12464-1. Los resultados muestran un valor de iluminancia media de 411 lux sobre el plano del pizarrón, resultados que no son satisfactorios.

4.8.1.5 Auditorio

El edificio EARME cuenta con 2 auditorios que presentan únicamente iluminación artificial. Se analiza el auditorio correspondiente a la Etapa 2, con capacidad para 140 personas.

Tabla 4.34 Resultados de iluminación en el auditorio de la Etapa 2

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Auditorio Etapa 2	Em [lux]	808	mín 500	OK
	U	0,76	>0,7	OK
	VEEI [W/m ²]	1,24	≤4	OK

- **Análisis de resultados:**

El valor mínimo de iluminancia es de 500 lux según la regulación UNE 12464-1. Los resultados muestran un valor de iluminancia media de 816 lux, es decir que son satisfactorios. Se tiene valores aceptables de uniformidad de iluminancia, sobre 0,76 cumpliendo con la regulación UNE 12464-1. Los resultados indican que se usan equipos eficientes de iluminación, se tiene VEEI=1,24 W/m², se cumple con la normativa INEN 2506, es decir un valor de VEEI inferior a 4 W/m².

4.8.1.6 Laboratorio de computación

El edificio EARME cuenta con múltiples laboratorios de computación. En este apartado se analiza la iluminación del laboratorio "LAB 006".

Tabla 4.35 Resultados de iluminación del laboratorio - LAB 006

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Laboratorio de computación LAB006	Em [lux]	410	mín 300	OK
	U	0,84	>0,7	OK
	VEEI [W/m ²]	3,13	≤4	OK

- **Análisis de resultados:**

Según la regulación UNE 12464-1, el valor mínimo de iluminancia es de 300 lux, se tiene una iluminancia media de 410 lux. Los resultados de uniformidad de iluminancia son también satisfactorios, cumpliendo con la mencionada regulación.

Se usan equipos eficientes de iluminación ya que se cumple con la normativa INEN 2 506 y se tiene un VEEI de 3,13 W/m².

4.8.1.7 Pasillos

El edificio EARME cuenta con un solo pasillo central en cada piso.

Cada Etapa cuenta con diferente diseño de iluminación. En la Etapa 1 se presenta dos lámparas fluorescentes de 26 W por cada punto de iluminación. Mientras que en la Etapa 2 se tiene una lámpara fluorescente de 26W.

Arquitectónicamente los pasillos presentan una mínima iluminación natural. La principal fuente lumínica es la proporcionada por las lámparas fluorescentes.

Tabla 4.36 Resultados de iluminación en pasillos, Et 1 y Et 2, 4to piso

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Pasillo ET1 4to Piso	Em [lux]	81	mín 100	No cumple
	U	0,67	>0,7	No cumple
	VEEI [W/m ²]	9,48	≤4	No cumple
Pasillo ET2 4to Piso	Em [lux]	80	mín 100	No cumple
	U	0,68	>0,7	No cumple
	VEEI [W/m ²]	7,26	≤4	No cumple

- **Análisis de resultados:**

Los valores de iluminancia media, uniformidad de iluminancia y el valor de eficiencia energética en iluminación presentan resultados que incumplen las normativas respectivas.

Tanto en el pasillo de la Etapa 1 y 2 se observa un alto consumo energético en iluminación. Al comparar los resultados de VEEI de la Etapa 1 y Etapa 2, se encuentra que el mayor índice de ineficiencia energética en iluminación se presenta en la Etapa 1. La potencia requerida en iluminación de pasillos en la Etapa 1 es el doble de la requerida en Etapa 2, pero se obtienen similares resultados de iluminancia media y ninguna de las dos Etapas cumple con la normativa UNE 12464-1 (mín 100 lux).

Los resultados correspondientes a los pasillos del piso 4 del edificio EARME no presentan resultados satisfactorios, reflejando un diseño energético ineficiente. Posteriormente se analizarán las propuestas de mejora pertinentes.

4.8.1.8 Oficinas

El área de oficinas se concentra en la planta baja del edificio. Se toma mediciones de iluminación en las oficinas del departamento de lingüística y CEC, ubicadas en la Etapa 1.

El horario de uso de las oficinas está entre las 08h00-17h00. Razón por la cual se hace la medición de iluminancia en horario de oficina. Se toma mediciones de luz natural acompañada de la iluminación artificial.

Tabla 4.37 Resultados de iluminación en oficinas

Descripción	Valores	Resultados	Normativa	Conclusión
Oficinas CEC PB	Em [lux]	564	mín 500	OK
	U	0,93	>0,7	OK
	VEEI [W/m2]	1,47	≤4	OK

- **Análisis de resultados:**

A diferencia de las aulas, las oficinas por diseño presentan algún tipo de separación entre cada área de trabajo, generando sombras e interrumpiendo el flujo luminoso que proviene de un área cercana. El diseño de iluminación debe garantizar que cada puesto de trabajo cuente con los correctos niveles de iluminancia.

Las oficinas del CEC ubicadas en la planta baja de la primera Etapa presentan resultados que cumplen satisfactoriamente la normativa, como se observa en la tabla de resultados.

4.8.2 ÍNDICE DEL RENDIMIENTO Y TEMPERATURA DEL COLOR

Se analiza el índice del rendimiento y temperatura del color acorde a las especificaciones técnicas de cada luminaria presente en el edificio EARME.

Tabla 4.38 Índice de rendimiento y temperatura del color en diferentes zonas EARME

Descripción	Tipo de iluminación	Temperatura del color [K]	IRC	Normativa IRC	Conclusión
Aulas 20 estudiantes	Fluorescente -T8	6 500	70-79	>80	No cumple
Pizarrón	Dicroico-Halógeno	2 700	>95	>80	OK
Auditorio	Reflector-Sodio	6 500	70-79	>80	No cumple
Laboratorio de computación	Fluorescente -T8	6 500	70-79	>80	No cumple
Pasillos	Lámpara compacta	6 500	80-89	>80	OK
Oficinas	Fluorescente -T8	6 500	70-79	>80	No cumple

Los resultados muestran que las aulas de 20 estudiantes, auditorio, laboratorio de computación y oficinas tienen un IRC por debajo de lo que se especifica en la guía (IRC > 80). En caso de recambio de luminarias se deberá considerar que el IRC sea mayor a 80.

4.8.3 SISTEMA DE CONTROL DE ILUMINACIÓN AULAS EARME

El sistema de control de iluminación de las diferentes zonas del edificio EARME presentan un diseño adecuado, acorde a criterios de aprovechamiento de luz natural y eficiencia energética.

Las aulas presentan tres circuitos para control de iluminación y son los siguientes:

1. Circuito 1.- 4 luminarias cercanas a la ventana. Control por interruptor manual.
2. Circuito 2.- 2 Luminarias alejadas de la ventana. Control por interruptor manual.
3. Circuito 3.- Iluminación hacia el pizarrón. Control por potenciómetro.

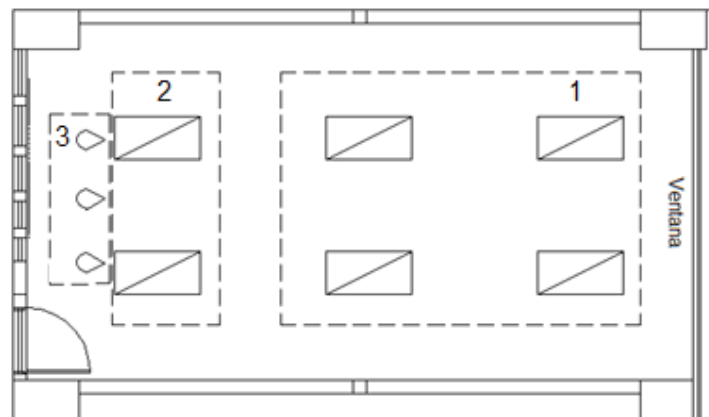


Figura 4.16 Circuitos del sistema de control de iluminación en aulas del edificio EARME

La iluminación en pasillos, baños, oficinas y otras de zonas de la edificación presentan control del sistema de iluminación mediante interruptores los mismos que se encuentran zonificados adecuadamente. No se justifica el uso de sensores de presencia debido al uso continuo que se tiene en la edificación.

4.9 FACTOR DE EMISIÓN ANUAL DE CO2 EN EL EDIFICIO ARME

Según el último informe anual del ministerio de electricidad y energía renovable respecto a factor de emisión de CO2 se tiene. "El factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado al año 2012, combinado para proyectos termoeléctricos e hidroeléctricos es de 0,4850 tCO2/MWh". [24]

La tabla 4.39 muestra la emisión de CO2 anual equivalente al consumo total de energía que requiere el edificio EARME.

Tabla 4.39 Energía total y emisiones equivalentes anuales de CO2 del edificio ARME

Período	TOTAL ENERGÍA ANUAL [kWh/año]	Emisión CO2 anual [Ton]
TOTAL	525 313,89	254,78
ET1	352 596,61	171,01
ET2	172 717,29	83,77

4.10 OPORTUNIDADES DE MEJORA Y AHORRO ENERGÉTICO EARME

4.10.1 MEDIDAS TECNOLÓGICAS

Después del análisis de todos los indicadores obtenido en el edificio EARME Etapa 1 y 2 se procede con la aplicación de medidas tecnológicas acorde a la normativa con la que se compararon los resultados.

Los resultados muestran un déficit en el sistema de iluminación del edificio de aulas y pasillos. A continuación, se realizan las respectivas propuestas de solución con el fin de solventar los problemas encontrados en iluminación. Se propone cambiar luminarias a tecnología eficiente led en:

- Aulas
- Pasillos

4.10.1.1 Rediseño de iluminación en el edificio ARME

- Rediseño de iluminación de AULAS.

Con el objetivo de que el rediseño de iluminación presente una mínima afectación en la estructura arquitectónica de la edificación se propone utilizar la misma ubicación de las luminarias actuales. Además, un recambio de tipo de luminaria en las siguientes áreas: aulas de 20 estudiantes y pasillos.

En la actualidad, la iluminación led presenta varias bondades y mejoras que están desplazando el uso de iluminación fluorescente. Gracias al continuo desarrollo de la iluminación led varios fabricantes a nivel mundial presentan al mercado opciones para el recambio de luminarias T8 por luminarias led. A continuación se presenta las ventajas y desventajas que presenta este tipo de tecnología.

Tabla 4.40 Ventajas y desventajas de la iluminación led.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> ✓ Menor consumo energético que anteriores tecnologías ✓ Vida útil > 50000h ✓ Arranque inmediato < 0,5seg ✓ Amplia gama de tonos 3000 - 7500 K ✓ No necesita balastro ✓ Menor generación de calor ✓ Alto índice de reproducción cromática IRC ✓ Flujo lumínico direccionado ✓ Robustez frente a vibraciones y golpes ✓ Se necesita menos CO2 para suministrar la energía de la luminaria ✓ Libres de mercurio y tóxicos, normativa RohS ✓ Menor contaminación lumínica ✓ No produce radiación ultravioleta ni infrarroja ✓ Es reciclable 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Altos costos de luminarias frente a anteriores tecnologías ➤ No resiste altas temperaturas > 65° ➤ Requiere disipadores térmicos

Fuente: Citada en “Ventajas y Desventajas de la Tecnología LED” 2014. [25]

Con la ayuda del programa DIALux evo 4, se realiza la simulación de las luminarias propuestas.

- **Iluminación Aulas de 20 estudiantes**

Se propone dos tipos de luminarias para las aulas del edificio EARME: tubos T8-led y MR16-led. Se detallan las especificaciones de cada tipo de iluminación en el ANEXO 1.

Tabla 4.41 Total de tubos led y potencia requerida en cada aula de 20 estudiantes

Datos	Unidades de luminarias	P unitaria [W]	Total [W]
Total Luminarias T8-Led	18	20	360
Total Luminarias MR16-Led	3	6,5	19,5
Potencia total en luminarias	-	-	379,5

Tabla 4.42 Resultados de iluminación para aula de 20 estudiantes

Descripción	Valores	Resultados		Normativa	Conclusión propuesta
		Actual	Propuesta		
Aula de 20 estudiantes	Em [lux]	439	592	mín 500	OK
	Em-pizarrón [lux]	411	621	mín 500	OK
	U	0,74	0,87*	>0,7	OK
	VEEI [W/m2]	3,48	1,16	≤4	OK

*Valor de uniformidad de iluminancia correspondiente a 9 medidas de Em.

Los resultados de iluminancia media cumplen con la normativa satisfactoriamente ya que es mayor a 500 [lux]. El resultado de VEEI refleja que la iluminación LED es más eficiente que la iluminación actual, ya que se tiene un VEEI de 1,16 W/m2 en LED y la iluminación actual tiene un VEEI de 3,48 W/m2.

La iluminación en el pizarrón es satisfactoria ya que pasa de 411 lux a un valor de 621 lux.



Figura 4.17 Vista, simulación de aula de 20 estudiantes con iluminación LED

- **Iluminación para pasillos EARME.**

Los resultados de la simulación con las luminarias propuestas cumplen satisfactoriamente con la normativa UNE-12464-1. En la Tabla 4.43 se presenta los resultados de iluminancia media para el pasillo de la Etapa 1, tercer piso.

Tabla 4.43 Total de luminaria led y potencia requerida para el pasillo del piso 3, primera Etapa

Datos	Unidades de luminarias	Potencia unitaria [W]	Total [W]
Total paneles -Led	31	20	620

Tabla 4.44 Resultados de iluminación para el pasillo de la Etapa 1, 4to piso.

Descripción	Valores	Resultados		Normativa	Conclusión propuesta
		Actual	Propuesta		
Pasillo Etapa 1, 4to piso	Em [lux]	81	365	mín 500	OK
	U	0,67	0,8*	>0.7	OK
	VEEI [W/m2]	9,48	0,72	≤4	OK

*Valor de uniformidad de iluminancia correspondiente a 27 medidas de Em.

Los resultados de iluminancia media cumplen con la normativa satisfactoriamente. El resultado de VEEI refleja que este tipo de iluminación es eficiente ya que es menor a 4 W/m2.



Figura 4.18 Vista, simulación del pasillo de la Etapa 1, 4to piso con iluminación LED

El reporte total de la simulación de iluminación en aulas y pasillos se encuentra en el ANEXO 2.

En el capítulo 5 se realiza el análisis económico de la propuesta de iluminación LED para el edificio EARME.

4.10.2 MEDIDAS ADMINISTRATIVAS

4.10.2.1 Recomendaciones para manejo eficiente de equipos.

- **Adquisición de equipos eficientes.**

Actualmente, existe una etiqueta energética en varios equipos eléctricos disponibles en el mercado, con el fin de que el consumidor pueda comparar la eficiencia energética de cada uno.

En general se recomienda que para las futuras adquisiciones de equipos eléctricos/electrónicos se tome en cuenta la normativa y etiquetado vigente con el fin de seleccionar el equipo más eficiente existente en el mercado.

La compra de equipos debe estar alineada con el plan de normalización y etiquetado vigentes en el Ecuador. El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) en trabajo conjunto con el INEN y COMEX, son organismos públicos que se han encargado de promover el uso de equipos eficientes. En la actualidad, se tiene normativa para el uso de equipo eficiente en Ecuador. [26]

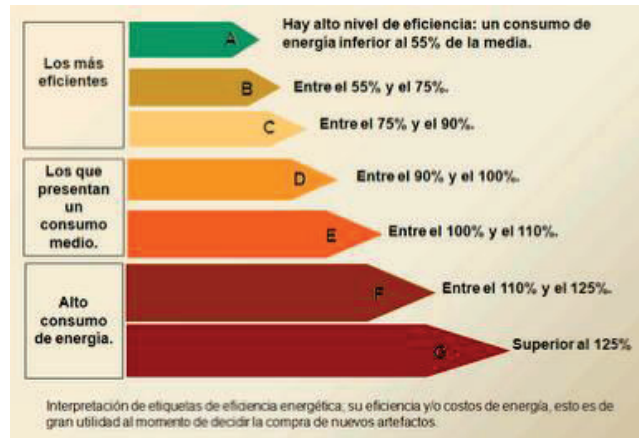


Figura 4.19 Interpretación de etiquetado energético. Etiqueta comparativa.

Fuente: Citada en “Plan de normalización y etiquetado” 2014. [26]



Figura 4.20 Etiqueta de reconocimiento.

Fuente: Citada en “Plan de normalización y etiquetado” 2014. [26]

Existen equipos que no tienen normativa o etiquetado nacional, pero es posible adoptar etiquetas internacionales de equipos eléctricos. Por ejemplo “energy star” es un estándar internacional para productos de consumo eficiente de origen estadounidense. A través del estándar “energy star” es posible encaminar la compra o reemplazo de equipo eficiente como: computación, periféricos, servidores, sistemas de enfriamiento, entre otros. [27]



Figura 4.21 Etiqueta “energy star”, es utilizada en equipos energéticamente eficientes.

Fuente: Citada en “energy star” 2015. [27]

- **Mantenimiento de equipos y luminarias.**

Se debe designar personal encargado del mantenimiento de equipos y luminarias. La ejecución de mantenimiento y revisión de equipos eléctricos ayudará con la detección de equipo en mal funcionamiento, bajo rendimiento y problemas eléctricos de la instalación en general. La falta de mantenimiento puede ser causante de daños en el sistema eléctrico o alto consumo energético por falla en los equipos eléctricos.

El mantenimiento de luminarias en un edificio de estas características es de vital importancia ya que más del 40% de potencia instalada se debe a este tipo de carga. Además, se debe garantizar que toda la iluminación esté funcionando correctamente para obtener los niveles de luminancia aceptables para cada zona de la instalación.

- **Uso eficiente de equipos eléctricos.**

El equipamiento eléctrico presente en la instalación debe garantizar el confort de los usuarios, pero en periodos de descanso o no-uso de los mismos se puede recurrir a un modo de bajo consumo o apagado de dichos equipos eléctricos. Equipos actuales tienen la función de “ahorro de energía”, o apagado automático ante largos períodos de desuso.

De los equipos presentes en el edificio EARME, los siguientes pueden ser configurados en modo “ahorro de energía” o deberán ser apagados en caso de no usarlos.

- Computadores
- Monitores
- Equipo de proyección
- Impresoras

En el caso de ascensores se deberá promover el uso adecuado de este servicio. Se deberá promover el uso de gradas para distancias cortas. También la colaboración para que se use un mismo ascensor para varias personas en vez de que una persona vaya en un ascensor diferente.

- **Charlas de concientización sobre el uso racional de la energía.**

Se debe realizar charlas de concientización y capacitación sobre el uso racional de la energía dirigido a todo el personal que ocupa las instalaciones del edificio ARME. El compromiso de ahorro energético se debe plasmar como un trabajo en conjunto de: profesores, estudiantes y personal administrativo. Se deberá concientizar sobre el uso racional de luminarias, ascensores y demás equipos que sirven a la institución.

4.10.2.2 Comité de eficiencia energética

Según el decreto ejecutivo 1681, el gobierno ecuatoriano por medio del ministerio de electricidad y energía renovable promueve el uso de prácticas de eficiencia energética en instituciones administradas por el estado con el fin de obtener menores egresos fiscales y ayudar en la disminución de emisiones de CO2.

A continuación se presenta un extracto del decreto ejecutivo 1681

“Art 2.- En todas las entidades y organismos que conforman la Administración Pública Central e Institucional de la Función Ejecutiva se conformará un Comité de Eficiencia Energética, que será presidido por el funcionario administrativo de más alto rango, con la finalidad de organizar e implementar medidas de ahorro energético y estará en coordinación con la Dirección Nacional de Eficiencia Energética del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable.” [26]

Se recomienda la creación de un comité energético que siga lineamientos estipulados por las políticas de estado y basado en la norma internacional ISO 50001.

Política energética

Establece el compromiso que debe tener la organización con el fin de mejorar el desempeño energético y debe asegurar que:

- Se debe incluir el compromiso de: mejora continua del desempeño energético, asegurar la disponibilidad de información, cumplir los requisitos legales relacionados con el consumo de la energía y la eficiencia energética.
- Se apoye con la adquisición de productos y servicios eficientes.

- La política sea consiente con los recursos naturales.

Revisión de la dirección

La información y resultados obtenidos deberán ser revisados por las respectivas autoridades de la organización las cuales deben incluir: Acciones de seguimiento, revisión de la política y desempeño energético, cumplimiento de los objetivos y metas, resultado de las auditorías energéticas, el desempeño energético proyectado, recomendaciones de mejora, entre otros.

Finalmente los resultados que debe mostrar la dirección son posibles cambios para mejorar la política y desempeño energético, cambios en los indicadores energéticos e indicadores energéticos, así como la asignación de recursos.

4.10.3 RECOMENDACIONES DE FUTUROS EDIFICIOS

El análisis de las normas utilizadas para esta evaluación deja varias recomendaciones que deberán ser consideradas para nuevos edificios.

El edificio EARME presenta como carga representativa la iluminación. Se tiene varios parámetros que deben cumplir cada una de las zonas para el uso eficiente de energía.

El diseño arquitectónico es parte fundamental para un modelo integral de edificio universitario eficiente. Un adecuado estudio y diseño arquitectónico permitirá el aprovechamiento eficiente de los espacios e iluminación natural.

Un edificio sustentable es un trabajo conjunto para profesionales de la construcción, ingeniería eléctrica, electrónica, entre otros.

Se recomienda revisar la siguiente norma de la construcción en donde se especifican lineamientos de eficiencia energética.

En Ecuador:

- Norma ecuatoriana de la construcción NEC-11, capítulo 13 “Eficiencia energética en la construcción en Ecuador”. [28]

En México:

- Normas para edificación sustentable: NMX-AA-164-SCFI-2013 y NMX-AA-166/1-SCFI-2013.[29]

En Chile:

- Certificación Edificio Sustentable (CES) [30]

En USA:

- Certificación de Líder en Energía y Diseño Ambiental (LEED , por sus siglas en inglés).[31]

CAPÍTULO 5

ANÁLISIS TÉCNICO-ECONÓMICO DE PROPUESTAS DE MEJORA EN EL EDIFICIO ARME

5.1 GENERALIDADES EARME

Los proyectos de inversión social en el Ecuador tienen lineamientos que se especifican en el Plan del Buen Vivir, uno de los objetivos menciona: “Incentivar el uso eficiente y el ahorro de energía sin afectar la cobertura y calidad de sus productos y servicios”. El presente proyecto se alinea con los objetivos estratégicos vigentes en el Ecuador.[32]

La propuesta de mejora en las instalaciones del edificio EARME que representa costos de inversión es el cambio de iluminación actual por led, misma que aporta al uso eficiente y ahorro de energía, mejorando la calidad de iluminación de aulas y pasillos.

Las ventajas que presenta la iluminación led en la actualidad son muchas y los costos han ido bajando paulatinamente desde la aparición comercial de esta tecnología. El costo de la iluminación led aún es elevado respecto a la iluminación fluorescente. En el Capítulo 4 se detallan las ventajas de la tecnología led.

Puesto que la iluminación led reemplazará la iluminación actual no existen costos en la parte constructiva de la instalación. El costo analizado representa el valor de las luminarias fluorescentes vs led en el mercado ecuatoriano en el año 2015.

La evaluación económica que se desarrollará en este estudio aplica a la diferencia entre el costo de la iluminación actual y la iluminación propuesta. A este análisis se lo conoce como inversión incremental.

Se realiza el estudio económico con el objetivo de determinar si el ahorro que significará este cambio de luminaria es rentable en el tiempo, aplicando criterios de evaluación de proyectos.

5.1.1 AHORRO POTENCIAL ANUAL

La propuesta de iluminación led conlleva una reducción en el consumo energético del edificio EARME y a su vez una reducción en el pago de la planilla eléctrica mensual. Se realiza la proyección anual del costo de energía del edificio con la actual iluminación. Por otro lado, se estima el potencial ahorro anual que significaría la aplicación de la propuesta de eficiencia energética.

Tabla 5.1 Ahorro potencial anual en el edificio ARME

Descripción	Consumo anual de energía [kWh/año]	Gasto anual en energía [US\$/año]
Actual	525 313,89	32 060,00
Propuesta	277 599,39	16 701,70
Ahorro	247 714,50	15 358,30

El ahorro potencial de la propuesta de eficiencia energética es de 247 714,5 kWh/año, es decir un 47,15% de ahorro, mientras que el ahorro económico potencial es de 15 358,3 US\$/año.

5.1.2 REDUCCIÓN DE LA EMISIÓN DE CO₂

Un menor consumo energético implica reducción de la emisión de gases de efecto invernadero, uno de ellos el CO₂. Se observa que la propuesta de eficiencia energética reduce sustancialmente el consumo de energía eléctrica, esto aporta a la reducción de la emisión anual de CO₂. En la Tabla 5.2 se observa la reducción de emisión CO₂ gracias a la propuesta realizada en este proyecto.

Tabla 5.2 Disminución potencial de emisiones de CO₂

Descripción	Consumo anual de energía [kWh/año]	Emisiones de CO ₂ [ton/año]
Actual	525 313,89	254,78
Propuesta	277 599,39	138,64
Ahorro	247 714,50	120,14

Con la propuesta de eficiencia energética se lograría reducir en 120,14 toneladas de CO₂, resultado que contribuye a disminuir el impacto ambiental.

5.2 INVERSIÓN INCREMENTAL EARME

Cuando se tiene dos proyectos mutuamente excluyentes se aplica la teoría de inversión incremental para obtener indicadores de rentabilidad. Es decir, se debe elegir entre un proyecto A y B. Si se realiza un proyecto A, el proyecto B no puede darse, y viceversa. Se puede tener dos situaciones: 1. las alternativas presentan la misma vida económica de servicio, 2. Tienen diferentes vidas económicas de servicio. En este análisis se usará la segunda situación puesto que la vida útil de las luminarias es diferente.[33]

La iluminación actual en el edificio EARME está sujeta a reemplazo, ya que al cumplir su vida útil la iluminación es inservible, esto representa un costo de mantenimiento y se presenta como 1 alternativa de inversión. La otra alternativa es el cambio de iluminación actual por led.

- Alternativa 1: Mantener iluminación actual.
- Alternativa 2: Cambio por iluminación con tecnología led.

Se analizan los costos de la iluminación actual utilizada para aulas y pasillos del edificio ARME y se determinan los costos de la alternativa 1. También, se cotiza la iluminación led para las mismas áreas y se determinan los costos de la alternativa 2. Se tienen los siguientes resultados:

Tabla 5.3 Costos de inversión incremental

Descripción	Inversión iluminación actual [US\$]	Inversión iluminación-Propuesta [US\$]	Inversión incremental [US\$]
Tubos T8	17 255,97	40 351,85	23 095,88
Compactos-Ojo de buey	10 038,78	24 145,42	14 106,64
Dicroicos-MR16	3 829,39	7 320,50	3 491,11

La inversión total que se analiza es la inversión incremental, sobre este valor se aplican cálculos de para evaluar la rentabilidad del proyecto.

5.3 TIEMPO DE RECUPERACIÓN DE CAPITAL EARME

Se determina el tiempo en el cual se recuperará la inversión realizada en las luminarias del edificio EARME. Se tienen los siguientes resultados.

Tabla 5.4 Tiempo de recuperación de capital de la propuesta de eficiencia energética

Descripción	Inversión total [US\$]	Ahorro potencial anual [US\$]	Tiempo de recuperación de capital [años]
Tubos T8	23 095,88	6 569,89	3,5
Compactos-Ojo de buey	14 106,64	6 101,92	2,3
Dicroicos-MR16	3 491,11	2 686,49	1,3
TOTAL	40 693,62	15 358,30	2,6

Los resultados de tiempo de recuperación muestran que en 2,6 años se recuperará la inversión realizada en el proyecto de eficiencia energética en iluminación.

5.4 VALOR ACTUAL NETO EFICIENCIA EARME

La Escuela Politécnica Nacional es una institución de educación superior pública, por lo tanto la tasa de oportunidad se traduce al sector público en tasa social de inversión. En proyectos de inversión pública el involucrado directo es la sociedad Según el Banco del Estado, la tasa de inversión social es del 12%. [34]

Tabla 5.5 Valor actual neto de la propuesta de eficiencia energética

Descripción	Inversión total [US\$]	Ahorro potencial anual [US\$]	Tiempo de vida útil [años]	Valor presente-VAN [US\$]
Tubos T8	23 095,88	6 569,89	16,0	22 722,37
Compactos-Ojo de buey	14 106,64	6 101,92	16,0	29 787,64
Dicroicos-MR16	3 491,11	2 686,49	8,0	13 179,49

Se determina el valor presente neto de los tres tipos de luminarias. Los resultados muestran valores positivos del valor presente neto (VAN), es decir el proyecto es rentable.

5.5 TASA INTERNA DE RETORNO EFICIENCIA EARME

Para que el proyecto sea rentable el valor de la tasa interna de retorno TIR debe ser mayor que la tasa de inversión social, es decir 12%. Los resultados se presentan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6 Tasa interna de retorno de la propuesta de eficiencia energética

Descripción	Inversión total [US\$]	Ahorro potencial anual [US\$]	Tiempo de vida útil [años]	Tasa interna de retorno-TIR
Tubos T8	23 095,88	6 569,89	16,0	27,89%
Compactos-Ojo de buey	14 106,64	6 101,92	16,0	43,12%
Dicroicos-MR16	3 491,11	2 686,49	8,0	76,12%

Los tres tipos de luminarias propuestas cumplen la teoría de evaluación de proyectos TIR ya que todos los valores son mayores a 12%. El proyecto de eficiencia energética es rentable según los resultados obtenidos.

5.6 RELACIÓN COSTO BENEFICIO EARME

En este caso se determina la relación costo beneficio del proyecto de eficiencia energética propuesto. El resultado parte de la relación entre el valor presente neto del ahorro anual y la inversión total inicial. Los resultados se muestran en la Tabla 5.7.

Tabla 5.7 Relación costo-beneficio de la propuesta de eficiencia energética

Descripción	Inversión total [US\$]	Ahorro potencial anual [US\$]	Tiempo de vida útil [años]	Relación costo-beneficio
Tubos T8	23 095,88	6 569,89	16,0	1,98
Compactos-Ojo de buey	14 106,64	6 101,92	16,0	3,11
Dicroicos-MR16	3 491,11	2 686,49	8,0	4,78

Para que el proyecto sea rentable la relación deberá ser mayor a 1. Los resultados obtenidos muestran que los tres tipos de luminarias propuestos tienen una relación costo-beneficio mayor a 1, por lo tanto el proyecto es rentable.

La iluminación dicroica MR-16, representa un mayor beneficio, esto se debe a que el consumo actual de este tipo de luminaria es alto frente a la propuesta de iluminación led.

5.7 RENTABILIDAD DE LA PROPUESTA DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EARME

En este capítulo se analiza la rentabilidad de la propuesta de eficiencia energética que incluye el recambio de luminarias actuales (fluorescente y dicroica) por iluminación led. Se utilizaron algunas herramientas de evaluación de proyectos para determinar si el proyecto efectivamente significará un ahorro tanto económico como energético.

Al traer a valor presente (VAN) el ahorro anual (flujo neto de efectivo) que significaría el cambio de luminarias led se tiene como resultado valores positivos, esto muestra que bajo este análisis el proyecto es rentable.

También se analizó la tasa interna de retorno. La tasa de costo social vigente en Ecuador es de 12%, los resultados de TIR son mayores a dicha tasa, reflejando la rentabilidad del proyecto.

La relación costo-beneficio de la propuesta realizada presenta valores mayores a 1, es decir que los ingresos son mayores que los egresos y se recomienda realizar este proyecto. El tiempo de recuperación de la inversión de todo el proyecto de iluminación es de 2,6 años.

Finalmente, se concluye que el proyecto de eficiencia energética que incluye el cambio de iluminación T8, compactos fluorescente y dicroicos por LED, es rentable según los criterios de evaluación de proyectos.

En el ANEXO 1, se incluyen las proformas vigentes en el mercado ecuatoriano en el año 2015. Se presentan proformas de iluminación actual y la propuesta de iluminación LED.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES

- La guía de auditoría energética desarrollada ayuda a obtener información clara, con sustento técnico y teórico, de la calidad de energía y la eficiencia energética actual de un predio universitario. Con dichos resultados es posible determinar mejoras en el sistema eléctrico así como la aplicación de medidas ahorro energético.
- La aplicación de la guía en el edificio de Aulas y Relación con el Medio Externo EARME, perteneciente a la Escuela Politécnica Nacional, permitió obtener varios indicadores energéticos los mismos que al ser comparados con normativa nacional e internacional determinan la condición actual del edificio. Además, estos resultados servirán de base y sustento para futuras evaluaciones energéticas en el edificio.
- Las personas que se desenvuelven en un ambiente estudiantil universitario deben pasar más de 8 horas dentro de edificio, en sus diferentes zonas, ya sea en: aula, pasillo, comedor, etc. Lugares donde la mayor parte del tiempo se encuentran sometidos a iluminación artificial, usando dispositivos eléctricos y electrónicos. Por esa razón, es muy importante un adecuado suministro energético, así como un sistema eléctrico que preste confort y sea eficiente.
- El levantamiento de carga del EARME, muestra que la carga mayoritaria en el edificio es la iluminación, representa el 41,5% del total de carga instalada, seguido de cargas como ascensores y motores con un 29%, equipos de computación 25.7%, equipo electrónico 1,1%, y cargas varias como televisores, equipos de sonido entre otros que representan el 2,7% de la carga total instalada.

- El edificio EARME presenta resultados satisfactorios en los indicadores energéticos analizados, éstos son: nivel de voltaje, índice de severidad del flicker, contenido armónico, desbalance de voltaje, factor de potencia, frecuencia, cumplen la norma respectiva.
- El desbalance de corriente puede afectar la calidad de energía, es decir afectar los perfiles de voltaje y como resultado un desbalance de voltaje, mismo que sería perjudicial para los equipos monofásicos y trifásicos servidos por el alimentador en cuestión. Por otro lado, dicho desbalance de corriente no necesariamente implica desbalance de voltaje, en el presente caso de estudio del edificio EARME, los resultados muestran que el desbalance de corriente no produce afectación en los perfiles de voltaje.
- El consumo de energía eléctrica del edificio EARME presenta una característica de consumo comercial. Los resultados muestran que el consumo energía tiene un horario entre las 07h00-20h00, resultados que contrastan correctamente con el horario de clases.
- La demanda máxima en la etapa 1, se registra a las 16h30 con un valor de 90,78 kW, en la etapa 2 a las 18h00 con un valor de 42,2 kW.
- Los resultados muestran que la iluminación a más de ser la carga mayoritaria, presta un servicio vital para el desarrollo de las actividades normales en la instalación educativa, bajos niveles de iluminación causan efectos negativos en la salud. Los límites de iluminancia son los que caracterizan cada espacio en un edificio universitario como: aulas, pasillos, oficinas, etc. Los resultados correspondientes al análisis de iluminación muestran valores deficientes en aulas 430 [lux] y pasillos del edificio en 80 [lux], resultados que están por debajo de lo establecido en la norma UNE 12464-1, 500 [lux] y 100 [lux] respectivamente.
- Utilizando criterios de eficiencia energética y calidad de energía se propone el cambio de la iluminación presente en aulas (fluorescente-T8 y dicroicos halógenos) y pasillos (compactos fluorescentes) del edificio EARME por iluminación LED. La simulación realizada con la tecnología LED, utilizando el programa Dialux Evo se obtienen resultados satisfactorios.

- El ahorro energético anual que significaría el cambio de iluminación es de 247 714,5 kWh, es decir un 47,15% de disminución en el consumo. El ahorro económico potencial por el cambio de iluminación es de 15 358,3 US\$/año.
- Las medidas tecnológicas propuestas representan un beneficio para el medio ambiente ya que se contribuye a la disminución equivalente a 120,14 toneladas de CO₂. Además, se evita el uso de tecnología contaminante como es la fluorescente.
- De acuerdo a los criterios de evaluación económica de proyectos, la propuesta de cambio de luminarias es rentable y el tiempo de recuperación de la inversión del proyecto es de 2,6 años.
- La implementación de medidas de tecnológicas y administrativas permite la disminución de consumo energético por ende un menor gasto en el pago de la planilla del servicio eléctrico. Se evitará el despilfarro de energía contribuyendo así a una política gubernamental. También ayuda a disminuir el impacto en el cambio climático y contaminación. Por otro lado, se pueden constituir empresas auditoras que se dediquen a desarrollar este tipo de estudios, creando así nuevas fuentes de empleo.
- La iluminación led es una nueva tecnología que se está implementando a nivel mundial, pese a las bondades energéticas y ambientales que esta tecnología pone a disposición de los usuarios. Por ahora, los altos costos respecto a la iluminación tradicional fluorescente son una clara desventaja al momento selección de un proyecto de iluminación. En un futuro próximo, el desarrollo tecnológico led, el aumento de la demanda led y el debilitamiento de competitividad de la tecnología fluorescente permitirá que se tenga menores costos para la implementación de la creciente tecnología.

6.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que el diseño de iluminación para aulas, auditorios, pasillos, entre otros, se tome como zona no representativa, es decir que el diseño eficiente de la instalación este por encima del diseño arquitectónico.

- Al tratarse una instalación universitaria como zona de no representación se recomienda evitar el uso de iluminación dicróica como iluminación ornamental. En el edificio ARME esta tecnología es la más ineficiente y costosa.
- En el caso de requerir zonas de representación en la instalación se recomienda optar por un estudio para el proyecto con tecnología led.
- En el proceso de calendarización se recomienda programar las fechas de medición en un día típico. Se debe evitar fechas especiales o festivas ya que el consumo energético no se comporta de la misma manera de forma regular.
- Se recomienda el uso de colores claros en las instalaciones ya que dichos colores presentan un mayor índice de reflexión de luz.
- Aunque no se tiene normativa vigente respecto al desbalance de corriente, desde el punto de vista de calidad de energía o eficiencia energética se recomienda un balance de cargas en cualquier sistema polifásico.
- Para edificios futuros, es decir que están por construirse, se debe tomar en consideración las actuales normativas y certificaciones ya que permitirán el aprovechamiento eficiente de los espacios e iluminación natural. Un edificio sustentable es el aporte de profesionales de la construcción, ingeniería eléctrica, electrónica, entre otros.
- Una vez aplicadas las medidas que se proponen en este proyecto, se recomienda realizar nuevamente una auditoria energética con el fin de cuantificar los resultados y obtener una información de indicadores actualizada.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Wladimir Uquillas O., “Iluminación y eficiencia energética”, Green Building Council, Quito, Ecuador, 2014.
- [2] Department of Energy , “The Energy Efficiency Strategy: The Energy Efficiency Opportunity in the UK”, Department of Energy and Climate Change, United Kingdom, Noviembre, 2012.
- [3] F. R. Quintela, R. C. Redondo y M. M. Redondo, “Términos sobre energía eléctrica”, Universidad de Salamanca, España, 2015. [En línea]. Disponible en:
<http://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Descargas/TerminosEnergia.pdf>.
- [4] E. P. Saona, A. E. Vergara, “Desarrollo y aplicación de guía para realizar auditorias energéticas en el sector industrial”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2011.
- [5] TXU Energy Retail Company,” ¿Qué significa "demanda"?", 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.txu.com/es/property-management/customer-care/understanding-demand.aspx>.
- [6] Poveda Mentor, “Eficiencia energética: Recurso no aprovechado”, OLADE, Quito, Ecuador, 2007.
- [7] Gabriel Salazar Y., “Perturbaciones en redes eléctricas”, Curso calidad de energía eléctrica, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2012.
- [8] Wai Kai Chen, “Electric Engineering Handbook”, Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA, 2004; Teoría de Circuitos, Capítulo 1.
- [9] Instituto Ecuatoriano de Normalización INEN. Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 506, 2009.
- [10] The American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2015[En línea]. Disponible en: <http://aceee.org/>.

- [11] CONELEC, "Plan maestro de electrificación 2013-2022, Eficiencia energética en el sector eléctrico", CONELEC, Quito, Ecuador, 2013.
- [12] Wai Kai Chen, "Electric Engineering Handbook", Elsevier Academic Press, San Diego, California, USA, 2004; Calidad de energía eléctrica, Capítulo 10.
- [13] Roger C. Dungan, Mark F. McGranaghram, Surya Santoso, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, 2004; Términos y definiciones, Capítulo 2.
- [14] Representaciones eléctricas Aguilar, "Transitorios y Ruido eléctrico", Atizapán, Estado de México, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.reasa.com.mx/pdf/FTREA00310-Transitorios-y-ruido-electrico.pdf> .
- [15] Sankaran C; "Power quality", CRC Press LLC, Primera Edición, Florida, USA, 2002; Perturbaciones de frecuencia, Capítulo 2.
- [16] Reporte Técnico IEC 61000-2-1, "Compatibilidad Electromagnética Parte 2", 2008.
- [17] UBA- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, " Los efectos visuales y biológicos de la luz. La actualización de la iluminación en el ambiente laboral", 2015. [En línea]. Disponible en: http://www.editores-srl.com.ar/revistas/lu/121/uba_los_efectos_visuales_y_biologicos_de_la_luz
- [18] Regulación CONELEC 004/01, Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución, Ecuador, mayo, 2001.
- [19] Norma Internacional ISO 50001, "Sistemas de gestión de la energía- Requisitos con orientación para su uso", Primera edición, Ginebra, Suiza, 2011.
- [20] AENOR, Norma Europea EN 12464-1, Iluminación de los lugares de trabajo, España, octubre, 2003.
- [21] Regulación CONELEC 006/00," Procedimientos de despacho y operación", Ecuador, agosto, 2000.

- [22] J. García., “Iluminación incidente sobre el plano horizontal de trabajo”, Universidad Politécnica de Catalunya, España, 2014. [En línea]. Disponible en:
<http://electricidad.usal.es/Principal/Circuitos/Descargas/TerminosEnergia.pdf>.
- [23] P. Gachet G., “Memoria arquitectónica edificio de aulas y relación con el medio externo etapas I-II de la Escuela Politécnica Nacional”, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador, 2013.
- [24] "Informe anual del ministerio de electricidad y energía renovable, CENACE, Ecuador, 2012 [En línea]. Disponible en: <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/02/Informe-de-Factor-de-Emission-de-CO2-20121.pdf>."
- [25] Alromar energías del futuro, “Ventajas y Desventajas de la Tecnología LED”, España, agosto 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.alromar-energia.es/blog/ventajas-y-desventajas-de-la-tecnologia-led/>.
- [26] Dirección de eficiencia Energética, “Plan de normalización y etiquetado”, Ecuador, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.energia.gob.ec/plan-de-normalizacion-y-etiquetado/>.
- [27] Energy star, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.energystar.gov/>.
- [28] Norma ecuatoriana de la construcción NEC-11, capítulo 13 “Eficiencia energética en la construcción en Ecuador”, Ecuador, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.normaconstruccion.ec/>.
- [29] Normas para edificación sustentable, México, 2013. [En línea]. Disponible en: http://cicm.org.mx/wp-content/files_mf/enero2014nmx164es.pdf.
- [30] Certificación Edificio Sustentable (CES), Chile, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.ecosistemas.cl/>
- [31] Certificación de Líder en Energía y Diseño Ambiental (LEED), USA, 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.usgbc.org/leed>.

- [32] Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo – Senplades, Plan Nacional del buen vivir 2013-2017, 2013, Primera edición, Quito, Ecuador.
- [33] Chan S. Park, "Fundamentos de ingeniería económica", segunda edición, Departamento de Sistemas e Ingeniería Industrial, Auburn University, PEARSON EDUCATION, México, 2009.
- [34] GAD de Machala, Dirección de proyectos, 2014, Machala, Ecuador.