



Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales no Renovables

Carrera de Ingeniería Electromecánica

**Metodología de eficiencia eléctrica aplicada a usuarios
residenciales del barrio Ciudad Victoria de la ciudad de Loja,
considerando la norma ISO 50001-2018.**

**Trabajo de Titulación previo a
la obtención del título de
Ingeniero Electromecánico**

AUTOR:

Lenin Alexander Martínez Tamayo

DIRECTOR:

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc.

Loja - Ecuador

2023

Certificación

Loja, 7 de marzo de 2023

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc.

DIRECTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN

CERTIFICO:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Titulación denominado: **Metodología de eficiencia eléctrica aplicada a usuarios residenciales del barrio Ciudad Victoria de la Ciudad de Loja, considerando la norma ISO 50001-2018**, previo a la obtención del título de **Ingeniero electromecánico**, de la autoría del estudiante **Lenin Alexander Martínez Tamayo** con **cédula de identidad** Nro. **1150005807**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo, Mg. Sc.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Autoría

Yo, **Lenin Alexander Martínez Tamayo**, declaro ser el autor del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales por el contenido del mismo. Adicionalmente, acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación en el Repositorio Institucional – Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula de identidad: 1150005807

Fecha: 8 de marzo del 2023

Correo electrónico: leninmartinez1996@gmail.com

Teléfono: 0985420303

Carta de autorización

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.

Yo **Lenin Alexander Martínez Tamayo** declaro ser autor del Trabajo de Titulación denominado: **Metodología de eficiencia eléctrica aplicada a usuarios residenciales del barrio Ciudad Victoria de la Ciudad de Loja, considerando la norma ISO 50001-2018**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero electromecánico**; autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que con fines académicos muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los ocho días del mes de marzo del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Lenin Alexander Martínez Tamayo

Cédula de identidad: 1150005807

Dirección: Ciudad Victoria

Correo electrónico: leninmartinez1996@gmail.com

Teléfono: 0985420303

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Titulación: Ing. Marco Vinicio Rojas Moncayo Mg. Sc.

Dedicatoria

A mis padres Pío y María, porque la mejor manera de buscar motivación en la vida es en el origen de los hogares. A mis hermanos y hermanas Patricia, Israel, Christian y Camila, porque un hermano/a puede amar como un padre, cuidar como una madre y apoyar como un amigo. A Chester, Gilbert y Aleph, porque el amor es una palabra de cuatro patas. A mi padre celestial, creador de los seres que más amo, a él le debo todo.

Lenin Alexander Martínez Tamayo

Agradecimiento

A mis formadores desde la niñez, adolescencia y adultez, quienes han compartido desinteresadamente su conocimiento para instruirme en ciencia y valores. A la Universidad Nacional de Loja, carrera de Ingeniería Electromecánica y toda su planta docente por enseñarme las bases del quehacer ingenieril para poder desempeñarme con ética y responsabilidad en la vida profesional.

De manera especial, mi agradecimiento al Ing. Marco Rojas Moncayo y al Centro de Investigaciones Tecnológicas y Energéticas - CITE de la Universidad Nacional de Loja por el asesoramiento brindado y apoyo logístico con los equipos de medición energética inteligente.

Lenin Alexander Martínez Tamayo

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento	vi
Índice de contenidos	vii
Índice de tablas:	xi
Índice de figuras:	xiii
Índice de anexos:	xvi
Simbología:	xvii
1 Título	1
2 Resumen	2
2.1 Abstract	3
3 Introducción	4
4 Marco teórico	6
4.1 Capítulo 1: Sector eléctrico residencial en el Ecuador	6
4.1.1 Energía, sociedad y ambiente	6
4.1.2 Evolución del consumo eléctrico residencial en el Ecuador	8
4.1.3 Relación entre el crecimiento económico y el consumo eléctrico	10
4.1.4 Análisis de la tarifa eléctrica en el Ecuador	12
4.1.5 Red eléctrica interna de usuarios residenciales	14
4.1.5.1 Principios generales de las instalaciones eléctricas residenciales.	15
4.1.5.2 Circuitos de iluminación, fuerza y especiales.	15
4.1.5.3 Centros de carga.....	17
4.1.5.4 Conductores.....	18
4.1.5.5 Protecciones.....	20
4.1.6 Influencia del tipo de vivienda en el consumo eléctrico	21
4.1.7 Usos finales de la energía. Sector residencial	21
4.1.8 Defectos asociados en instalaciones eléctricas.....	22
4.1.8.1 Sobretensiones.	22
4.1.8.2 Subtensiones.	23
4.1.8.3 Sobreintensidades.	23

4.1.9	Consumos fantasmas o stand by.....	23
4.1.10	Comportamiento de la carga instalada.....	24
4.1.10.1	Carga instalada (CI).....	24
4.1.10.2	Capacidad instalada (PI).....	24
4.1.10.3	Carga máxima (D _M).....	24
4.1.10.4	Carga promedio (D _P).	25
4.1.10.5	Curva cronológica de carga diaria.....	25
4.2	Capítulo 2: Marco legal y regulatorio.....	26
4.2.1	Ley orgánica de eficiencia energética.....	26
4.2.1.1	Disposiciones fundamentales.	26
4.2.1.2	Sistema nacional de eficiencia energética.	27
4.2.1.3	Sectores regulados.	27
4.2.2	Plan nacional de eficiencia energética 2016-2035 (PLANEE).....	27
4.2.2.1	Objetivo general del PLANEE.	27
4.2.2.2	Meta.	28
4.2.2.3	Eje jurídico, institucional y de acceso a la información.	28
4.2.2.4	Eje residencial, comercial y público.	28
4.3	Capítulo 3: Sistemas de gestión energética.....	31
4.3.1	Eficiencia energética.....	31
4.3.2	Sistemas de gestión energética (SGE).....	31
4.3.3	Norma UNE-EN ISO 50001:2018.....	31
4.3.3.1	Ciclo PHVA.....	32
4.3.3.2	Términos y definiciones.	33
4.3.4	Indicadores de eficiencia energética.....	33
4.3.5	Criterios de priorización y oportunidades de mejora.....	35
4.3.6	Medidas de ahorro en energía eléctrica.....	38
4.3.6.1	Domótica.	38
4.3.6.2	Etiquetado de eficiencia energética en equipos.	40
4.3.6.3	Iluminación.....	40
4.3.6.4	Sistemas informáticos.	43
4.3.6.5	Sistemas de refrigeración.	44
4.3.6.6	Ducha eléctrica.	45
4.3.6.7	Televisión.	46

4.3.6.8	Otros.....	46
4.3.7	Evaluación económica de mejoras energéticas	47
4.4	Capítulo 4: Equipo de monitoreo y procesamiento de la información	48
4.4.1	Medidor de energía SMART HOME ENERGY MONITOR	48
4.4.2	Enchufe inteligente SMART OUTLETS	51
4.4.3	Técnicas para el procesamiento de información	52
4.4.3.1	Clustering	52
4.4.3.2	Algoritmo de cálculo.....	52
4.4.3.3	Dashboard.....	53
5	Metodología.....	55
5.1	Área de estudio	55
5.2	Procedimiento.....	58
5.2.1	Caracterización de los usuarios residenciales	59
5.2.1.1	Medición de consumo eléctrico.....	59
5.2.1.2	Caracterización mediante clustering.....	61
5.2.1.3	Caracterización con mediciones sectorizadas.....	67
5.3	Procesamiento y análisis de datos.....	68
5.3.1.1	Caracterización mediante el histórico de consumo.....	68
5.3.1.2	Caracterización mediante el cálculo manual.....	69
5.3.2	Planificación energética con base al ciclo PHVA	70
5.3.2.1	Planificar.....	70
5.3.2.1.1	Contexto de la organización.....	70
5.3.2.1.2	Liderazgo.....	71
5.3.2.1.3	Planificación.....	71
5.3.2.1.4	Soporte.....	84
5.3.2.2	Hacer	86
5.3.2.2.1	Operación.....	86
5.3.2.3	Verificar	86
5.3.2.3.1	Rendimiento y evaluación.....	86
5.3.2.4	Actuar.....	89
5.3.2.4.1	Mejora.....	89
5.3.3	Algoritmo de cálculo	93

6	Resultados	94
6.1	Caracterización de los usuarios residenciales considerados	94
6.2	Planificación energética para usuarios residenciales	97
6.3	Algoritmo de cálculo: Dashboard.....	110
7	Discusión	113
8	Conclusiones.....	115
9	Recomendaciones	117
10	Bibliografía	118
11	Anexos	125

Índice de tablas:

Tabla 1.	Consumo eléctrico en distintos sectores. 2010-2020 en GWh	8
Tabla 2.	Consumo promedio mensual, periodo 2011-2020 (kWh/cliente residencial)	9
Tabla 3.	Cargos tarifarios únicos	12
Tabla 4.	Clasificación de las viviendas según el área de construcción.....	15
Tabla 5.	Factores de diversificación, coincidencia y potencia.	17
Tabla 6.	Conductores de cobre, sección transversal y capacidad.	18
Tabla 7.	Tamaño de los conductores de tierra para equipos.	20
Tabla 8.	Criterios de priorización para las oportunidades de mejora	37
Tabla 9.	Determinación de la oportunidad de mejora.....	38
Tabla 10.	Niveles mínimos de iluminación al interior de la vivienda	43
Tabla 11.	Clases de potencia para duchas eléctricas	45
Tabla 12.	Clase de eficiencia energética en una televisión.....	46
Tabla 13.	Características del monitor de energía EMPORIA	50
Tabla 14.	Características del enchufe inteligente EMPORIA.....	51
Tabla 15.	Información relevante de las viviendas de estudio	55
Tabla 16.	Histórico de consumo eléctrico en usuario # 247396	68
Tabla 17.	Consumo eléctrico aproximado mediante el cálculo manual	69
Tabla 18.	Información técnica del estado del suministro eléctrico	70
Tabla 19.	Histórico del consumo eléctrico mensual.....	72
Tabla 20.	Potencia o carga instalada en el usuario # 247396.....	73
Tabla 21.	Consumo eléctrico semanal de los sistemas/circuitos para el usuario # 247396..	74
Tabla 22.	Variables y unidades energéticas para usuarios residenciales	74
Tabla 23.	Modelo de registro de la energía consumida en iluminación por espacios	77
Tabla 24.	Registro de consumidores de energía eléctrica	80
Tabla 25.	Determinación de las oportunidades de mejora en el usuario # 247396	82
Tabla 26.	Indicadores de consumo energético según los ocupantes y superficie.....	83
Tabla 27.	Indicadores de kg de CO2 emitidos al ambiente	84
Tabla 28.	Indicadores globales de energía según los ocupantes y superficie	84
Tabla 29.	Indicadores globales de kg de CO2 emitidos al ambiente.....	84
Tabla 30.	Registro financiero para los recursos de infraestructura de recolección de datos	85
Tabla 31.	Registro financiero de los recursos tecnológicos para mejorar la EE	85
Tabla 32.	Evaluación de indicadores energéticos con las mejoras implementadas	87
Tabla 33.	Evaluación de indicadores de kg de CO2 emitidos al ambiente	87
Tabla 34.	Ahorro por cargas en stand by, usuario # 247396.....	89

Tabla 35.	Cronología del mejoramiento energético en el usuario # 247396	90
Tabla 36.	Histórico de consumo eléctrico: usuarios # 206359 y # 244655	96
Tabla 37.	Consumo eléctrico mediante el cálculo manual: usuario # 206359 y # 244655...	96
Tabla 38.	Consumo eléctrico semanal de los sistemas/circuitos para el usuario # 206359..	97
Tabla 39.	Determinación de las oportunidades de mejora en el usuario # 206359	98
Tabla 40.	Consumo eléctrico semanal de los sistemas/circuitos para el usuario # 244655..	99
Tabla 41.	Determinación de las oportunidades de mejora en el usuario # 244655	100
Tabla 42.	Indicadores de consumo energético por sistema en cada usuario residencial	101
Tabla 43.	Indicadores de kg de CO ₂ emitidos por sistema en cada usuario residencial.....	101
Tabla 44.	Indicadores globales de consumo por sistema en cada usuario residencial	101
Tabla 45.	Indicadores globales de kg de CO ₂ emitidos al ambiente	102
Tabla 46.	Registro financiero de los recursos tecnológicos para el usuario # 206359.....	102
Tabla 47.	Mejora del consumo eléctrico, usuario # 206359	103
Tabla 48.	Evaluación de indicadores energéticos, usuario # 206359	103
Tabla 49.	Evaluación de indicadores de kg de CO ₂ , usuario # 206359	104
Tabla 50.	Ahorro por cargas en stand by, usuario # 206359.....	105
Tabla 51.	Registro financiero de los recursos tecnológicos para el usuario # 244655	105
Tabla 52.	Mejora del consumo eléctrico, usuario # 244655	106
Tabla 53.	Evaluación de indicadores energéticos, usuario # 244655	107
Tabla 54.	Evaluación de indicadores de kg de CO ₂ , usuario # 244655	107
Tabla 55.	Ahorro por cargas en stand by, usuario # 244655.....	108

Índice de figuras:

Figura 1.	Población del Ecuador proyectada entre el año 2010 y 2020 en M hab.	7
Figura 2.	Consumo eléctrico por habitante (kWh/hab.)	7
Figura 3.	Evolución de las emisiones de CO ₂ y la demanda de energía	7
Figura 4.	Evolución del número de usuarios residenciales y su consumo eléctrico.	9
Figura 5.	Consumo promedio mensual, periodo 2011 – 2020.....	10
Figura 6.	Evolución del PIB para Ecuador. 2009-2019	11
Figura 7.	Consumo energético por habitante (BEP/hab.).....	12
Figura 8.	Circuitos eléctricos independientes.	16
Figura 9.	Tablero de distribución modelo Square D.....	18
Figura 10.	Conductores eléctricos de cobre aislado tipo THHN.	19
Figura 11.	Interruptor termomagnético automático	21
Figura 12.	Usos finales de la electricidad en la zona urbana de la ciudad de Cuenca	22
Figura 13.	Influencia de las características de la carga en redes	24
Figura 14.	Curva de carga para un sistema aleatorio	25
Figura 15.	Potencia evitada debido a proyectos de eficiencia energética	29
Figura 16.	Energía evitada en el eje residencial, comercial y público	30
Figura 17.	Alcance del sistema de gestión de la energía.....	32
Figura 18.	Implementación de los indicadores de rendimiento energético	34
Figura 19.	Diagrama de Pareto de consumos eléctricos.....	36
Figura 20.	Vivienda inteligente/Smart Home	39
Figura 21.	Etiquetado energético de una refrigeradora	40
Figura 22.	Lámparas fluorescentes compactas (CFL).....	41
Figura 23.	Lámparas LED	42
Figura 24.	Casquillo con sensor de movimiento.....	42
Figura 25.	Pc de escritorio y laptop	44
Figura 26.	Ciclo de refrigeración por absorción de amoníaco.....	45
Figura 27.	Calentador solar	46
Figura 28.	Monitor de energía EMPORIA	48
Figura 29.	Interfaz del aplicativo Emporia Energy	49
Figura 30.	Balance de potencia en tiempo real.....	50
Figura 31.	Enchufe inteligente EMPORIA	51
Figura 32.	Algoritmo del funcionamiento de una lámpara.....	53
Figura 33.	Ejemplo de la interfaz de un dashboard.....	54
Figura 34.	Ubicación del área de estudio	55

Figura 35.	Ubicación de los medidores estudiados.....	57
Figura 36.	Vínculo entre los artefactos eléctricos/monitor inteligente/aplicación móvil ..	59
Figura 37.	Esquema representativo de los aparatos de medición instalados	60
Figura 38.	Proceso de obtención de los datos de potencia y energía	61
Figura 39.	Matriz de datos de potencia media en función del tiempo	62
Figura 40.	Arreglo de los datos de columna a la matriz.....	63
Figura 41.	Curvas de carga diaria del usuario # 247396, febrero del 2022.....	63
Figura 42.	Cálculo de la energía consumida cada 15 minutos	64
Figura 43.	Clusterización de las curvas de carga para los lunes, febrero del 2022	64
Figura 44.	Clusterización de las curvas de carga para los martes, febrero del 2022	65
Figura 45.	Clusterización de las curvas de carga para los miércoles, febrero del 2022.....	65
Figura 46.	Clusterización de las curvas de carga para los jueves, febrero del 2022.....	65
Figura 47.	Clusterización de las curvas de carga para los viernes, febrero del 2022	66
Figura 48.	Clusterización de las curvas de carga para los sábados, febrero del 2022	66
Figura 49.	Clusterización de las curvas de carga para los domingos, febrero del 2022	66
Figura 50.	Clusterización de las curvas de carga para los días de la semana	67
Figura 51.	Clusterización de las curvas de carga por día tipo	67
Figura 52.	Distribución del consumo eléctrico medido: usuario # 247396.....	68
Figura 53.	Histórico de consumo eléctrico mensual	72
Figura 54.	Placa de sandwichera.....	73
Figura 55.	Medición de corrientes de fuga sin carga conectada.....	75
Figura 56.	Diagrama de Pareto: consumo de usuario # 247396.....	76
Figura 57.	Mejora del perfil de carga residencial, usuario # 247396.....	92
Figura 58.	Metodología para el tercer objetivo.....	93
Figura 59.	Caracterización de la demanda de potencia del usuario # 206359.....	94
Figura 60.	Caracterización de la demanda de potencia del usuario # 244655.....	94
Figura 61.	Distribución del consumo eléctrico medido y proyectado: usuario # 206359..	95
Figura 62.	Distribución del consumo eléctrico medido y proyectado: usuario # 244655..	95
Figura 63.	Diagrama de Pareto: consumo de usuario # 206359	98
Figura 64.	Diagrama de Pareto: consumo de usuario # 244655	99
Figura 65.	Metodología de la ISO 50001:2018 para usuarios residenciales	109
Figura 66.	Tarjetones para mostrar el ahorro energético y ambiental.....	110
Figura 67.	Filtro para la segmentación de datos según el usuario	110
Figura 68.	Filtro para la segmentación de datos según el indicador	111
Figura 69.	Filtro para la segmentación de datos según el día tipo	111

Figura 70.	Curva de carga obtenida por segmentación de datos	111
Figura 71.	Caracterización eléctrica por segmentación según el usuario	111
Figura 72.	Indicadores energéticos y ambientales segmentados, según el usuario	112
Figura 73.	Comparación entre usuarios, según el indicador energético y ambiental.....	112
Figura 74.	Tarjetones para de ahorro energético, ambiental y estudio económico.....	112
Figura 75.	Curva de demanda de cada usuario: lunes-viernes.....	126
Figura 76.	Curva de demanda promedio: lunes-viernes.....	126
Figura 77.	Curva de demanda de cada usuario: sábado	127
Figura 78.	Curva de demanda promedio: sábado.....	127
Figura 79.	Curva de demanda de cada usuario: domingo	128
Figura 80.	Curva de demanda promedio: domingo.....	128
Figura 81.	Vista exterior de la vivienda, usuario # 247396.....	129
Figura 82.	Medidor inteligente instalado en la fachada del usuario # 247396.....	129
Figura 83.	App Emporia Energy midiendo la demanda del usuario # 247396	129
Figura 84.	Medición sectorizada del consumo del usuario # 247396.....	129
Figura 85.	Vista exterior de la vivienda, usuario # 206359.....	130
Figura 86.	Medidor inteligente instalado en la fachada del usuario # 206359	130
Figura 87.	App Emporia Energy midiendo la demanda del usuario # 206359	130
Figura 88.	Medición sectorizada del consumo del usuario # 206359	130
Figura 89.	Vista exterior de la vivienda, usuario # 244655.....	131
Figura 90.	Medidor inteligente instalado en la fachada del usuario # 244655	131
Figura 91.	App Emporia Energy midiendo la demanda del usuario # 244655	131
Figura 92.	Medición sectorizada del consumo del usuario # 244655	131
Figura 93.	Curva de carga actual de la refrigeradora, usuario # 206359	132
Figura 94.	Curva de carga actual de la refrigeradora, usuario # 244655	132
Figura 95.	Curva de carga de la refrigeradora (luego de descongelar)	133
Figura 96.	Curva de carga de la refrigeradora (antes de descongelar).....	133
Figura 97.	Mejora energética en la refrigeradora, usuario # 247396.....	134
Figura 98.	Curva de carga de la ducha eléctrica	135
Figura 99.	Curva de carga de la ducha eléctrica con cambio de hábito	135

Índice de anexos:

Anexo 1. Modelo de hoja de cálculo para determinar el consumo eléctrico	125
Anexo 2. Solicitud de información georreferencial a la EERSSA	125
Anexo 3. Planos arquitectónicos de las viviendas	125
Anexo 4. Planos eléctricos de las viviendas	125
Anexo 5. Entrevista estructurada	125
Anexo 6. Características técnicas de los equipos.....	125
Anexo 7. Levantamiento/ubicación de los equipos.....	125
Anexo 8. Recomendaciones para la práctica de hábitos de EE	125
Anexo 9. Caracterización eléctrica de los usuarios seleccionados	125
Anexo 10. Estudio de lámparas y ducha eléctrica reemplazada	125
Anexo 11. Ficha técnica de artefactos eléctricos reemplazados	125
Anexo 12. Estimación de mejoras energéticas en los usuarios seleccionados	125
Anexo 13. Manual de uso del dashboard.....	125
Anexo 14. Dashboard	125
Anexo 15. Curvas de demanda para los casos estudiados.....	126
Anexo 16. Evidencias de las mediciones eléctricas	129
Anexo 17. Curva de funcionamiento de la refrigeradora	132
Anexo 18. Curva de consumo de la ducha eléctrica, usuario # 247396.....	135
Anexo 19. Certificado de traducción.....	136

Simbología:

V_T = valor total a pagar en [USD]

E_T = monto por energía activa total en [USD]

PEC = subsidio por cocina eléctrica y calentamiento de agua en [USD]

C_c = costo de comercialización en [USD]

S_c = subsidio cruzado en [USD]

$SAPG$ = servicio de alumbrado público en [USD]

S_{am} = subsidio del adulto mayor en [USD]

C_b = contribución a los bomberos en [USD]

A_{ec} = ahorro económico en [USD/mes]

E_{cm} = energía consumida al mes en [kWh/mes]

T_e = tarifa eléctrica en [USD/kWh]

CI = carga instalada en [kW]

D_p = carga promedio en [kW]

η = rendimiento luminoso en [lm/W]

P = potencia en [W]

ϕ = flujo luminoso en [lm]

$EnPI$ = indicador de rendimiento energético en [kWh/persona o kWh/m²]

$EnPI_{rf}$ = indicador energético referencial en [kWh/persona o kWh/m²]

$EnPI_{mj}$ = indicador energético mejorado en [kWh/persona o kWh/m²]

A_{en} = ahorro energético en [kWh/mes]

F_{em} = factor de emisión en [kg de CO₂/kWh]

Em_{CO_2} = emisiones de CO₂ en [kg de CO₂/persona o kg de CO₂/m²]

Em_{CO_2ref} = emisiones de CO₂ referenciales en [kg de CO₂/persona o kg de CO₂/m²]

Em_{CO_2mj} = emisiones de CO₂ mejoradas en [kg de CO₂/persona o kg de CO₂/m²]

A_{em} = ahorro de emisiones de CO₂ en [kg de CO₂/mes]

PRI *simple* = periodo de retorno de la inversión en [días, meses, años, etc.]

I_o = inversión realizada en [USD]

1 Título

Metodología de eficiencia eléctrica aplicada a usuarios residenciales del barrio Ciudad Victoria de la ciudad de Loja, considerando la norma ISO 50001-2018.

2 Resumen

En el presente trabajo de titulación se desarrolla una metodología de carácter práctico con el fin de evaluar la eficiencia del consumo eléctrico en usuarios residenciales con base a criterios de la norma ISO 50001 referente a los sistemas de gestión energética (SGE), de manera que se obtengan beneficios energéticos, económicos y ambientales ante la implementación de medidas de eficiencia energética que promuevan una reducción del recurso eléctrico sin afectar el confort del usuario. Se partió desde el análisis de la demanda eléctrica en tres viviendas ubicadas en el sector Ciudad Victoria de la ciudad de Loja, en las cuales se monitoreó, en el lapso de un mes, la curva de carga diaria empleando un medidor inteligente colocado en el tablero general de cada residencia, con lo cual se pudo constatar la dinámica energética en cada caso y con la técnica de clusterización se organizó la información en gráficos representativos. Como parte de la caracterización eléctrica se midió y calculó con la potencia y horas de uso la energía consumida por semana de cada artefacto y la total de cada usuario, con el fin de cotejar dichos resultados con los obtenidos de la página web de la EERSSA. Las mediciones y proyecciones de consumo permitieron determinar los usos significativos de la energía (USE) y formular indicadores energéticos/ambientales referenciales sobre los sistemas eléctricos al considerar variables que los afecte como el número de ocupantes y los m² de construcción. Con los antecedentes de los USE y considerando acciones de cambio tecnológico y hábitos energéticos, se siguió monitorizando el mejoramiento de los indicadores por 8 semanas en una vivienda y en el resto se proyectaron acciones inmediatas, lo que permitió una reducción del 20% del consumo eléctrico en los tres casos tratados.

Palabras claves: consumo eléctrico, usuarios residenciales, ISO, eficiencia energética, indicadores energéticos, clusterización.

2.1 Abstract

In the present degree work, is developed a practical methodology in order to evaluate the efficiency of electricity consumption in residential users based on the criteria of the ISO 50001 standard referring to energy management systems (SGE), so that it will be obtained energetics economics and environmental benefits by implementing energy efficiency measures that promote a reduction in electrical resources without affecting user confort. It started from the analysis of the electrical demand in three houses located in the Ciudad Victoria sector of the city of Loja, in which the daily load curve was monitored in the span of a month using a smart meter placed on the dashboard. overview of each residence, with which it was possible to verify the energy dynamics in each case and with the clustering technique the information was organized into representative graphs. As part of the electrical characterization, the energy consumed per week of each device and the total of each user was measured and calculated with the power and hours of use, in order to compare these results with those obtained from the EERSSA website. The measurements and projections of consumption made it possible to determine the significant uses of energy (USE) and formulate referential energy/environmental indicators on electrical systems by considering variables that affect them, such as the number of occupants and the m² of construction. With the background of the USE and considering technological change actions and energy habits, the improvement of the indicators continued to be monitored for 8 weeks in one home and immediate actions were projected in the rest, which allowed a 20% reduction in electricity consumption in the three treated cases.

Keywords: electricity consumption, residential users, ISO, energy efficiency, energy indicators, clustering.

3 Introducción

El presente trabajo de investigación centra su atención en el estudio del consumo eléctrico residencial con el fin de analizar su comportamiento desde el enfoque de la eficiencia energética tratando de llegar al diseño de un procedimiento basado en el ciclo de mejora continua (planificar, hacer, verificar y actuar) que la norma ISO 50001:2018 recomienda con relación a los sistemas de gestión energética (SGE) y así permitir a los usuarios residenciales formular estrategias para mejorar constantemente sus hábitos de consumo frente a las necesidades de confort existentes en su entorno doméstico.

De acuerdo con Vallejo (2021) en América Latina y El Caribe, en el periodo de 2008 al 2018, hubo un aumento del 38 % del consumo de electricidad en el sector residencial. Este aumento se evidencia en el consumo per cápita de los países de la región, el cual se incrementó 24 % en el mismo periodo. En el caso de Ecuador, en los últimos diez años, el consumo de energía eléctrica por parte de los usuarios residenciales se incrementó en un 51 %, guardando concordancia con el aumento de clientes residenciales que ha sido de un 29 %.

Según las proyecciones demográficas del INEC (2020) en el año 2010 el cantón Loja tuvo 222 830 habitantes, mientras que para el 2020 la población fue de 274 112 personas, lo que refleja un crecimiento de 23 % en 10 años. Esta información permite inferir que el sector residencial crece a la par de las necesidades energéticas por cubrir, además, se convierte en una oportunidad para analizar la dinámica de consumo eléctrico considerando criterios como: tamaño de la vivienda, número de integrantes, cantidad y características técnicas de los artefactos disponibles, horas de uso, etc., con el fin de hallar indicadores de consumo sobre los cuales se puede influir para mejorar el uso responsable de la energía eléctrica. La Agencia Internacional de Energía (IEA) recomienda contar con indicadores que permitan identificar los sectores dentro de la edificación que requieren una mayor atención y de esta manera generar un impacto significativo a través de criterios de eficiencia energética (Guillén et al., 2014).

En el Ecuador existen obstáculos que no permiten alcanzar el máximo potencial de aprovechamiento energético, los cuales consisten principalmente en inversiones iniciales elevadas, baja aceptación de los consumidores, falta de información, acceso limitado a tecnologías eficientes, dificultad para cuantificar y medir los beneficios derivados de la puesta en marcha de las medidas de eficiencia energética.

De acuerdo al Plan Nacional de Eficiencia Energética del Ecuador - PLANEE, la proyección de reducción de consumo energético, con base a programas de normalización y etiquetado de sistemas que demandan energía, se ha estimado en un valor de 25 % al 2035. En el estudio de Ríos et al. (2015) sobre el porcentaje de reducción del consumo de electricidad en

el sector residencial para el año 2035, se determina un valor de 34,14 % en base a simulaciones, mismo que está ligado a la penetración de estrategias como el uso de refrigeradoras eficientes (letra A), electrodomésticos eficientes e iluminación LED. Autores como María T. Baquero L & Felipe Quesada M (2016) en cambio sostienen que se puede lograr una reducción del 46 % a partir de la implementación de métodos simples como la sustitución de luminarias y otros equipos, acceso a luz natural, etc. Con estos antecedentes se pretende fijar una meta del 20 % de ahorro energético en los casos tratados del presente trabajo.

El objetivo general que ha guiado a la presente investigación es el de “Desarrollar una metodología que utilice criterios de la norma ISO 50001-2018 para evaluar la eficiencia eléctrica de usuarios residenciales en el barrio Ciudad Victoria de la ciudad de Loja”.

Los objetivos específicos son los siguientes:

- Caracterizar el consumo eléctrico de los usuarios # 247396, 206359 y 244655 con base a mediciones efectuadas.
- Elaborar una planificación energética con base al ciclo PHVA expuesto en la norma ISO 50001-2018 para usuarios residenciales.
- Implementar un algoritmo de cálculo considerando las recomendaciones de la norma ISO 50001-2018.

Con la ejecución de este proyecto se busca establecer una base metodológica para el estudio del aprovechamiento eléctrico en viviendas con características de consumo parecidas de modo que se fomente la reducción de este y los costos, sin obviar la eficiencia y el confort. Empleando los mismos principios de la gestión energética, este trabajo puede constituir una base o referente para proyectos similares llevados a cabo en otras edificaciones como hospitales, universidades, comercios y/o industrias de la ciudad de Loja y el país.

4 Marco teórico

4.1 Capítulo 1: Sector eléctrico residencial en el Ecuador

En los últimos años, el segundo consumidor de energía eléctrica en el Ecuador ha sido el sector residencial, siendo superado solo por el sector industrial. Las razones pueden deberse a la necesidad de soluciones habitacionales de los ciudadanos, requiriendo nuevas construcciones residenciales según sus requerimientos, y electrodomésticos para solventar necesidades del hogar. Mientras este sector siga creciendo, aumentará el consumo de electricidad de forma similar.

El consumo de energía eléctrica residencial tiene una tendencia de crecimiento, por eso es necesario el desarrollo de estrategias que permitan ahorrar energía. El consumo de electricidad dentro de la vivienda se encuentra repartido en iluminación, equipos (éstos incluyen los electrodomésticos principales) y otros (secador de pelo, una computadora o pequeños electrodomésticos de cocina). (Ulloa, 2015, p. 13)

4.1.1 *Energía, sociedad y ambiente*

La dinámica comercial de oferta y demanda del recurso energético en el Ecuador no se mantiene uniforme año a año, sino que siempre dependerá de factores relacionados con la disponibilidad y tipo de suministro energético, demografía del país, modo de aprovechamiento y conciencia ambiental de los usuarios en los distintos sectores de consumo, implementación de tecnologías, nivel de desarrollo de la economía nacional, etc. Se requieren estudios puntuales en los ámbitos antes mencionados de tal manera que se haga un aporte para alcanzar los mayores beneficios energéticos en cuanto al uso responsable de la energía, protección del medio ambiente y progreso económico.

Entre el año 2010 y 2020, la población del país creció en un 16,6%, de 15 millones a 17,5 millones de personas, (ver **Figura 1**). El consumo de energía eléctrica anual por persona entre 2010 y 2020 se elevó un 33 %, pasando de 1 105 kWh por habitante a 1 470 kWh. También se puede precisar que el consumo eléctrico por habitante disminuyó en 3,1 % entre 2019 y 2020, pasando de 1 517 kWh por habitante a 1 470 kWh por habitante. Esto último es deducible debido a las restricciones de movilidad y trabajo debido a la pandemia del Covid-19, que limitó las actividades comerciales, industriales, de transporte, etc., por cerca de un año, lo cual, al ser el sector industrial el de mayor demanda de energía eléctrica, ocasiona que el índice de consumo por habitante se vea reducido, tal cual se muestra en la **Figura 2** (Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables, 2020).

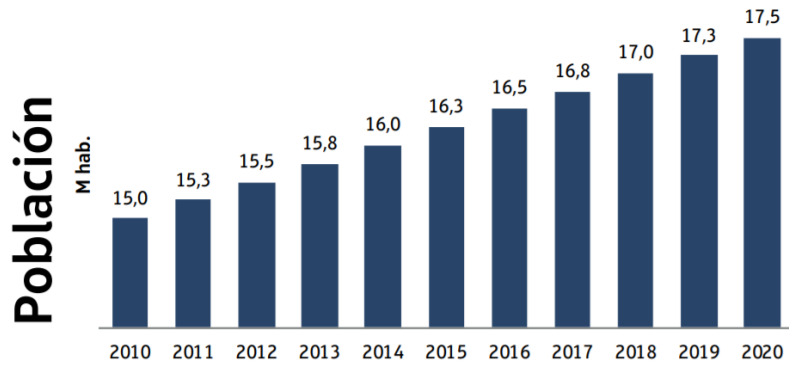


Figura 1. Población del Ecuador proyectada entre el año 2010 y 2020 en M hab.
Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables, 2020).

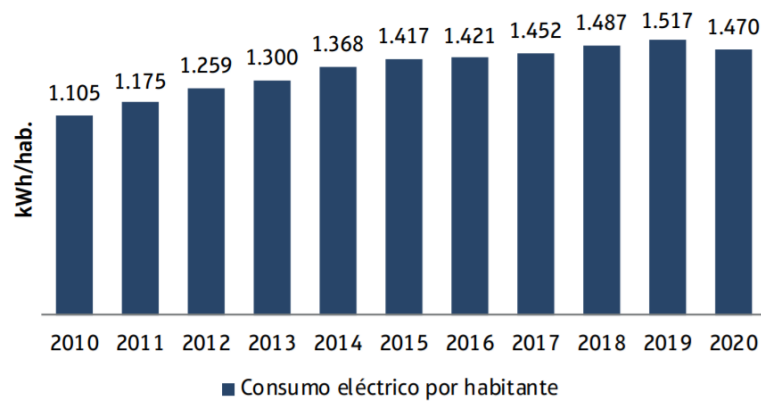


Figura 2. Consumo eléctrico por habitante (kWh/hab.)
Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables, 2020).

A partir de la utilización de recursos hídricos, eólicos, fotovoltaicos y biocombustibles, se evidencia, según la **Figura 3**, que desde el 2016 las emisiones de CO₂ (en miles de toneladas) han venido reduciéndose en gran medida sobre todo por la introducción de grandes centrales hidroeléctricas en reemplazo de las de generación térmica (ARCERNNR, 2021).

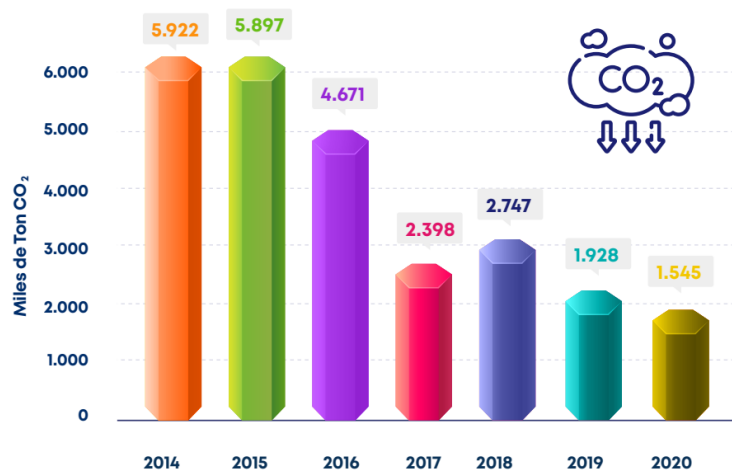


Figura 3. Evolución de las emisiones de CO₂ y la demanda de energía
Fuente: (ARCERNNR, 2021).

De acuerdo con CENACE (2021) se tiene como dato de relevancia para el presente proyecto que el factor de emisión en el Ecuador es de $0,1917 \text{ tonCO}_2/\text{MWh}$, el cual es aplicable en proyectos de eficiencia energético y uso eficiente de la energía.

4.1.2 Evolución del consumo eléctrico residencial en el Ecuador

El Balance Energético Nacional (BEN) es una herramienta que refleja la dinámica de los flujos energéticos de un país, así como el aprovechamiento de los recursos por los distintos sectores. También permite establecer criterios con respecto al registro del histórico año a año del consumo energético.

En la **Tabla 1** se puede visualizar el consumo eléctrico a nivel nacional para el sector residencial en GWh desde el año 2010 hasta el 2020, donde se puede notar que desde el 2010 con 5 114 GWh de consumo hasta el 2020 con 8 063 GWh hubo un aumento del 57,67 % de consumo, lo que se corresponde con el incremento de la población y por supuesto la necesidad de mejores condiciones de confort. Así también, se expone el consumo eléctrico para los sectores industrial y comercial, donde se verifica que estos tuvieron un descenso en el consumo energético para el año 2020 en comparación con el año anterior, no así el sector residencial que evidenció un consumo ascendente (Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables, 2020).

Tabla 1. Consumo eléctrico en distintos sectores. 2010-2020 en GWh

Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Residencial	5 114	5 351	5 629	5 881	6 364	6 928	7 105	7 298	7 400	7 656	8 063
Comercial	4 189	4 632	5 050	5 545	6 031	6 438	6 633	6 796	6 939	7 244	6 648
Industrial	6 631	7 181	7 993	8 031	8 419	8 580	8 919	9 469	9 998	10 390	10 143

Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables, 2020).

Como ya se manifestó, el consumo eléctrico residencial está en función del tamaño de la población de clientes regulados de dicho sector, que para el año 2020 fueron de 4 751 187 usuarios en comparación con el 2011 donde el número de clientes fue de 3 675 992, habiendo un incremento de más de un millón de usuarios en casi diez años.

En la **Figura 4** se constata la evolución del número de clientes tipo residencial desde el año 2011 hasta el año 2020 y la energía eléctrica consumida en cada periodo de tiempo.

Evolución del número de clientes en el sector residencial y su consumo eléctrico. Año 2011-2020

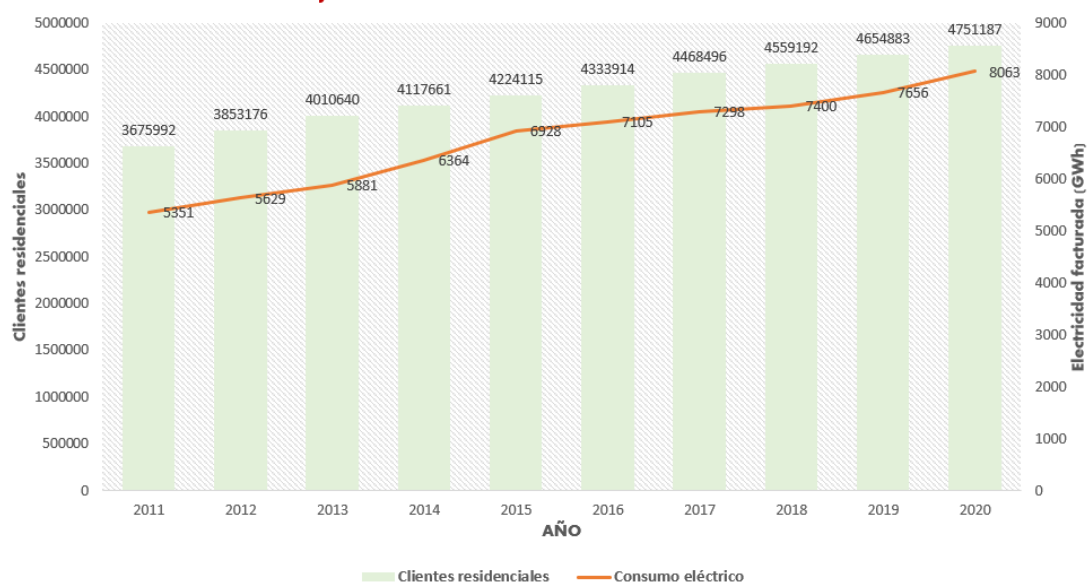


Figura 4. Evolución del número de usuarios residenciales y su consumo eléctrico.
Fuente: (ARCERNNR, 2021a).

El consumo promedio mensual de energía eléctrica representa un indicador de la cantidad de recurso eléctrico utilizado mensualmente en kWh por un cliente de una distribuidora. A nivel nacional, para el sector residencial, se han tabulado los valores registrados de consumo promedio mensual de energía eléctrica desde el año 2011 hasta el año 2020, mismos que se muestran en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Consumo promedio mensual, periodo 2011-2020 (kWh/cliente residencial)

Año	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Cliente Residencial	121,30	121,73	122,20	128,79	136,67	136,61	136,10	135,26	137,07	141,42

Fuente: (ARCERNNR, 2021).

El consumo promedio mensual en el 2020 fue 141,42 kWh/cliente, es decir, 20,12 kWh más por cliente que el registrado en el 2011 (121,30 kWh/cliente), lo que representó un incremento del 16,59 %. En la **Figura 5** se aprecia la evolución del consumo promedio, notándose una tendencia creciente a rasgos generales, especialmente en el año 2015 con 136,67 kWh y en el año 2020 con 141,42 kWh, en comparación con el año 2014 y 2019, respectivamente.

Consumo promedio mensual, periodo 2011 - 2020

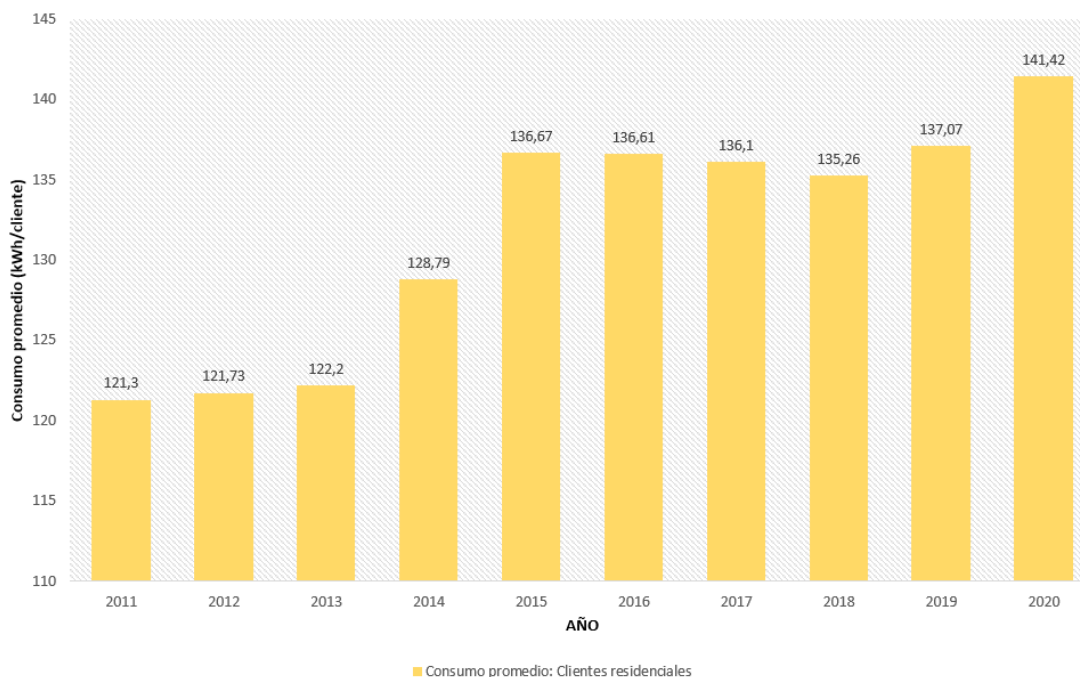


Figura 5. Consumo promedio mensual, periodo 2011 – 2020.
Fuente: (ARCERNNR, 2021).

De acuerdo con información proporcionada por la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), en el año 2019 el sector residencial del Ecuador tuvo un consumo final de electricidad de 4 743,84 kBEP (8 061,71 GWh), solo detrás del consumo final de GLP (gas licuado de petróleo) que fue de 6 607,64 kBEP (11 229,07 GWh). La generación eléctrica que abasteció a los sectores de mayor consumo de este recurso (industrial, comercial y residencial) estuvo marcada por la presencia de generación por hidroenergía y térmica no renovable, mayoritariamente, con potencias instaladas de 5 046,63 MW y 2 835,39 MW, respectivamente, y en menor proporción el recurso eólico, solar y térmico renovable.

Por otro lado, en el 2020 (año de pandemia) se consumió electricidad por un valor de 4 995,97 kBEP (8 490,18 GWh), siendo superado por el consumo de GLP cuyo valor fue de 6 740,01 kBEP (11 454,02 GWh). El abastecimiento de recurso hidroeléctrico fue de 5 064,16 MW y de térmica no renovable fue de 2 840,3 MW.

4.1.3 Relación entre el crecimiento económico y el consumo eléctrico

El consumo eléctrico que cada habitante experimenta está debidamente influenciado por el poder adquisitivo del mismo, que a su vez depende del nivel de desarrollo del país o región donde se encuentra. El producto interior bruto (PIB) es un indicador económico que indica el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos por un país dentro de un

lapso. Sirve como indicativo de la riqueza de una nación, siendo su cálculo muy laborioso o complejo (Sevilla, 2012).

Para el caso del Ecuador se expone en la **Figura 6** la evolución del producto interior bruto desde el año 2009 al 2019, verificando que existió un crecimiento del país del 31,8 %, al pasar de un valor de 77,194 mil millones de dólares en 2009 a 101,702 mil millones de dólares en 2019, considerando los precios constantes del 2010 (Banco Mundial, 2020).

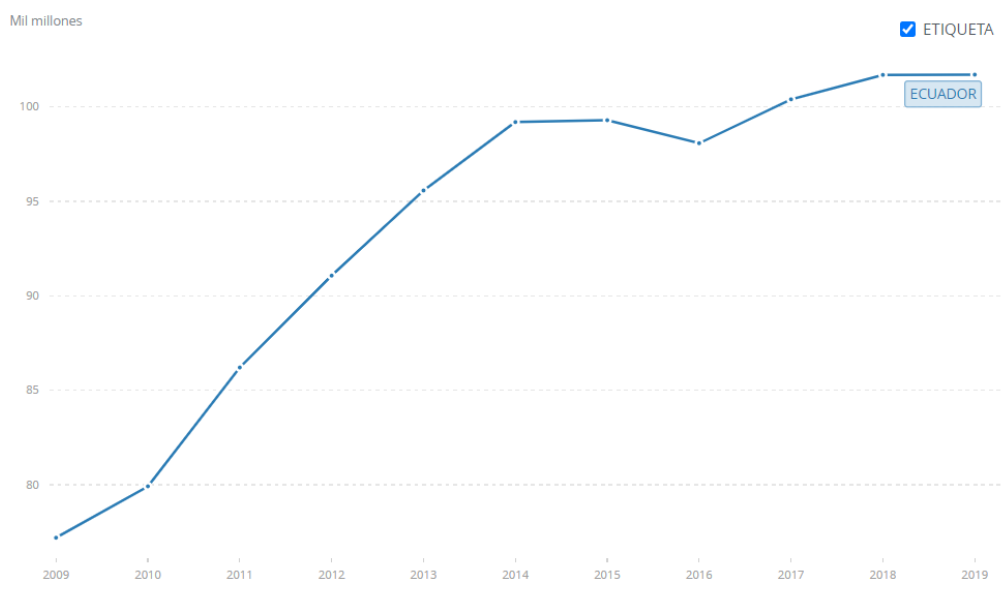


Figura 6. Evolución del PIB para Ecuador. 2009-2019
Fuente: (Banco Mundial, 2020)

Cabe hacer una observación del crecimiento económico que ha tenido el Ecuador a partir del año 2014. El Banco Central del Ecuador (2015) indicó que durante el 2014 el PIB del país tuvo un balance positivo de 3,8 %, ubicándose entre los 4 países de mayor crecimiento de América del Sur. Este crecimiento sobresaliente estuvo ligado al aumento del gasto de consumo final de los hogares, seguido por las exportaciones de bienes y servicios e inversión.

Como se evidencia en la **Figura 7** la evolución positiva de la economía nacional se traduce a un mayor consumo energético por habitante (BEP/habitante), que para el periodo de análisis mostró un incremento de un 10,7 %, siendo en el año 2009 de 4,94 BEP/hab. y en el 2019 de 5,47 BEP/hab. Hay que señalar que un BEP (barril equivalente de petróleo) es una unidad energética que indica la energía liberada durante la quema de un barril de crudo.



Figura 7. Consumo energético por habitante (BEP/hab.).
Fuente: (Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables, 2021).

Para el año 2020 existió una disminución significativa en el consumo energético global de todo el Ecuador, debido a la pandemia del Covid-19 y las medidas restrictivas que se implementaron, lo cual frenó las actividades industriales y comerciales que contribuyen en gran medida a la demanda energética. Por este motivo el consumo por habitante se redujo a 4,75 BEP/hab., correspondiéndose con la caída del PIB nacional, que fue de 93,82 mil millones de dólares (Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables, 2021).

4.1.4 Análisis de la tarifa eléctrica en el Ecuador

Para las empresas eléctricas como la de AMBATO, AZOGUES, CNEL BOLÍVAR, CENTROSUR, COTOPAXI, NORTE, RIOBAMBA y SUR se tiene en la **Tabla 3** los cargos tarifarios únicos para usuarios residenciales según el rango de consumo.

Tabla 3. Cargos tarifarios únicos

Rango de consumo (kWh)	Energía (USD/kWh)	Comercialización (USD/Consumidor)
1-50	0,091	
51-100	0,093	
101-150	0,095	
151-200	0,097	
201-250	0,099	
251-300	0,101	1,414
301-350	0,103	
351-500	0,105	
501-700	0,1285	
701-1000	0,1450	

1001-1500	0,1709
1501-2500	0,2752
2501-3500	0,4360
Superior	0,6812

Fuente: (ARCERNNR, 2021).

Los valores de los cargos tarifarios otorgan información sobre el valor de Energía activa total que un usuario residencial genera. A este resultado se le suma o resta valores de subsidio y pagos a otras entidades según el rango de consumo establecido por las empresas eléctricas. Para el caso de la EERSSA se tienen las siguientes condiciones:

- Existen los subsidios por la cocina eléctrica y el calentamiento de agua (Programa PEC) que entre los dos se traduce a un total de 100 kWh (a 0,09 USD/kWh) que el estado ecuatoriano “regala” a los usuarios que dispongan de estos servicios. La adición de la Energía activa total a este subsidio genera el denominado Valor Consumo.
- Si el usuario ha consumido entre 1 y 70 kWh le corresponde un Subsidio Cruzado Beneficiado que se resta del Valor Consumo, caso contrario se suma un Subsidio Cruzado Solidario que es el 10% de la suma entre el Valor Consumo y el costo de comercialización.
- Si el usuario ha consumido entre 1 y 110 kWh entra en el régimen de tarifa de la dignidad, por lo que para el Valor Consumo se considera directamente que el precio de la energía es de 0,04 USD/kWh.
- Se toma en cuenta el costo de comercialización con un valor fijo de 1,414 USD/Consumidor.
- Hay que considerar el precio del Servicio de Alumbrado Público General (SEAPG) según el Pliego Tarifario para Empresas Eléctricas de agosto de 2015.
- Así mismo se toma en cuenta el Subsidio del Adulto Mayor y la contribución al cuerpo de bomberos, éste último con un valor fijo de 2,13 USD.

Una expresión que describe el pago mensual por consumo de electricidad con los parámetros antes mencionados es la **Ecuación 1**.

$$V_T = E_T - PEC + C_C \pm S_C - S_{am} + SAPG + C_b \quad (1)$$

Donde:

- V_T : valor total a pagar en [USD]
- E_T : monto por energía activa total en [USD]

- PEC: subsidio por cocina eléctrica y calentamiento de agua en [USD]
- C_C: costo de comercialización en [USD]
- S_C: subsidio cruzado en [USD]
- S_{am}: subsidio del adulto mayor en [USD]
- SAPG: servicio de alumbrado público en [USD]
- C_b: contribución a los bomberos en [USD]

La **Ecuación 2** permite deducir el precio a pagar de la electricidad consumida por un usuario, así como el ahorro económico a partir de una medida de eficiencia energética:

$$A_{ec} = E_{cm} * T_e \quad (2)$$

Donde:

- A_{ec}: total de dinero a pagar o dinero ahorrado en [USD/mes]
- E_{cm}: energía consumida el mes en [kWh/mes]
- T_e: tarifa eléctrica en [USD/kWh]

4.1.5 Red eléctrica interna de usuarios residenciales

El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) pretende sentar las bases del desarrollo ordenado en materia de hábitat y asentamientos humanos desde la promoción de políticas habitacionales y constructivas en todo el territorio nacional.

Como resultado del interés social por el desarrollo urbano y vivienda ha surgido la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) como una actualización del anterior Código Ecuatoriano de la Construcción. La NEC se establece como una normativa que prioriza la calidad de vida de los ecuatorianos y promueve la construcción de una cultura de seguridad y prevención; por tanto, adopta los principios básicos para el diseño sismo resistente de las estructuras; determina criterios óptimos de seguridad y calidad en las edificaciones; perfecciona los mecanismos de control y mantenimiento en los procesos constructivos; busca la eficiencia energética de las edificaciones; ampara el cumplimiento de los principios básicos de habitabilidad y salud; y además fija responsabilidades, obligaciones y derechos de todos los involucrados en la construcción (MIDUVI, 2018).

Dentro del eje de Servicios Básicos dispuesto en la NEC, que tiene como finalidad establecer las especificaciones técnicas y requisitos mínimos que deben cumplirse en el diseño y ejecución de instalaciones eléctricas interiores para uso residencial (NEC-SB-IE), se pretende prevenir, minimizar o eliminar los riesgos de origen eléctrico, al ofrecer condiciones de seguridad para las personas y sus propiedades. (MIDUVI, 2018, p. 4)

4.1.5.1 Principios generales de las instalaciones eléctricas residenciales.

La instalación eléctrica debe salvaguardar la integridad de las personas y bienes materiales contra los peligros que se pudieran presentar por el uso inadecuado de la electricidad, así como el acatamiento de regímenes de calidad y continuidad del servicio. El diseño eléctrico se basa en lo expuesto en los planos arquitectónicos y en características físicas de la vivienda a intervenir. Aparte, debe existir un alto grado de coordinación y compatibilidad entre los diseños eléctrico, telefónico, electrónico, hidráulico, estructural y sanitario (MIDUVI, 2018).

En el diseño o inspección de las instalaciones eléctricas domiciliarias se deben tomar en cuenta las siguientes pautas:

- ✓ **Para iluminación:** Cada salida de iluminación tendrá una carga máxima de 100 Vatios (W).
- ✓ **Para tomacorrientes:** Cada salida de tomacorriente tiene una carga de 200 W.
- ✓ **Para cargas especiales:** Son equipos cuya potencia sobrepasa los 1 500 W, como pueden ser: cocina eléctrica, vehículos eléctricos, calefacción, aire acondicionado, ducha eléctrica, etc.

En función del área de construcción de la vivienda, la normativa NEC-SB-IE propone un número mínimo de circuitos de iluminación y tomacorrientes (fuerza), (ver **Tabla 4**).

Tabla 4. Clasificación de las viviendas según el área de construcción

TIPO DE VIVIENDA	Área de construcción (m ²)	Número mínimo de circuitos	
		Iluminación	Tomacorrientes
Pequeña	A < 80	1	1
Mediana	80 < A < 200	2	2
Mediana grande	201 < A < 300	3	3
Grande	301 < A < 400	4	4
Especial	A < A < 400	1 por cada 100 m ² o fracción de 100 m ²	1 por cada 100 m ² o fracción de 100 m ²

Fuente: (MIDUVI, 2018).

4.1.5.2 Circuitos de iluminación, fuerza y especiales.

Los circuitos independientes de las viviendas son el conjunto de circuitos eléctricos que distribuyen ordenadamente el consumo de energía eléctrica del tablero de distribución aguas debajo de la vivienda, y cumplen con el rol de alimentar a todos los elementos instalados, sean estos puntos de luz, tomacorrientes o aparatos conectados directamente (ducha eléctrica, calentador de agua para lavaplatos, calefón eléctrico, etc.), (ver **Figura 8**).

Todos los circuitos eléctricos tienen que cumplir con las siguientes características:

- a) Los conductores deben dimensionarse para soportar una corriente no menor a 125 % de la corriente de carga máxima a servir.
- b) Cada circuito debe disponer de su propio neutro o conductor conectado a tierra.
- c) Cada circuito debe disponer de su propia protección.
- d) Ningún circuito debe compartir servicios entre plantas o niveles diferentes de la vivienda (MIDUVI, 2018).

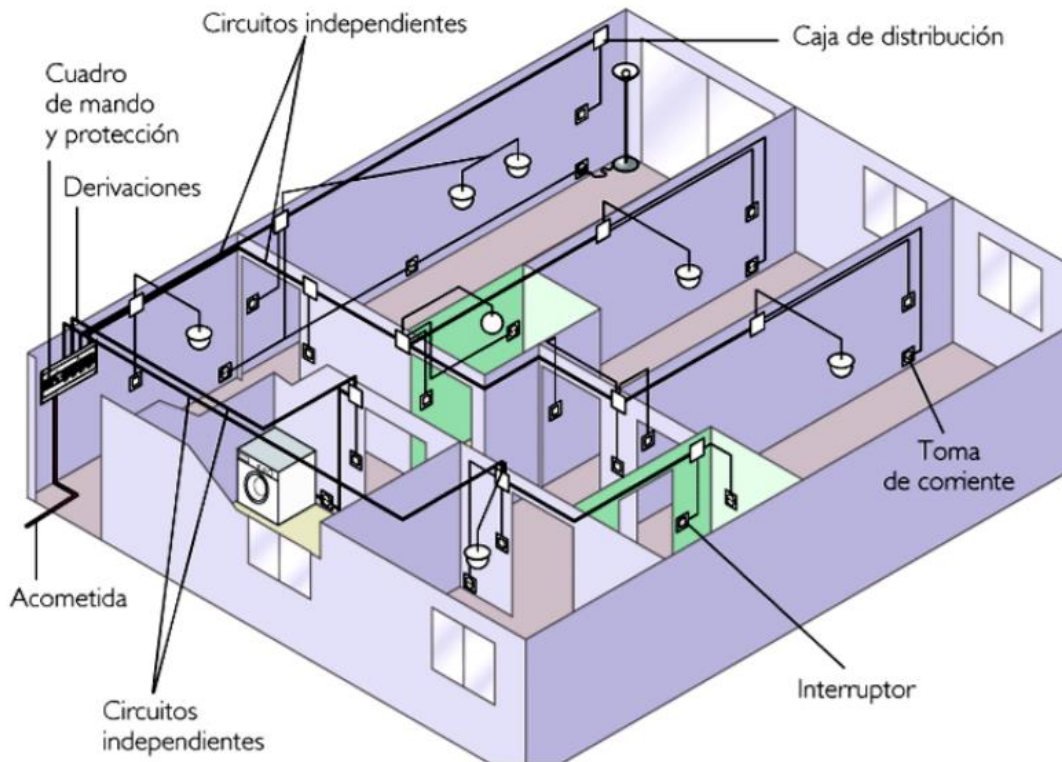


Figura 8. Circuitos eléctricos independientes.
Fuente:(Inge mecánica, 2018).

Los **circuitos de iluminación** deben ser proyectados para abastecer una carga máxima de 15 amperios y no sobrepasar los 15 puntos de iluminación, es decir, no tener más de 1 500 W de potencia instalada en cada circuito de iluminación.

Los **circuitos de tomacorrientes** deben ser diseñados considerando salidas polarizadas (fase, neutro y tierra) para soportar una capacidad máxima de 20 amperios de carga por circuito y no exceder las 10 salidas, es decir, no sobrepasar la capacidad máxima de 2 000 W por cada circuito.

Para los **circuitos especiales** como pueden ser: cocina eléctrica, vehículos eléctricos, calefacción, aire acondicionado, ducha eléctrica, equipos hidroneumáticos, ascensores, equipo

médico, calentador eléctrico de agua, calefón eléctrico, etc., se deben diseñar individualmente como circuitos exclusivos.

De acuerdo con lo especificado por CENTROSUR (2019) se sugiere la implementación del factor de diversificación (FD) en los circuitos al interior de la vivienda (iluminación, fuerza, especiales, etc.) y de coincidencia (FC) en los tableros de distribución para determinar la demanda total del sistema, según lo expuesto en la **Tabla 5**.

Tabla 5. Factores de diversificación, coincidencia y potencia.

Factores a utilizar	Residencial	Comercial	Industrial
Diversificación			
<i>Punto de iluminación</i>	0,70	1	1
<i>Toma de corriente</i>	0,35	0,70	0,70
<i>Cocina eléctrica (inducción)</i>	0,80	1	1
<i>Cargas especiales (Ducha)</i>	1	1	1
Coincidencia	0,70	0,80	1
Factor de potencia	0,92	0,92	0,92

Fuente: (CENTROSUR, 2019).

4.1.5.3 Centros de carga.

Un centro de carga es un compartimiento en común para cada uno de los circuitos por donde se derivará la energía eléctrica proveniente de la red pública. Consiste en una o más cajas metálicas instaladas dentro de cualquier edificación en donde se encuentran las protecciones que gobiernan a cada circuito eléctrico. Los tableros de distribución o centros de carga deben ajustarse a los siguientes parámetros:

- a) Estarán en un lugar seco próximo a las cargas o receptores parciales de la instalación eléctrica, además, se debe contar con acceso cómodo para actividades de reconexión y mantenimiento.
- b) El diagrama unifilar estará ubicado en la parte interna de la tapa del tablero con la información referida a cada circuito con su protección.
- c) Cada fase debe estar oportunamente balanceada.
- d) Por cada cinco salidas disponibles de los tableros de distribución, se debe dejar una de reserva.
- e) Cada circuito dispone de su protección termomagnética.

f) La altura de instalación debe ser a 1,60 metros desde el nivel del piso a la base del tablero.

g) Debe existir una barra de neutro y tierra en cada tablero de distribución.

El calibre mínimo recomendado desde el medidor hasta el tablero de distribución, debe ser el de calibre 6 AWG de cobre aislado tipo THHN, (ver **Figura 9**) (Electrocables, 2018).



Figura 9. Tablero de distribución modelo Square D.
Fuente:(Catatumbo, 2020).

4.1.5.4 Conductores.

Para la red eléctrica interna de usuarios residenciales, el conductor eléctrico, generalmente de cobre, es el material por el que circula la corriente eléctrica hacia las distintas cargas conectadas por lo que debe poseer una baja resistencia al movimiento de la corriente.

La selección del conductor adecuado para cada circuito eléctrico dependerá de su máxima capacidad de corriente que podrá soportar, para lo cual se expone en la **Tabla 6** los calibres de conductores de cobre (Cu) disponibles en el catálogo de Electrocables, los cuales son del tipo THHN, guardando concordancia con lo estipulado en la NEC-SB-IE.

Tabla 6. Conductores de cobre, sección transversal y capacidad.

Calibre (AWG o kcmil)	Sección transversal (mm ²)	Capacidad de corriente (A)
14	2,08	25
12	3,31	30
10	5,261	40
8	8,367	55
6	13,3	75
4	21,15	95

Fuente:(Electrocables, 2018).

El conductor de cobre THHN es apto para 600 V, aislado con policloruro de vinilo (PVC) 90°C, y chaqueta de poliamida (nylon), resistente a la humedad, calor elevado, aceite y gasolina, (ver **Figura 10**).



Figura 10. Conductores eléctricos de cobre aislado tipo THHN.
Fuente:(Electrocables, 2018).

Para los **circuitos de iluminación** se toman en cuenta los siguientes aspectos:

- El calibre del conductor del neutro debe ser igual al conductor de las fases.
- En circuitos de iluminación se utiliza conductor de cobre aislado tipo THHN con una sección mínima de $2,5 \text{ mm}^2$ (14 AWG) para la fase y el neutro.

En el **circuito de fuerza o tomacorrientes** se consideran los siguientes parámetros:

- El calibre del conductor del neutro debe ser igual al conductor de las fases.
- Se utiliza conductor de cobre aislado tipo THHN con una sección mínima de 4 mm^2 (12 AWG) para la fase y el neutro.
- El calibre del conductor de tierra se fija conforme lo indicado en la **Tabla 7**.

Para los **circuitos especiales** hay que tomar en cuenta las siguientes consideraciones:

- El calibre del conductor de tierra se establece según lo expuesto en la **Tabla 7**.
- En circuitos de cargas especiales se utiliza conductor de cobre aislado tipo THHN con una sección mínima de $5,26 \text{ mm}^2$ (10 AWG) para las fases (MIDUVI, 2018).

Tabla 7. Tamaño de los conductores de tierra para equipos.

Capacidad del dispositivo automático de protección contra sobrecorriente en el circuito antes de los equipos. (A)	Tamaño nominal mm ² (AWG o kcmil)	
	Conductor de cobre	Conductor de aluminio
15	2,08 (14)	-
20	3,31 (12)	-
30	5,26 (10)	-
40	5,26 (10)	-
60	5,26 (10)	-
100	8,37 (8)	13,3 (6)
200	13,3 (6)	21,2 (4)
300	21,2 (4)	33,6 (2)
400	33,6 (2)	42,4 (1)

Fuente:(Electrocables, 2018).

4.1.5.5 Protecciones.

Son dispositivos electromecánicos que se encargan de proteger a la instalación eléctrica o a las personas ante fallas inusuales o mal funcionamiento del sistema de abastecimiento eléctrico, mismas que pueden ser por sobrecarga de alguna protección o cortocircuito entre la línea viva (fase) y el neutro.

Para el caso de Ecuador, estos dispositivos deben ser interruptores termomagnéticos automáticos del tipo modular empotrable en riel DIN de 35 mm, fabricados bajo la Norma IEC 60898-1, acorde con el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 091, capacidad disruptiva 6 o 10 kA simétricos RMS y bajo las siguientes condiciones generales de puesta en marcha, (ver **Figura 11**):

- Se dimensionan según la capacidad de los circuitos a proteger y al funcionamiento de las curvas de disparo intensidad-tiempo.
- Se hallan en tableros de distribución o centros de carga.
- Deben poseer un nivel de tolerancia contra partículas sólidas y el agua, con al menos un grado de protección de IP 20.
- La protección del circuito especial de la cocina eléctrica de 220/240 V debe realizarse mediante un interruptor termomagnético bipolar mínimo de 40 amperios, instalado en el interior del tablero de distribución.



Figura 11. Interruptor termomagnético automático
Fuente:(PROMART, 2021).

4.1.6 Influencia del tipo de vivienda en el consumo eléctrico

Según INEC (2010), en el cantón Loja existen 71 105 viviendas entre particulares y colectivas, y pueden ser del siguiente tipo:

- Casa/villa
- Departamento
- Mediagua
- Cuarto
- Covacha
- Rancho
- Choza
- Otra vivienda particular

Los tipos de viviendas mencionados anteriormente difieren entre sí, ya sea por el tamaño o espacio disponible, materiales usados en su construcción, acabados, etc. El consumo energético del sector residencial en las ciudades del Ecuador depende de la situación geográfica, tamaño de las viviendas y de sus posibilidades económicas.

4.1.7 Usos finales de la energía. Sector residencial

El uso final de la energía eléctrica en el sector residencial está destinada a la refrigeración de alimentos, iluminación, aire acondicionado, entretenimiento, calentamiento de agua, etc. La cuantificación desmenuzada del aporte energético de cada aparato eléctrico permitirá aplicar las respectivas medidas de ahorro energético (CONELEC, 2013).

De acuerdo con estudios de Abad & Aguaiza (2019) en el año 2017, la región Costa fue el mayor consumidor residencial de electricidad con un 55 %, seguido de la Sierra con 40,5 %, la región de la Amazonía con 3,11 % y finalmente la península Insular con 0,3 %. Esto invita a deducir que en la región Litoral los aparatos que más aportan pudieran ser el aire acondicionado

y el sistema de refrigeración por su localización geográfica y condición climática, lo que, dependiendo de la fuente energética utilizada en la generación de electricidad, puede representar un efecto drástico en el desarrollo del cambio climático.

Teniendo como referencia a la ciudad de Cuenca como una zona de características geográficas y climáticas similares a la ciudad de Loja, se puede tener un primer criterio aproximado de los usos finales de la electricidad en los usuarios residenciales. En la **Figura 12** se expone para el año 2019 la distribución de consumo eléctrico para el sector residencial urbano de la ciudad de Cuenca.

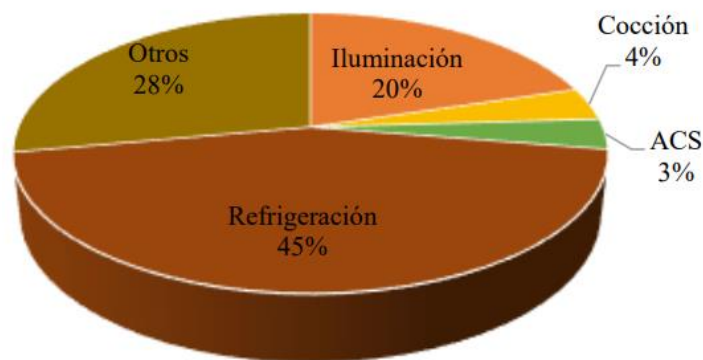


Figura 12. Usos finales de la electricidad en la zona urbana de la ciudad de Cuenca
Fuente: (Abad & Aguaiza, 2019).

El consumo dado por iluminación ha sido debido a la presencia de tecnologías en lámparas del tipo Led y ahorradores; la cocción está determinada por la introducción de las cocinas de inducción; el calentamiento de agua se lleva a cabo por duchas o calefones eléctricos; el consumo de las refrigeradoras depende de la calificación energética dada de fábrica; y en el resto de artefactos eléctricos se engloban a los electrodomésticos de cocina, limpieza y demás aparatos electrónicos (Abad & Aguaiza, 2019).

4.1.8 Defectos asociados en instalaciones eléctricas

Se pueden destacar los siguientes defectos o anomalías en las instalaciones eléctricas: sobretensiones, subtensiones y sobreintensidades. Estos podrían provocar situaciones de peligro como calentamiento de materiales eléctricos, incendios, funcionamiento indebido de equipos, etc.

4.1.8.1 Sobretensiones.

Es un aumento considerable del voltaje de la red eléctrica, lo que ocasiona un daño a los equipos y su aislamiento si es que no ha sido proyectado correctamente (Vera, 2015).

4.1.8.2 Subtensiones.

Es una reducción del nivel de tensión, esto no provoca daños a la red eléctrica, sin embargo, hace que los aparatos conectados no funcionen adecuadamente o lo hagan intempestivamente (Vera, 2015).

4.1.8.3 Sobreintensidades.

Se relaciona con el incremento de la corriente en una instalación eléctrica debido a sobrecargas o cortocircuitos, donde las primeras se originan cuando la carga conectada excede a la máxima permitida por un circuito y la segunda sucede cuando hay un contacto entre los conductores de alimentación (camino de poca resistencia) (Vera, 2015).

Otro problema que podría aparecer en cualquier instalación son las denominadas corrientes de fuga que se producen cuando la corriente eléctrica fluye fuera de su circuito eléctrico, es decir fuera de los hilos conductores de energía eléctrica, debido a deficiencias en el aislamiento de los conductores de la instalación o del aparato conectado. Esto provoca que se eleve el consumo eléctrico en la edificación. El proceso que se sigue para detectar estas corrientes de fuga es el siguiente:

- Apagar todas la luces y aparatos eléctricos
- Desconectar todos los dispositivos
- Comprobar con un contador de energía o pinza amperimétrica la actividad eléctrica en la instalación.

De manera visual lo que se tendría que constatar es si existen cables pelados que estén haciendo contacto con la pared, cajetín metálico de un tomacorriente/interruptor o en alguno de los tableros de distribución. Una fuga dentro del ducto es más complicada por lo que se debería de recurrir a mediciones de aislamiento con un megómetro. Una pinza amperimétrica permitirá evaluar que la corriente que pase por la fase y neutro deberá ser idéntica; una diferencia notable entre ambos valores indicará que existe una fuga de corriente; o si hay una corriente por el cable de tierra, esto evidenciará que hay alguna fuga por el circuito de fuerza o en aparatos de mayor potencia.

4.1.9 Consumos fantasmas o stand by

Es el consumo de energía eléctrica que experimentan ciertos aparatos por el solo hecho de estar conectados a un tomacorriente, sin necesidad de que estén siendo utilizados y a la espera de que los hagamos funcionar. Aquí pueden citarse equipos como: la TV, PC, impresora, router, microondas, radio, despertador (Diez, 2022).

4.1.10 Comportamiento de la carga instalada

A los usuarios del tipo residencial, comercial, industrial, alumbrado público, etc., les corresponde un comportamiento característico en lo que respecta a la dinámica de la carga instalada dentro de una edificación. La característica de la carga afecta al sistema eléctrico de distribución y no al revés, por lo tanto, la manera en que se gestiona la energía por parte de los usuarios y el control ejercido por las empresas eléctricas hará que el sistema de distribución funcione adecuadamente o colapse.

En la **Figura 13** se detalla la influencia de las características de las cargas sobre las redes de distribución.

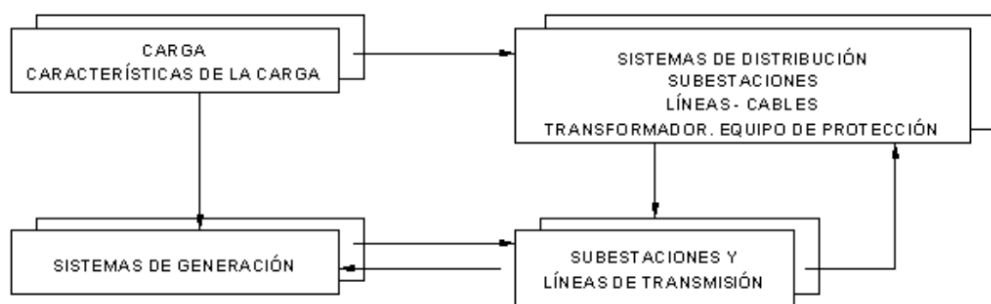


Figura 13. Influencia de las características de la carga en redes
Fuente: (Ramírez, 2012).

4.1.10.1 Carga instalada (CI).

Es la suma de todos los valores de potencia correspondientes a las cargas instaladas dentro de una edificación. La unidad representativa es el kVA, MVA, kW o MW y matemáticamente se expresa con la **Ecuación 3** (Ramírez, 2012).

$$CI = \sum \text{Potencias nominales de las cargas} \quad (3)$$

Donde:

- *CI*: carga instalada [kW]

4.1.10.2 Capacidad instalada (PI).

Es la suma de la potencia nominal de los equipos o aparatos conectados a las líneas de suministro eléctrico (generadores, transformadores). Su unidad de medida puede ser el kVA o el kW.

4.1.10.3 Carga máxima (D_M).

También se conoce como demanda máxima y se refiere a la máxima carga localizada dentro de un sistema eléctrico en un periodo de tiempo. Este instante de tiempo se corresponde con el momento donde ocurre la mayor caída de tensión, pérdidas de energía y potencia en el sistema. Su unidad es el kW o kVA.

4.1.10.4 Carga promedio (D_P).

Se refiere a una demanda constante dentro de un periodo de tiempo y que genera el mismo consumo eléctrico que el requerido por la curva de carga real sobre el mismo periodo de tiempo. Se define como la relación entre la energía consumida en un tiempo T y ese mismo intervalo. Matemáticamente se expresa con la **Ecuación 4 y 5** (Ramírez, 2012).

$$D_P = \frac{\text{Energía consumida en el tiempo } T \text{ en kWh}}{T \text{ en h}} \quad (4)$$

$$D_P = \frac{\int_0^t CDT(t)dt}{T} \text{ en kW} \quad (5)$$

Donde:

- D_P : Carga promedio [kW]
- T : Periodo de tiempo [h]
- CDT : consumo de energía en un periodo de tiempo [kWh]

4.1.10.5 Curva cronológica de carga diaria.

En la **Figura 14** se muestra una representación gráfica de las variables eléctricas antes mencionadas para un comportamiento dinámico de la carga en un sistema aleatorio. La curva cronológica de carga diaria (CCCD) presenta las demandas energéticas a lo largo de un día con todas los valles y picos según los hábitos de consumo.

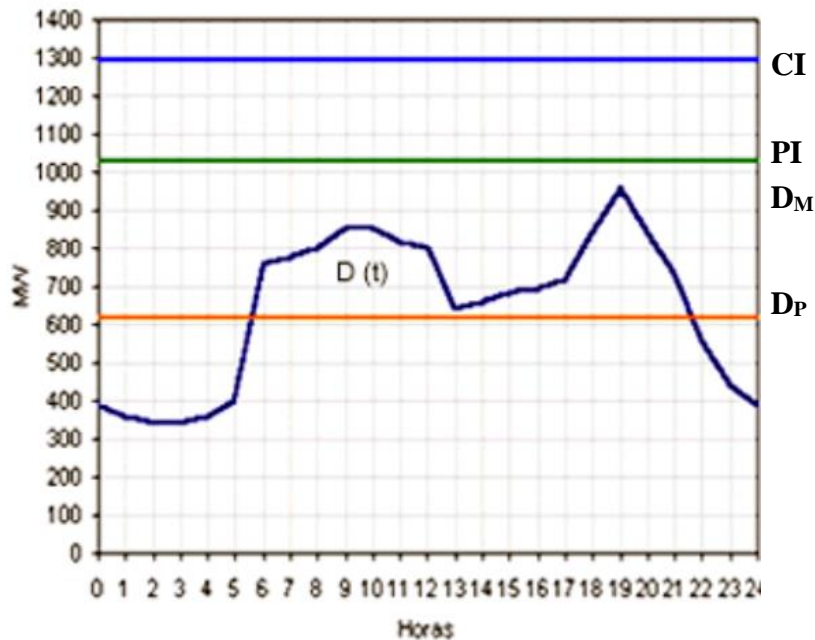


Figura 14. Curva de carga para un sistema aleatorio
Fuente: (Ramírez, 2012).

4.2 Capítulo 2: Marco legal y regulatorio

4.2.1 Ley orgánica de eficiencia energética

4.2.1.1 Disposiciones fundamentales.

La Ley orgánica de eficiencia energética aprobada por la Asamblea Nacional del Ecuador tiene como objetivo instaurar el marco legal y regulatorio del Sistema Nacional de Eficiencia Energética – SNEE, y promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, a fin de aumentar la seguridad energética del país. Al ser más eficiente su uso, incrementa la productividad energética, influye en la competitividad de la economía nacional, desarrolla una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética, contribuye a paliar el cambio climático y se aseguran los derechos de las personas a vivir en un ambiente sano y a tomar decisiones concienciadas (Asamblea Nacional, 2019).

Los principios que reflejan el interés nacional de los entes políticos por el buen manejo del recurso energético están plasmados en la Constitución de la República y tienen que ver con:

- Racionalización de la energía en todas sus formas.
- Incentivos por el uso eficiente de la energía en lo productivo y competitivo.
- Promoción de tecnologías limpias para reducir los GEI (gases de efecto invernadero).
- Influir nacionalmente en cuanto al accionar energético.
- Reflejar cuantitativamente la información requerida por los consumidores y por quienes ejecutan estudios energéticos.

La implementación de esta ley se rige por conceptos técnicos que son necesarios entender y aplicar en cualquier estudio energético:

- **Auditoría energética:** servicio técnico-económico que consiste en un estudio para evaluar si el SGE (sistema de gestión energética) de una edificación resulta favorable en cuanto al ahorro energético y económico, o si es posible realizar mejoras.
- **Consumidor de energía:** persona o institución que por el hecho de realizar alguna actividad consume una cantidad determinada de energía.
- **Eficiencia energética:** conjunto de acciones implementadas dentro de una edificación para lograr un ahorro energético, sin afectar el confort o calidad de vida de quienes se encuentran ahí.
- **Etiquetas de eficiencia energética:** indicador visual del consumo energético de un producto (electrodoméstico, aparato eléctrico, electrónico, etc.).

- **Indicador de eficiencia energética:** valor numérico que mide la relación entre el consumo energético de un producto con el trabajo que lleva a cabo.

4.2.1.2 Sistema nacional de eficiencia energética.

Se establece el Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE) como el agrupamiento de instituciones, políticas, planes y programas de inversión alineados en el cumplimiento de los objetivos y metas propuestos en el Plan Nacional de Eficiencia Energética – PLANEE.

4.2.1.3 Sectores regulados.

Son los entes que suministran el recurso energético y aquellos destinatarios que son los consumidores (sector público, industrial, comercial, transporte, residencial, entre otros) así como sus organismos rectores y reguladores, estarán regidos por esta Ley (Asamblea Nacional, 2019).

En lo que respecta a la **eficiencia energética en la construcción**, el ministerio encargado en materia de vivienda y construcción deberá coordinar con el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización) y los GADs (Gobiernos Autónomos Descentralizados) el cumplimiento de los principios y normativas pertinentes que garanticen edificaciones energéticamente eficientes, para lo cual se exigirá a todos los diseñadores, constructores, propietarios y usuarios tal deber (Asamblea Nacional, 2019).

4.2.2 Plan nacional de eficiencia energética 2016-2035 (PLANEE)

El PLANEE ha sido concebido a partir de la revisión sistemática de normativas y criterios de eficiencia energética a nivel internacional y de experiencias previas en el país.

4.2.2.1 Objetivo general del PLANEE.

El PLANEE se ha trazado el siguiente objetivo:

Incrementar el uso eficiente de los recursos energéticos mediante la ejecución de programas y proyectos de eficiencia energética en los sectores relacionados con la oferta y demanda de energía, a fin de reducir la importación de derivados del petróleo, contribuir a la mitigación del cambio climático y crear una cultura de eficiencia energética respaldada por una sólida base jurídica e institucional. (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017, p. 18)

Para cumplir con este objetivo se han trazado las siguientes acciones:

- Promover la eficiencia económica y en la sociedad en general.
- Racionalizar el consumo energético y disminuir la dependencia hacia los combustibles fósiles.

- Disminuir los costos de producción.
- Reducir los estragos en el ambiente

4.2.2.2 Meta.

En el lapso de tiempo de 2016-2035, se pretende que el valor mínimo de energía evitada en los sectores que toma en cuenta el PLANEE, sea de alrededor 543 Mbep. Este ahorro se traduce a unos USD 84 131 millones, con una disminución en las emisiones de GEI de 65 MtCO₂e.

4.2.2.3 Eje jurídico, institucional y de acceso a la información.

La eficiencia energética (EE) necesita una base jurídica-institucional de manera que pueda calar como política de estado en el futuro. La coordinación entre las instituciones reguladoras y las partes interesadas en la promoción de las medidas de EE garantiza una correcta penetración de las mismas en los temas de interés nacional. Los arreglos institucionales operan generalmente en tres ámbitos: supervisión del programa, administración y prestación de servicios y ejecución de medidas (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017).

“El objetivo sectorial de este eje es el de garantizar la estabilidad y permanencia de las políticas, planes y proyectos de eficiencia energética en el largo plazo, mediante el fortalecimiento de los marcos jurídico e institucional existentes” (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017, p. 22).

4.2.2.4 Eje residencial, comercial y público.

De acuerdo a los antecedentes energéticos expuestos en el BEN 2015 se resalta que el 57 % del consumo eléctrico en ese año estuvo dado por el sector residencial, comercial y público, así como el 18 % de la energía total consumido fue en esos mismos sectores, por lo que la idea de aplicar instrumentos regulatorios, incentivos fiscales y tributarios es pertinente ya que el consumo energético es similar y la aplicación de los distintos proyectos de eficiencia energética pueden considerarse, igualmente, comunes (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017).

Se rescatan los siguientes proyectos o iniciativas a tomar en cuenta, que desde el 2016 vienen implementándose progresivamente:

Reconversión tecnológica en iluminación residencial. De 2008 a 2014 se sustituyeron 16 millones de focos incandescentes por focos ahorradores, en los sectores Residencial, Artesanal y en entidades del sector Público.

Alumbrado público eficiente. Entre 2012 y 2014, se reemplazó 61 610 luminarias de vapor de mercurio de 175 W de potencia por luminarias de vapor de sodio de 100 W.

Programa para la renovación de equipos de consumo energético ineficiente. Al 31 de diciembre de 2016, a través de las Empresas Eléctricas de Distribución, se sustituyeron 95 652 refrigeradoras a nivel nacional, lo que generó una reducción aproximada de 38 200 MWh/año de electricidad y 5,53 MW de potencia.

Programa de eficiencia energética para cocción por inducción y calentamiento de agua con electricidad (PEC). Estuvo en ejecución a partir de agosto de 2014, tuvo como objetivo sustituir el uso de GLP por electricidad para la cocción de alimentos y el calentamiento de agua en el sector residencial.

Aseguramiento de la eficiencia energética en los sectores Público y Residencial del Ecuador (SECURE). Ejecutado por el ex MEER desde 2015, busca la participación de aparatos eléctricos eficientes en los sectores Residencial y Público mediante la divulgación del Distintivo de Máxima Eficiencia Energética (DMEE), a partir del cual se identifican los equipos que, por medio de ensayos en laboratorio, presenten las mejores condiciones de eficiencia energética (MIDUVI, 2018).

En el año 2015 se logró una reducción de 362 MW de potencia en las horas pico de mayor demanda eléctrica (19:00 a 22:00) debido a la acogida de los programas de eficiencia energética; económicamente esto representó un ahorro superior a USD 720 millones que pudiera utilizarse para una nueva infraestructura generadora de electricidad. En la **Figura 15** se observan dos curvas de demanda diaria, la una sin ejecutar proyectos de ahorro energético y la otra luego de haber implementado dichos criterios.



Figura 15. Potencia evitada debido a proyectos de eficiencia energética
Fuente: (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017).

El objetivo sectorial que se enmarca dentro del Eje residencial, comercial y público es el de “incrementar el uso eficiente de la energía en edificaciones residenciales, comerciales y

públicas y contar con una normativa que regule los criterios de habitabilidad en las edificaciones” (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017, p. 28).

Así mismo se plantea como meta que para el 2035 “el consumo acumulado de energía del sector residencial, comercial y público se reduce en al menos, 88,8 Mbep, debido a las medidas de eficiencia energética implementadas” (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017, p. 28). En la **Figura 16** se muestra la energía evitada en Mbep para este eje por acción de las medidas de eficiencia energética adoptadas en el país.

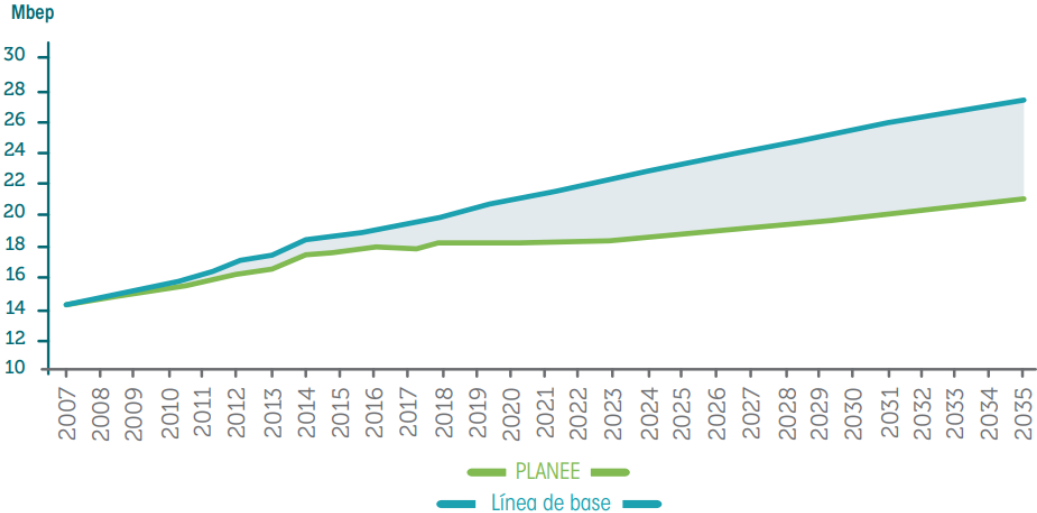


Figura 16. Energía evitada en el eje residencial, comercial y público
Fuente: (Ministerio de electricidad y energía renovable, 2017).

4.3 Capítulo 3: Sistemas de gestión energética

4.3.1 Eficiencia energética

La eficiencia energética (EE) promueve acciones que permiten el uso racional de los recursos energéticos de un lugar con el objetivo de alcanzar el máximo grado de confort a costa de la aplicación de prácticas ambientales que optimicen los recursos, evitando pérdidas que se traducen en dinero malogrado y contaminación al interior y exterior de las edificaciones.

El uso de tecnologías cada vez más avanzadas tienen gran cabida, mismas que deberían requerir menos energía para cumplir una función específica que mejore la calidad de vida y confort, alcanzando un ahorro significativo (Guillén et al., 2014).

4.3.2 Sistemas de gestión energética (SGE)

Es la parte del sistema de gestión de una organización dedicada a desarrollar e implantar su política energética, así como a gestionar aquellos elementos de sus actividades, productos o servicios que interactúan con el uso de la energía. Un SGE está relacionado con los sistemas de gestión de calidad energética y gestión ambiental, ya que se trabaja bajo la filosofía de que el uso que se le da a una determinada energía en cualquier actividad o producto, debe tener un enfoque de sostenibilidad y eficiencia energética.

Por sostenibilidad energética se puede entender como el desarrollo social, tecnológico, económico, etc., del mundo sin menoscabar los recursos finitos del mismo o provocar drásticos daños al ecosistema.

4.3.3 Norma UNE-EN ISO 50001:2018.

ISO 50001 es una regulación internacional desarrollada por ISO (Organización Internacional de Normalización) que tiene como propósito permitir la mejora continua en eficiencia energética, seguridad energética, uso y consumo de energía con un enfoque sistemático de cualquier organización y/o edificación, independientemente del tamaño, tipo y actividad desempeñada (ISOTools, 2019).

Los principales objetivos de la norma ISO 50001 son:

- ✓ Apoyar a las organizaciones en el establecimiento del uso y el consumo de energía más adecuado.
- ✓ Promover las mejores prácticas de gestión de la energía y reforzar los beneficios con la aplicación de la gestión energética.
- ✓ Apoyar la evaluación y priorización de la implementación de nuevas tecnologías más eficientes en cuanto al uso de la energía.
- ✓ Establecer un escenario para la promoción de la eficiencia energética a través de la cadena de suministro.

- ✓ Favorecer la mejora de la gestión de la energía en conjunto con proyectos de reducción de los gases de efecto invernadero.
- ✓ Permitir la integración con otros sistemas de gestión organizacionales, como el de calidad, medioambiental, salud y seguridad.

4.3.3.1 Ciclo PHVA.

Consiste en un proceso de 4 etapas que contempla entender el contexto de la organización intervenida para proponer soluciones, evaluarlas y dejar vigentes aquellas que mejores resultados generen. Se traduce en:

- **Planificar:** analizar el contexto de la organización relacionado con la dinámica de consumo energético y las oportunidades para establecer políticas energéticas, identificar los riesgos que se pueden presentar.
- **Hacer:** implementar las medidas adoptadas dentro del sitio de estudio.
- **Verificar:** evaluar y comunicar los resultados obtenidos y compararlos con los objetivos trazados inicialmente.
- **Actuar:** decidir acerca de los planes de gestión energética que mejor convengan para mantenerlos, repotenciarlos y seguir aplicándolos en busca de cumplir con las metas propuestas.

En la **Figura 17** se tiene la interrelación existente en el ciclo de mejora continua PHVA:



Figura 17. Alcance del sistema de gestión de la energía.

Fuente: (NQA, 2018)

4.3.3.2 Términos y definiciones.

Es importante aclarar conceptos que son intrínsecos dentro del ciclo PHVA y de cuyo cumplimiento secuencial dependerá la correcta implementación del sistema de gestión energética para obtener resultados de gran valía.

- **Contexto de la organización:** es entender la realidad de la edificación relacionado con el consumo, costumbres, necesidades, limitaciones, disponibilidad de recursos, etc., que afecten al rendimiento energético actual.
- **Liderazgo:** deberá existir un cabecilla que incentive el rendimiento energético en las actividades que involucren al resto de miembros, además de proporcionar los recursos para tal propósito.
- **Planificación:** buscar potenciales riesgos que conlleven a oportunidades para implementar políticas de ahorro con sus respectivos indicadores de mejora. Se incurre en la revisión energética como mecanismo para analizar el aprovechamiento actual de la energía con sus usos más significativos.
- **Soporte:** relacionado con la posibilidad de contar con recursos humanos, tecnológicos, financieros, de gestión de la información, entre otros, para incidir en el riesgo y cumplimiento de política de rendimiento energético identificados en el apartado anterior.
- **Operación:** contar con criterios que permitan mantener vigente o bajo control el plan de eficiencia energética ejecutado, siendo de importancia el mantenimiento de equipos, conocimiento de eficiencia en aparatos antes de su compra y la posibilidad de disponer de fuentes de energía renovables.
- **Rendimiento y evaluación:** recopila información luego de haber ejecutado y monitoreado las actividades del SGE para evaluar los resultados y compararlos con los esperados.
- **Mejora:** implementar acciones correctivas inmediatas y socializadas para resolver las disconformidades que pudieran existir al no haber cumplido con las expectativas trazadas en la planificación.

4.3.4 Indicadores de eficiencia energética

La norma ISO 50001:2018 resalta en su apartado de Planificación que es necesario, para una organización, disponer de indicadores de rendimiento o eficiencia energética (EnPIs) ya que los mismos cumplen funciones importantes como:

- Medir o monitorear la eficiencia energética

- Demostrar que el rendimiento energético es sobresaliente con la aplicación de las medidas de ahorro energético.

Los indicadores de eficiencia energética reflejan la energía utilizada en relación a una variable que afecte ese consumo y pueden ser, por ejemplo:

- Kilovatios hora (kWh) consumidos por sitio.
- kWh por metro lineal de producto producido.
- kWh por número de personal.
- kWh por metro cuadrado de espacio de oficina ocupado.

Los EnPIs brindan información como punto de partida para tomar decisiones y acciones para el mejoramiento de la eficiencia energética en una organización. Tiene una aplicación concisa a la hora de comparar el rendimiento energética inicial o anterior (valor de referencia) con el posterior (valor de EnPI actual) una vez que se introdujeron los planes de acción correctivos o de mejora del uso de la energía. La diferencia entre el valor de referencia y el actual es un indicio de mejora o cambio en el rendimiento energético (NQA, 2018).

En la **Figura 18** se detalla la incidencia del uso de los EnPIs en una organización.

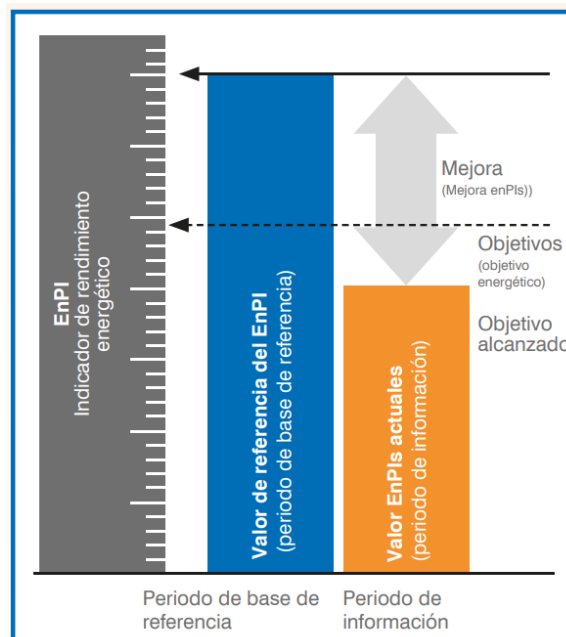


Figura 18. Implementación de los indicadores de rendimiento energético
Fuente: (NQA, 2018).

El valor energético de referencia implica un dato cuantitativo producto de la revisión energética realizada dentro de la organización. Por lo tanto, es importante definir una expresión que permita calcular los indicadores de rendimiento energético de referencia y los generados luego de la aplicación de las medidas de eficiencia energética para cada edificación o zona dentro de la misma, **Ecuación 6** (Prias et al., 2019):

$$EnPI = \frac{E_u}{V_a} \quad (6)$$

Donde:

- $EnPI$: indicador de rendimiento energético [kWh/Va]
- E_u : valor del consumo energético utilizado [kWh]
- V_a : variable actuante

Como ya se mencionó, el indicador de rendimiento energético es afectado por una variable actuante, misma que puede ser: los metros lineales, metros cuadrados, número de ocupantes, etc., de un espacio. La **Ecuación 7** es la que permite determinar el ahorro energético al comparar el indicador referencial con el generado luego de las mejoras en el rendimiento energético.

$$A_{en} = EnPI_{rf} - EnPI_{mj} \quad (7)$$

Donde:

- A_{en} : ahorro energético en [kWh/persona o kWh/m²]
- $EnPI_{rf}$: indicador energético referencial en [kWh/persona o kWh/m²]
- $EnPI_{mj}$: indicador energético mejorado en [kWh/persona o kWh/m²]

También es importante considerar las emisiones de CO₂ derivadas del consumo eléctrico de los distintos sistemas. Por eso, a manera de indicador se plantea la **Ecuación 8** para encontrar los kg de CO₂ emitidos al ambiente respecto a una variable actuante.

$$Em_{CO_2} = EnPI * F_{em} \quad (8)$$

Donde:

- Em_{CO_2} : emisiones de CO₂ [kg de CO₂/persona o kg de CO₂/m²]
- F_{em} : factor de emisión [0,1917 kg de CO₂/kWh]

Para calcular el ahorro o emisiones de CO₂ evitadas al ambiente se podría emplear la **Ecuación 9**:

$$A_{em} = Em_{CO_2rf} - Em_{CO_2mj} \quad (9)$$

Donde:

- A_{em} : ahorro de emisiones de CO₂ en [kg de CO₂/persona o kg de CO₂/m²]
- Em_{CO_2rf} : emisiones de CO₂ referenciales [kg de CO₂/persona o kg de CO₂/m²]
- Em_{CO_2mj} : emisiones de CO₂ mejoradas [kg de CO₂/persona o kg de CO₂/m²]

4.3.5 Criterios de priorización y oportunidades de mejora

La norma ISO 50001:2018 recalca la ejecución de una revisión energética sobre la organización o edificación que va a ser intervenida como parte del programa de sistemas de

gestión energética. Esta revisión se basa en la identificación de las energías utilizadas (combustible, electricidad, aire comprimido, calor, etc.), la tendencia de consumo que se ha tenido en los últimos años o meses para fijar un comportamiento homogéneo, la conversión de todas las energías a una misma unidad de medida (por lo general en kWh) (Granda, 2019).

Como el presente proyecto de titulación se enfoca al análisis del consumo eléctrico es importante acotar otras consideraciones esenciales como puede ser el levantamiento pormenorizado de las cargas eléctricas de una instalación con una estimación aproximada del consumo eléctrico que las mismas aportan al total.

Para el establecimiento de los criterios de priorización y las oportunidades de mejora es importante saber en primera instancia cuales son los usos significativos de la energía eléctrica, para lo cual se recurre a la medición y auditorías de consumo energético. Mediante la herramienta conocida como diagrama de Pareto se puede conocer cuáles son los elementos puntuales que causan los mayores consumos dentro de una edificación y por tal motivo se puede incidir sobre esa causa para generar un ahorro energético.

El diagrama de Pareto se basa en el principio de que el 20 % de las causas ocasionan el 80 % de los consumos, es decir, que, aunque existan muchos elementos que originan una determinada demanda, son pocos los que más contribuyen a ese resultado.

En la **Figura 19** se tiene un ejemplo de diagrama de Pareto aplicado a los consumos eléctricos dentro de una vivienda. En el eje “y” izquierdo se presenta el consumo de energía de cada aparato o circuito eléctrico, en el eje “y” derecho se muestra el porcentaje acumulado de los consumos eléctricos y en el eje “x” están los elementos que originan esos consumos.

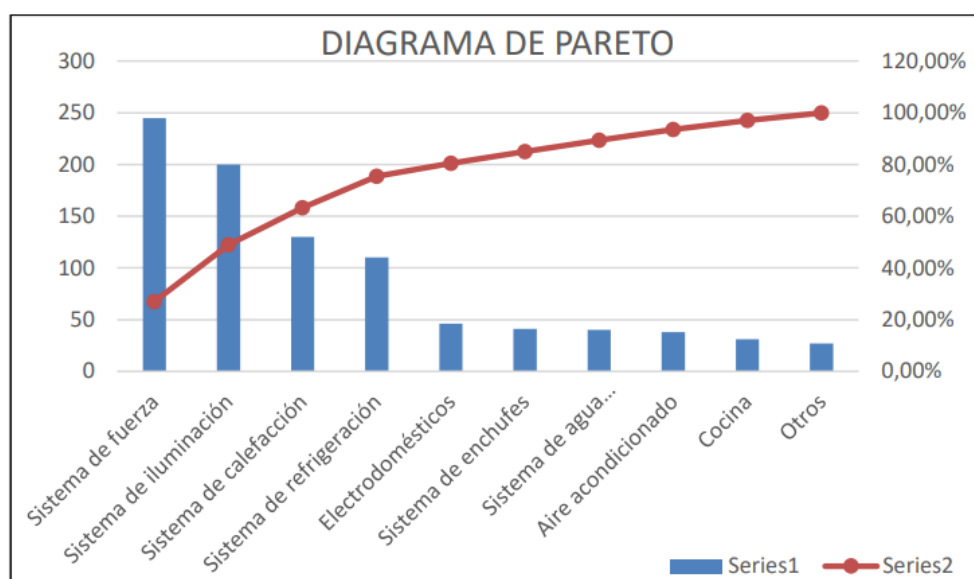


Figura 19. Diagrama de Pareto de consumos eléctricos
Fuente: (Granda, 2019).

El diagrama de Pareto presenta las siguientes ventajas:

- Prioriza las principales causas que originan un problema o circunstancia.
- Optimiza el tiempo de análisis de la realidad de una organización en todos sus aspectos.
- Es aplicable en áreas como la producción, ventas, gerencia, control de calidad, gestión energética, etc.

Los **criterios de priorización** consisten en parámetros que se consideran evaluar sobre una o varias oportunidades de mejora para estimar la viabilidad de las mismas en busca de los mayores beneficios técnicos y económicos en el marco de los sistemas de gestión energética. Es recomendable establecer escalas de calificación de acuerdo al beneficio que se obtiene al relacionar cada criterio con la oportunidad de mejora.

Granda (2019) establece los siguientes criterios a tomar en cuenta durante el cambio o mejora de los hábitos y tecnologías de consumo eléctrico, con la calificación respectiva que va desde beneficios no tan justificables hasta alcanzar una eficiencia energética significativa, (ver **Tabla 8**).

Tabla 8. Criterios de priorización para las oportunidades de mejora

N°	Criterio	Escala de calificación			
		1	2	3	4
1	Cambio de tecnologías	Mejora la eficiencia hasta un 5 %	Mejora la eficiencia entre 5-10 %	Mejora la eficiencia entre 10-15 %	Mejora la eficiencia mayor al 15 %
2	Inversión en cambio de equipo	Mayor a \$ 100	Entre \$ 50 - 100	Entre \$ 10 – 50	Menor a \$ 10
3	Tiempo de implementación	Más de 12 meses	6 – 12 meses	Menos de 6 meses	Inmediata
4	Impacto ambiental	Mayor impacto negativo en las condiciones medioambientales	Mínimo impacto negativo en las condiciones medio-ambientales	Sin cambios en las condiciones medioambientales	Mejora en las condiciones medioambientales, de salud y seguridad
5	Amortización	Más de 36 meses	13 – 36 meses	6 – 12 meses	Menos de 6 meses

Fuente: (Granda, 2019)

Las **oportunidades de mejora** surgen de la identificación previa de los usos significativos de la energía, por lo que una vez determinados se buscan las opciones que mejores

beneficios podrían generar a la edificación y se someten a una evaluación en base a los criterios de priorización antes mencionados.

A modo de ejemplo se logró evidenciar en la **Figura 19** que los sistemas de fuerza (tomacorrientes) y de iluminación son los que más consumo generan, y por ende es preciso buscar opciones que mejoren ese consumo. En la **Tabla 9** se ha plasmado la evaluación de las oportunidades de mejora cuando se decide cambiar las lámparas fluorescentes por lámparas LED y cuando se decide cambiar una refrigeradora antigua por una con etiquetado de eficiencia energética.

Tabla 9. Determinación de la oportunidad de mejora

Sistema	Descripción de oportunidad	Calificación de oportunidad					Calificación total
		Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	
Sistema de iluminación	Reemplazo de lámparas fluorescentes por lámparas LED	4	3	3	4	3	17
Sistema de fuerza	Reemplazo de refrigerador antiguo por uno con etiquetado energético	4	4	2	4	2	16

Fuente: (Granda, 2019).

En el ejemplo anterior se verifica que la opción más viable es el reemplazo de las lámparas fluorescentes por lámparas LED ya que la calificación que alcanza es mayor de acuerdo con los criterios tomados en cuenta.

4.3.6 Medidas de ahorro en energía eléctrica

4.3.6.1 Domótica.

Es el conjunto de sistemas y tecnologías capaces de gestionar inteligentemente la energía utilizada en una vivienda aplicando criterios de automatización sobre aspectos específicos como la iluminación, seguridad, encendido automático de aparatos, abastecimiento de agua, control de temperatura, etc.

La domótica está adherida a la eficiencia energética y su incorporación puede darse a los siguientes sistemas:

- **Iluminación eficiente:** se relaciona a la idea de que un sistema inteligente configura el nivel de iluminación según la hora del día y la necesidad del espacio. Evita que queden luces encendidas cuando no hay ocupantes.
- **Control automático de cortinas:** esto con el fin de aprovechar eficientemente la luz natural.
- **Control de los sistemas de climatización:** en función de la temperatura exterior, las necesidades internas, número de ocupantes, etc., se logra una mejora del confort térmico.
- **Puesta en marcha de electrodomésticos:** se programa su funcionamiento de acuerdo con la hora en que se ocupen y cuando la energía tiene un precio menor.
- **Apertura y cierre de ventanas:** se informa sobre si existen ventanas que aún no se han cerrado.
- **Grifos inteligentes:** la temperatura y caudal del agua se configura según las necesidades de los usuarios.

Otro aspecto importante es la monitorización de consumos energéticos dentro del hogar, lo cual otorga la información necesaria para modificar hábitos de consumo, reemplazar equipos. Adicionalmente se complementa con la introducción de sistemas de autoconsumo como el fotovoltaico, lo cual permite gestionar la producción de electricidad de forma eficiente desde cualquier dispositivo inteligente como laptop, tablet, smartphone, etc.

El concepto de las casas inteligentes o Smart Home engloba lo antes mencionado, y permite ampliar la visión que se tiene acerca del ahorro energético, confort, seguridad, comunicación y accesibilidad al aplicarlo en cada hogar que así lo requiera, (ver **Figura 20**) (Sarachu, 2021).



Figura 20. Vivienda inteligente/Smart Home
Fuente: (Sarachu, 2021).

4.3.6.2 Etiquetado de eficiencia energética en equipos.

Es un indicador gráfico del ahorro y eficiencia energética de los equipos. Por medio de letras clasifica a los equipos según su grado de eficiencia energética donde las primeras letras hacen referencia a artefactos con un ahorro significativo en la energía, mientras que las últimas letras se refieren a los menos eficientes. Las letras suelen ir desde la A (más eficiente) hasta la G (menos eficiente).

Los artefactos de uso doméstico que han adoptado este distintivo son por lo general las refrigeradoras, ducha eléctrica, aire acondicionado, lavadora, aspiradora. Se muestra en la **Figura 21** un ejemplo del etiquetado energético para una refrigeradora.

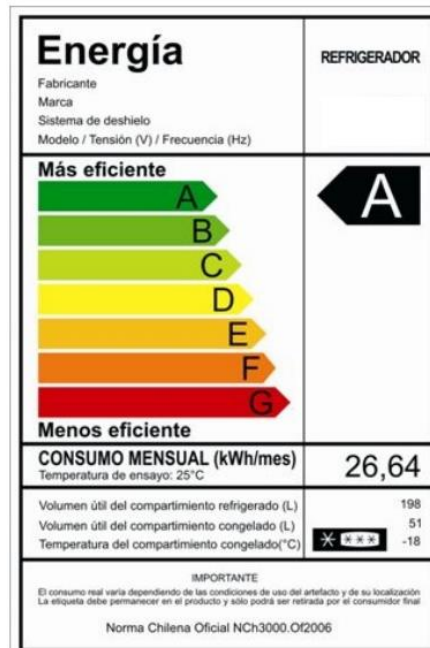


Figura 21. Etiquetado energético de una refrigeradora
Fuente: (Gobierno de Chile, 2010).

4.3.6.3 Iluminación.

Hasta hace algunas décadas las lámparas incandescentes tenían gran penetración en todas las edificaciones, instituciones, hogares, etc., ya que era lo que la tecnología de ese instante podía ofrecer. En los últimos veinte años han surgido nuevas tecnologías de iluminación como son las lámparas fluorescentes compactas (CFL) y LED, siendo mucho más eficientes en cantidad de luz producida y vida útil respecto a las incandescentes.

Al hablar de iluminación es importante mencionar el concepto de **rendimiento luminoso** o **coeficiente de eficacia luminosa** (η) que se refiere a la cantidad de luz emitida por una lámpara (lumen) por cada vatio (W) consumido. La fórmula que describe este término es la **Ecuación 10** (Taboada, 1983):

$$\eta = \frac{\phi}{P} \quad (10)$$

Donde:

- η : rendimiento luminoso en [lm/W]
- ϕ : flujo luminoso en [lm]
- P : potencia en vatio [W]

Con la **Ecuación 11** se puede calcular el consumo eléctrico de cualquier artefacto, conociendo previamente la potencia del equipo y horas aproximadas de funcionamiento al día, semana, mes, etc.

$$E_c = P * t \quad (11)$$

Donde:

- E : energía consumida en [Wh] o [kWh]
- P : potencia en [W] o [kW]
- t : tiempo en [h]

Las **lámparas incandescentes** generan un excesivo calor para la cantidad de luz emitida debido al calentamiento de un filamento metálico de wolframio o tungsteno (efecto joule) y consumen energía eléctrica en demasía lo cual las hace ineficientes en un valor cercano al 15 %, a la vez que genera rayos UV nocivos para la salud (Electricaplicada, 2018).

Las **lámparas fluorescentes** conducen una corriente eléctrica por un tubo lleno de argón o vapor de mercurio. Durante esta interacción se produce luz ultravioleta que se convierte rápidamente en luz visible. Se genera menos calor que las incandescentes y aprovechan mejor la energía eléctrica siendo su eficiencia alrededor de un 60 %. La vida útil suele ser de más o menos 8 000 horas, (ver **Figura 22**) (Electricaplicada, 2018).



Figura 22. Lámparas fluorescentes compactas (CFL)
Fuente: (Electricaplicada, 2018).

Las **lámparas LED** emplean diodos emisores de luz, leds, que son materiales semiconductores que al interactuar con una corriente eléctrica producen luz siempre y cuando estén polarizados directamente, es decir, que exista una corriente desde el polo positivo (ánodo) al negativo (cátodo) desprendiéndose el fotón (luz). La eficiencia lumínica es de más del 90 % convirtiéndose en energía lumínica casi la totalidad de energía eléctrica consumida. Así mismo, la vida útil puede estar entre 20 000 y 50 000 horas, (ver **Figura 23**).



Figura 23. Lámparas LED
Fuente: (Electricaplicada, 2018).

Como complemento para las tecnologías de iluminación es buena idea tratar acerca de los soportes portalámparas con sensor de movimiento, mismos que pueden implementarse como alternativa en lugares dentro de una edificación donde el tránsito de personas sea breve como puede ser un cuarto de secado, escaleras, jardín, patio, etc. Este tipo de casquillo se adapta a lámparas con filamento (incandescentes), fluorescentes y led, con lo que se puede regular el tiempo que dura encendido una vez que ha cesado el movimiento y la parte del día en la que se va a activar (de día o de noche), (ver **Figura 24**).



Figura 24. Casquillo con sensor de movimiento
Fuente: (Electricaplicada, 2018).

Es importante mencionar los niveles de iluminación que deberían de existir dependiendo de la zona presente en la vivienda, tal como se expone en la **Tabla 10**:

Tabla 10. Niveles mínimos de iluminación al interior de la vivienda

Viviendas			
Áreas	Mínimo (LUX)	Recomendado (LUX)	Óptimo (LUX)
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de aseo/baños	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocinas	100	150	200
Cuartos de estudio o trabajo	300	500	750
Zonas de circulación y pasillos	50	100	150
Escaleras, roperos, lavabos, archivos.	100	150	200

Fuente: (MIDUVI, 2018).

Por Lux se pueden entender a la cantidad de luz (lumen) proyectada sobre una superficie (m^2), cuya unidad por lo tanto es lumen/vatio (Lm/W).

4.3.6.4 Sistemas informáticos.

Las **computadoras de escritorio** pueden alcanzar hasta 175 W de potencia y permanecen conectadas fijamente a una fuente de alimentación por lo que la eficiencia energética no es una prioridad, donde el monitor y la unidad de proceso central (CPU) son los principales componentes.

Por otro lado, las (**laptops**) alcanzan alrededor de 60 W en potencia, por lo que consumen menos que una de escritorio, siendo esto debido al diseño de sus componentes para una mayor durabilidad y eficiencia energética. La Agencia de Medio Ambiente francesa, ADEME, estima que una laptop puede consumir alrededor de un 50% menos de energía que una de sobremesa. Sin embargo, el mismo puede llegar hasta el 85% dependiendo de las condiciones, su uso y las posibles características de ahorro energético (Endesa, 2019).

En la **Figura 25** se ejemplifica una computadora de escritorio y una laptop.



Figura 25. Pc de escritorio y laptop
Fuente: (Endesa, 2019)

4.3.6.5 Sistemas de refrigeración.

Como ya se mencionó anteriormente, la importancia del etiquetado energético en los artefactos como las refrigeradoras proporciona un indicativo del grado de eficiencia energética presente y del COP (coeficiente de funcionamiento) con el que cuentan. El COP se refiere a la relación entre el calor extraído de la cámara fría del refrigerador y el trabajo realizado por el compresor para un ciclo de compresión mecánica.

Otra variante de refrigeración con accesibilidad económica para cuando se tiene una fuente de energía térmica barata como la energía geotérmica, la solar, el calor residual de centrales de cogeneración o de vapor de proceso es la **refrigeración por absorción**. El ciclo de absorción, como el que se muestra en la **Figura 26**, se basa en la solubilidad del refrigerante (amoníaco, por ejemplo) en otra sustancia (absorbentes como el agua o el Bromuro de Litio). Cuando el refrigerante deja el evaporador (como gas), se mezcla con el absorbente y el gas se combina con el líquido, combinación que ahora será bombeada hasta la presión necesaria en el generador (lo que utiliza menos energía que la compresión). Seguidamente, para separar el absorbente del refrigerante, a la mezcla a alta presión se le debe aplicar calor. Con esto, el refrigerante se evapora y se dirige al condensador para continuar el ciclo (Cengel & Boles, 2012).

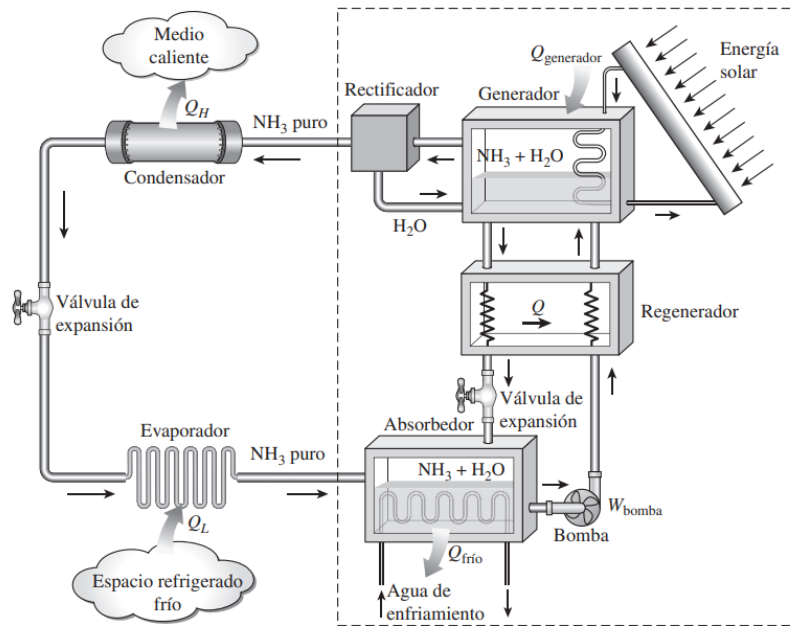


Figura 26. Ciclo de refrigeración por absorción de amoníaco
Fuente: (Cengel & Boles, 2012)

4.3.6.6 Ducha eléctrica.

Del mismo modo que para la refrigeradora, es importante considerar la eficiencia energética presente en las duchas a partir del etiquetado energético. En la **Tabla 11** se muestra un compendio de las potencias eléctricas existentes en aparatos como duchas, calentadores o grifos con la letra correspondiente según el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN).

Tabla 11. Clases de potencia para duchas eléctricas

Clase de potencia	Potencia nominal (P)
A	$P \leq 2\,400\text{ W}$
B	$2\,400\text{ W} < P \leq 3\,500\text{ W}$
C	$3\,500\text{ W} < P \leq 4\,600\text{ W}$
D	$4\,600\text{ W} < P \leq 5\,700\text{ W}$
E	$5\,700\text{ W} < P \leq 6\,800\text{ W}$
F	$6\,800\text{ W} < P \leq 7\,900\text{ W}$
G	$7\,900\text{ W} < P \leq 9\,000\text{ W}$

Fuente: (Álvarez & Ruilova, 2019)

Otra alternativa a tomar en cuenta para calentar agua con fines residenciales es el **calentador de agua solar**, cuyo principio de funcionamiento se basa en que posee tubos como colectores solares que operan en base al efecto termosifón. A dichos tubos llega la radiación solar haciendo que el agua se caliente y, a la vez, calentando el agua del tanque térmico. Al

calentarse el agua pierde densidad haciendo que suba al termotanque. En el mismo instante más agua fría ingresará al colector solar y volverá a comenzar el ciclo de calentamiento. El vidrio de los tubos este hecho de borosilicato (vidrio templado), diseñado para soportar el impacto de piedras menores y granizos (Osorio, 2019).

En la **Figura 27** se observa las partes principales del sistema de calentamiento solar.



Figura 27. Calentador solar
Fuente: (Osorio, 2019)

4.3.6.7 Televisión.

El rendimiento de los televisores viene determinado por el Índice de Eficiencia Energética (IEE) expuesto en la **Tabla 12** donde se muestra la clase de eficiencia energética con la potencia correspondiente.

Tabla 12. Clase de eficiencia energética en una televisión

Clase de eficiencia energética	Índice de Eficiencia Energética
A (máxima eficiencia)	$IEE \leq 0,30$
B	$0,30 < IEE \leq 0,42$
C	$0,42 < IEE \leq 0,60$
D	$0,60 < IEE \leq 0,80$
E	$0,80 < IEE \leq 0,90$
F	$0,90 < IEE \leq 1$
G (mínima eficiencia)	$1 \leq IEE$

Fuente: (INEN, 2014)

4.3.6.8 Otros.

Otras medidas de eficiencia energética ya dependen del compromiso de los ocupantes por adquirir hábitos de ahorro energético y se refieren al tiempo empleado en el funcionamiento

de los distintos aparatos, el modo de aprovechamiento, mantenimiento, etc. Se pueden citar las siguientes acciones que se podrían emplear:

- Apagar por completo los artefactos eléctricos y electrónicos que permanecen en stand-by como ordenadores, televisores, aire acondicionado, etc.
- Apagar las luces al salir de la habitación.
- Descongelar la refrigeradora de forma periódica.
- Aprovechar al máximo el espacio disponible en la lavadora o secadora para que se reduzca la cantidad de veces que se usan por semana.
- Tomar duchas cortas.
- Desconectar los aparatos que no se estén ocupando.
- Limpiar las lámparas del polvo o suciedad para utilizar focos de menos potencia de ser el caso.
- Evitar abrir la nevera varias veces para lo cual se recomienda abrir una sola vez y sacar todos los alimentos que se vayan a ocupar.

De acuerdo con Rodríguez (2017), los ecuatorianos han disminuido el tiempo dedicado a descansar. Mientras antes se dormía 8 horas en promedio, hoy se puede llegar a una media de 6 a 7 horas como máximo. Independientemente del tiempo que los ecuatorianos emplean en descansar, en dicho lapso se pueden practicar acciones de ahorro energético inmediatas como la suspensión de ciertos artefactos como el router del internet.

4.3.7 Evaluación económica de mejoras energéticas

Se emplea el concepto del periodo de retorno de la inversión (PRI simple) como una herramienta que permita justificar la implementación de una medida de eficiencia energética ya que indica el tiempo necesario en el cual se recupera una inversión.

Para un proyecto energético no es más que la relación entre la inversión realizada y el ahorro económico derivado del ahorro energético en un lapso. La **Ecuación 12** es aplicable para el cálculo del PRI simple:

$$PRI\ simple = \frac{I_o}{A_{ec}} \quad (12)$$

Donde:

- I_o : inversión realizada en [USD]
- A_{ec} : ahorro económico en [USD/mes]

4.4 Capítulo 4: Equipo de monitoreo y procesamiento de la información

Autores como Rhodes (2014) sugieren que el uso de medidores inteligentes facilita una gran cantidad de información sobre la gestión de la energía en los hogares y las causas de ese consumo, dado que el desglose de tiempo en intervalos de 15 minutos a 1 hora por día permite realizar lecturas y análisis temporales del uso de la electricidad que en el pasado eran imposibles.

Se ha proyectado el uso del monitor de energía inteligente SMART HOME ENERGY MONITOR y de los enchufes inteligentes SMART OUTLETS, ambos de la marca EMPORIA, para determinar el consumo de energía eléctrica de manera pormenorizada en el medidor general de energía y artefactos existentes en las viviendas tomadas como objeto de estudio para el presente proyecto.

4.4.1 Medidor de energía SMART HOME ENERGY MONITOR

Consiste en un equipo cuyo principio de funcionamiento se basa en el fenómeno de la inducción electromagnética de los conductores eléctricos sobre unos sensores conectados al monitor para supervisar circuitos independientes o la totalidad del consumo de una vivienda.

El monitor puede conectarse vía WiFi a la aplicación Emporia Energy en el teléfono móvil para reflejar la información censada en tiempo real; todo esto durante las 24/7, convirtiéndose en un instrumento de ahorro y eficiencia energética. En la **Figura 28** se aprecia el equipo en cuestión (EMPORIA, 2021).

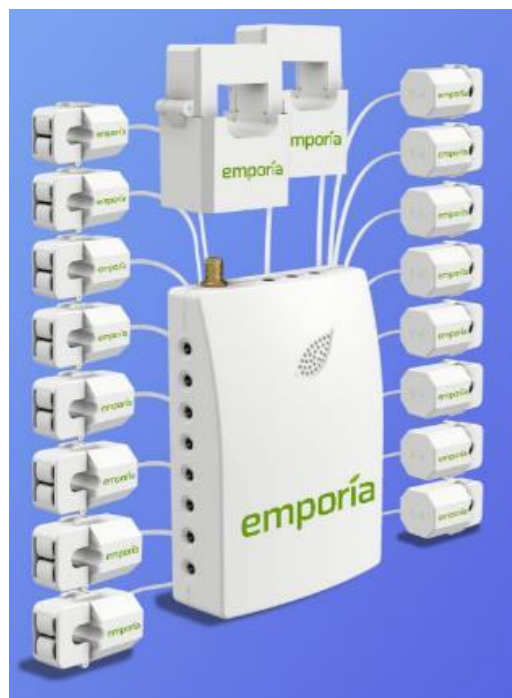


Figura 28. Monitor de energía EMPORIA
Fuente: (EMPORIA, 2021)

Este instrumento de medición electrónico otorga otros beneficios como el monitoreo de la producción solar en caso de disponer de una instalación fotovoltaica en la edificación, el monitoreo de la carga de un vehículo eléctrico, baterías y el control de termostatos.

Adicionalmente se pueden mostrar las unidades de medición en dinero (\$), vatios (W) y amperios (A) a medida que va censando el consumo energético; también se presenta el equivalente de energía eléctrica en galones de gas, millas recorridas en auto, cantidad de CO₂ liberada y cantidad de árboles, a fin de tener una perspectiva de cómo se relaciona el consumo energético con la contaminación hacia el ambiente.

En la **Figura 29** se expone la interfaz del aplicativo Emporia Energy donde se monitorea el consumo eléctrico general de una vivienda por segundo, minuto, día, semana, mes y año.

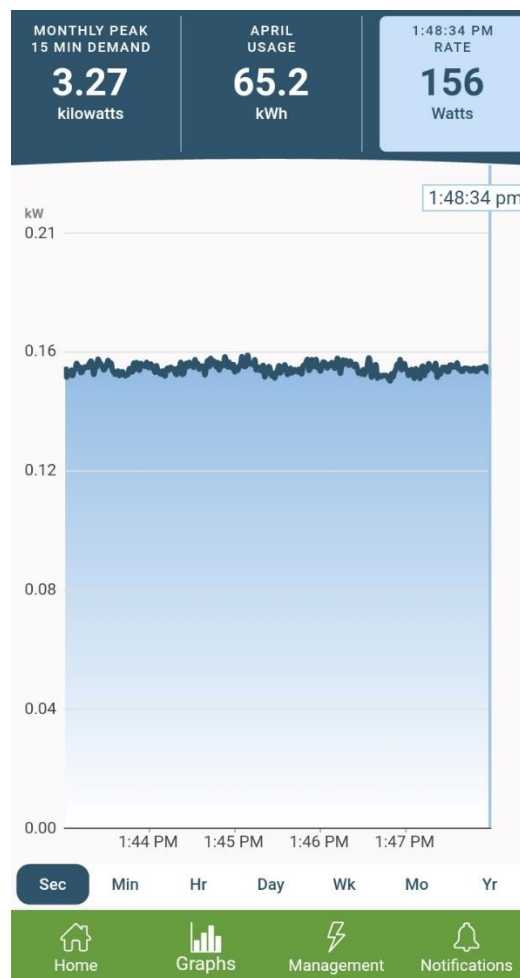


Figura 29. Interfaz del aplicativo Emporia Energy

También se tiene la opción de mostrar el balance de energía y potencia de todos los aparatos conectados al aplicativo tal cual se observa en la **Figura 30**.



Figura 30. Balance de potencia en tiempo real

En la **Tabla 13** se aprecian las características técnicas del equipo.

Tabla 13. Características del monitor de energía EMPORIA

Características Técnicas	
Sistemas soportados	1) monofásico hasta 240 VCA de línea neutra; 2) 120/240 V CA de fase dividida simple; y 3) trifásico hasta 415Y / 240VAC (sin Delta)
WiFi	2,4 GHz 802.11b / g / n
Potencia de entrada nominal	100-240VAC 50-60Hz
Sensores	2 sensores de inducción 200 A (0.333 V) 16 sensores de inducción 50 A (0.333 V)
Consumo de energía	< 3W
Puerto de antena WiFi	1 conector coaxial @ RP-SMA
Condiciones de operación	-40 a + 122 ° F (-40 a + 50 ° C) 0 a 80% de humedad relativa

Fuente: (EMPORIA, 2021)

Es importante mencionar que el monitor de energía con los 16 sensores de inducción tiene un precio de 165 USD.

4.4.2 Enchufe inteligente SMART OUTLETS

El enchufe Smart Plug codifica el consumo de energía eléctrica de los electrodomésticos y artefactos eléctricos para transmitirlo vía WiFi a la aplicación Emporia Energy del dispositivo móvil de manera que se tenga un control en tiempo real del consumo de determinados equipos. Otorga posibilidades como la temporización de los artefactos conectados, control remoto desde cualquier lugar, entrega de datos cada un segundo, entre otras prestaciones (EMPORIA, 2021).

En la **Figura 31** se muestra el enchufe inteligente EMPORIA.



Figura 31. Enchufe inteligente EMPORIA
Fuente: (EMPORIA, 2021)

En la **Tabla 14** se han organizado las especificaciones técnicas del enchufe inteligente.

Tabla 14. Características del enchufe inteligente EMPORIA

Características Técnicas	
WiFi	2,4 GHz 802.11b / g / n
Máxima potencia	1800 W a 120 V
Carga máxima (1h/día)	15A
Carga continua máxima	10A
Consumo de energía	1W
Frecuencia	50-60 Hz

Fuente: (EMPORIA, 2021)

El costo individual de cada enchufe inteligente es de 12 USD. La promoción que se consideró fue la de cuatro enchufes por un costo de 35 USD.

Tanto el medidor de energía como los enchufes EMPORIA permiten exportar los datos energéticos registrados en lapsos de un segundo, un minuto, 15 minutos, una hora y un día. Para el presente proyecto se ha dispuesto el uso de los datos de potencia promedio (en W o vatios) cada 15 minutos, mismos que se colocarán en una matriz de Excel para generar las curvas de demanda diaria para cada usuario residencial considerado.

Durante el procesamiento de la información será necesario calcular la energía total consumida por cada 15 minutos y el acumulado durante un mes partiendo de los datos que el medidor proporciona, por lo tanto, es imprescindible usar la **Ecuación 14**:

$$E_c = \frac{P_m * 0,25}{1000} \quad (14)$$

Donde:

- E_c : energía en consumida [kWh]
- P_m : potencia media cada 15 minutos [W]

4.4.3 Técnicas para el procesamiento de información

4.4.3.1 Clustering

Consiste en una técnica para el análisis de datos presentes en grandes volúmenes, con el fin de seccionar dicha información en tomos distintivos más pequeños que sean mejor interpretables y diferenciables entre sí. La clusterización se corresponde con un algoritmo de clasificación no supervisada (K-means), que agrupa datos en k grupos homogéneos dependiendo de sus características y similitudes.

Constituye ser una herramienta eficaz para el estudio de datos estáticos o series temporales, como el consumo eléctrico en edificaciones. El objetivo que se persigue, desde el punto de vista eléctrico, es el de alcanzar un agrupamiento que facilite la descripción e interpretación de las diferencias en el comportamiento de la demanda diaria de consumo eléctrico (Castrillejo & Massa, 2019).

El análisis temporal de la gestión de la electricidad se ha centrado a producir perfiles de carga típicos. Este estudio busca emplear el cúmulo de datos obtenidos del proceso de medición inteligente y explorar factores impulsores detrás de los grupos de clientes de electricidad (Rhodes et al., 2014).

4.4.3.2 Algoritmo de cálculo.

Un algoritmo consiste en una serie de pasos que se ejecutan para llegar a la solución de un problema planteado. Es necesario disponer de los datos de entrada que con las instrucciones necesarias se puedan alcanzar los resultados esperados (salidas). En la **Figura 32** se presenta un ejemplo sencillo de algoritmo para comprobar el funcionamiento de una lámpara.

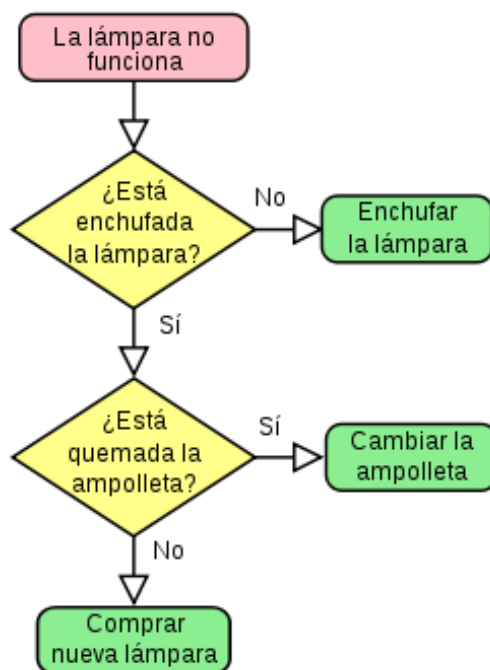


Figura 32. Algoritmo del funcionamiento de una lámpara
Fuente: (MatemáticasDiscreta, 2013).

En la **Figura 32** se mostró un ejemplo de algoritmo en formato de flujograma o diagrama de flujo, mismo que consiste en un gráfico a base de símbolos y flechas que indican la etapa y dirección del proceso. Esta herramienta ofrece una perspectiva visual de las actividades implicadas y la relación secuencial hasta llegar a un resultado

Más adelante, en la etapa de metodología se pretenderá explicar el procedimiento de mejora continua en base al ciclo PHVA para los sistemas de gestión energética y como parte de los resultados se diseñará un flujograma detallado de la implementación de la norma ISO 50001:2018 adaptada a los usuarios residenciales.

4.4.3.3 Dashboard.

Un dashboard o panel de control consiste en una herramienta visual para la gestión y seguimiento de los datos de una organización. En este trabajo se emplearán los datos de consumo eléctrico medidos para diseñar un entorno visual que refleje de manera resumida y concisa los hábitos de consumo, indicadores de rendimiento energético, usos finales de la energía, entre otras variables, a fin de tener un instrumento que agilice el análisis de los datos en “frio” que otorga solamente el instrumento de medición, (ver **Figura 33**).

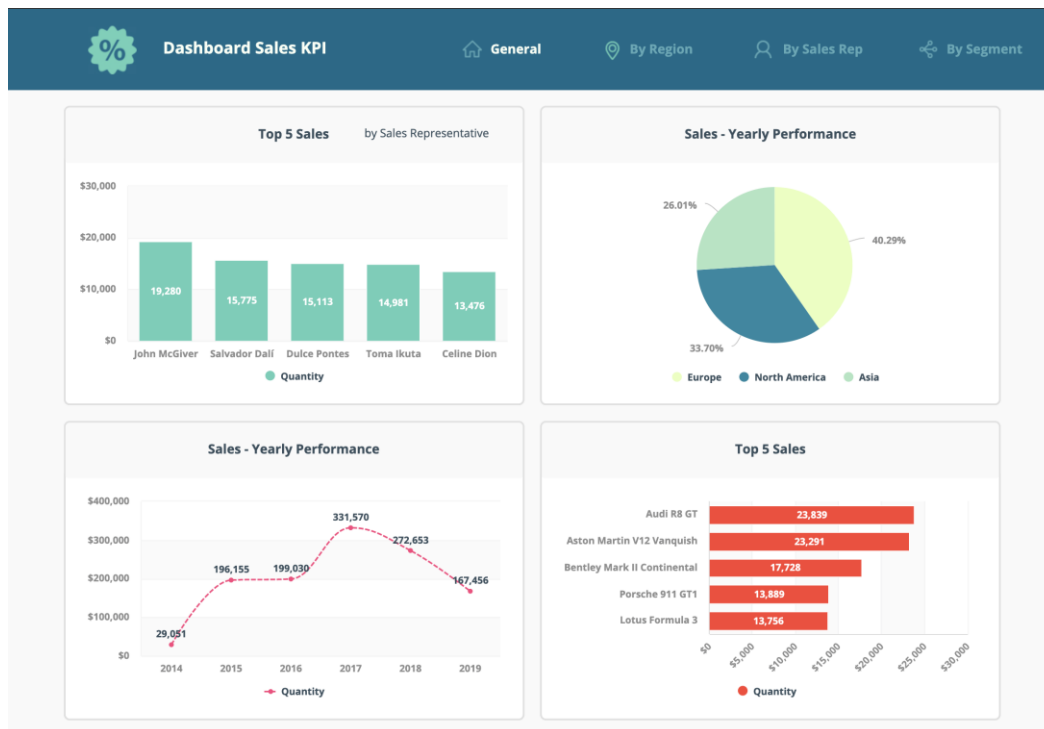


Figura 33. Ejemplo de la interfaz de un dashboard
Fuente: (CLICDATA, 2020).

El trabajar con un dashboard otorga las siguientes ventajas:

- La información visual se vuelve más sencilla de digerir.
- Vuelve eficiente la gestión de los datos, ya que la información obtenida en diferentes archivos o libros se recopila en un único entorno.
- Ayuda a tomar decisiones inmediatas de acuerdo con lo marcado en los indicadores de desempeño.

5 Metodología

5.1 Área de estudio

Las tres viviendas consideradas en el presente proyecto de tesis se encuentran emplazadas en el barrio Ciudad Victoria, parroquia Sucre, sector Norte-Oeste dentro del perímetro urbano de la ciudad de Loja y cuya dirección es Av. Ángel Felicísimo Rojas y Augusto Cesar Sandino. Al ser residencias cercanas entre sí se puede establecer una misma coordenada geográfica aproximada: $4^{\circ} 0'2.46''$ (Sur) y $79^{\circ}13' 54.91''$ (Oeste). En la **Figura 34** se muestra un mapa de la ubicación del área de estudio.

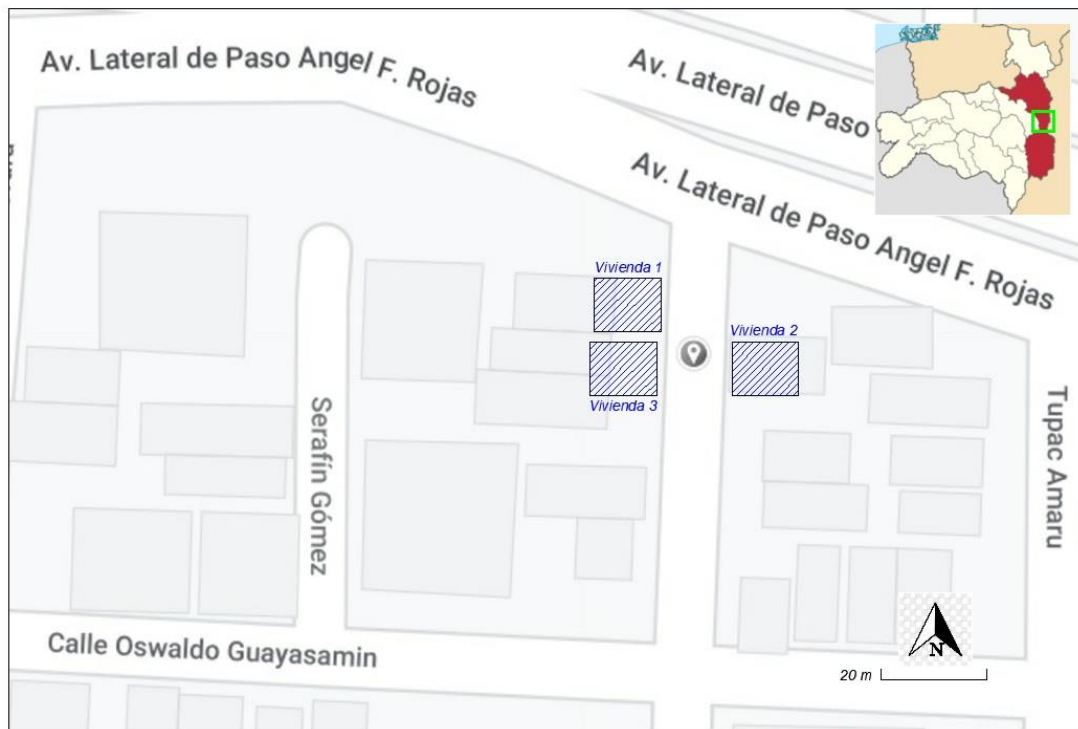


Figura 34. Ubicación del área de estudio

En la **Tabla 15** se señalan algunas características relevantes de las viviendas estudiadas, donde se puede notar que el número de integrantes por familia se aproxima al promedio de personas por hogar de 3,78 según (INEC, 2010).

Tabla 15. Información relevante de las viviendas de estudio

Vivienda	Familia	Nro. Casa	Nro. Medidor	Nro. Integrantes	CUEN	Orientación
1	Martínez Tamayo	310-11	247396	5	1801658848	Este
2	Leiva Lalangui	310-08	206359	4	1803139417	Oeste
3	Riofrío Rivas	310-17	244655	4	1801713189	Este

También es importante aclarar de forma general la situación del contexto familiar que cada vivienda tiene, lo cual influye notablemente en el consumo eléctrico diario y en la

dinámica de las curvas de carga diaria. Por tanto, se menciona a continuación una explicación breve de cada caso:

- **Familia Martínez Tamayo:** se constituye como una familia de 5 integrantes (todos adultos), 2 mujeres y 3 hombres, estando 2 todavía en instancias universitarias y los 3 restantes trabajando la mayoría del tiempo desde casa, salvo una persona que lo hace fuera durante todo el día. Uno de los estudiantes universitarios tiene horario de clases vespertino, mientras que el otro tiene horario vespertino híbrido (virtual y presencial).
- **Familia Leiva Lalangui:** consiste en una organización familiar de 4 integrantes, 2 adultos (papá y mamá), una niña estudiante de escuela y una adolescente estudiante de colegio. El papá trabaja en un negocio particular fuera de casa, por lo que la mayor parte del tiempo (desde la mañana hasta la tarde) no se encuentra en su vivienda, mientras que la mamá sí permanece en el hogar, las estudiantes tienen un régimen matutino y vuelven a casa en la tarde.
- **Familia Riofrio Rivas:** en esta familia conviven 4 personas, 3 adultos (papá, mamá y una hija universitaria) y una niña estudiante de escuela. Los padres son trabajadores del sector público, estando ausentes de casa desde la mañana hasta la tarde, la niña estudia en modalidad matutina, regresando a casa cuando empieza la tarde y la estudiante universitaria cumple su rutina en modalidad matutina o vespertina (sin horario fijo de estudios).

Cada edificación ocupa en su totalidad el lote de 90 m² que la empresa constructora Vivem del Municipio de Loja destinó para cada familia. Además, se cuenta con un área de construcción aproximado de 92 m² (MUNICIPIO DE LOJA, 2006). Es importante mencionar que son construcciones de 2 plantas a excepción de la vivienda 1 donde se tiene un pequeño cuarto de secado como tercera planta. Además, el sector circundante cuenta con los servicios básicos necesarios, como son: energía eléctrica, agua potable, alcantarillado, internet, etc.

Para el abastecimiento eléctrico, cada uno de los usuarios residenciales se alimenta del circuito secundario de distribución, 120/240 V, proveniente del poste N° 071222, transformador N° 14049, alimentador Chontacruz en media tensión, con acometida monofásica 2F3C (2 fases, 3 conductores) hacia cada contador de energía. La Empresa Eléctrica Regional del Sur (EERSSA) es la encargada de suministrar la alimentación eléctrica a dichos usuarios. En la **Figura 35** están señalados con un punto rojo los clientes residenciales considerados y la red en media y baja tensión con las acometidas correspondientes.

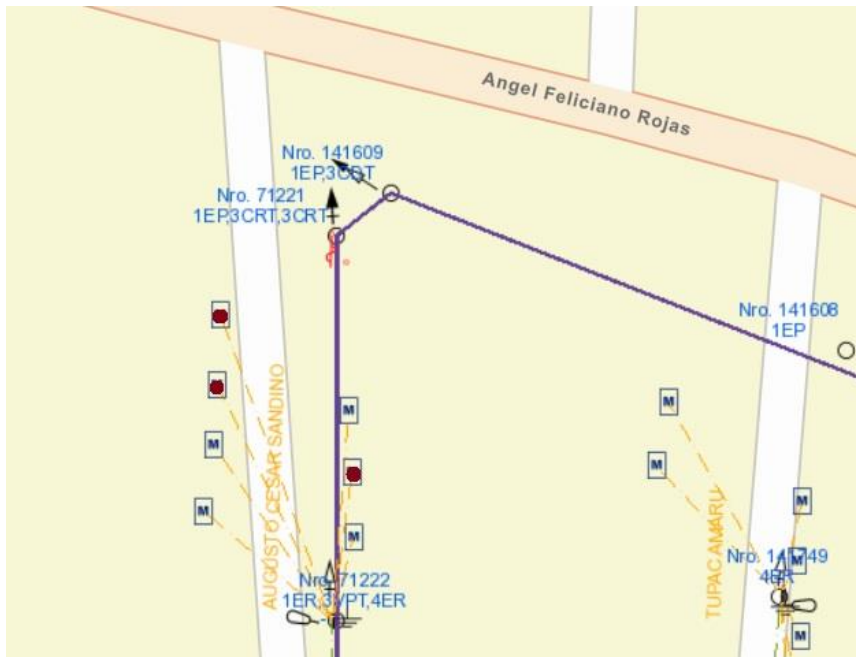


Figura 35. Ubicación de los medidores estudiados
Fuente: (Geoportal EERSSA, 2022)

Así mismo, es importante mencionar los materiales, equipos y recursos empleados en el presente proyecto de tesis, los mismos que son:

Materiales

- Cable gemelo 2x16 AWG
- Retazos de cartón
- Cinta aislante
- Estilete/cuchilla
- Flexómetro de 3 m
- Pinza, alicate y cortafrío
- Cuaderno de apuntes
- Destornillador plano/estrella

Recursos tecnológicos

➤ **Softwares**

- Autocad 2018
- ArcMap
- Excel
- Word

➤ **Herramientas digitales**

- Geoportal EERSSA

- App Emporia Energy

➤ **Equipos técnicos**

- Medidor láser de 20 m marca BOSCH, modelo GL, 20

- Multímetro digital DT9208A

- Calculadora científica

- Laptop marca DELL modelo Inspiron 15 3000

- Smartphone

- Monitor de Energía Emporia VUE Smart Home

- Tomacorrientes Emporia Smart Outlets

Recursos humanos:

- Director de tesis
- Estudiante
- Asesores externos, entre otros.

5.2 Procedimiento

El trabajo de investigación propuesto se corresponde con una **investigación aplicada** ya que se busca implementar los conocimientos adquiridos de la investigación teórica o básica sobre la eficiencia energética, específicamente la eficiencia eléctrica, con sus normativas, resoluciones, leyes, etc., hacia la resolución práctica de los problemas referentes a la gestión energética en el sector residencial. Aunque la investigación aplicada requiere una base teórica a partir de la formulación de un marco de trabajo, lo interesante al final son los resultados prácticos (Lozada, 2014).

Para iniciar con el proceso investigativo se recurrió a la técnica de muestreo no probabilístico denominado como **muestreo por conveniencia**, con el fin de precisar los tres usuarios residenciales tomados como objeto de estudio en el presente trabajo, sin haber recurrido a un proceso estadístico previamente. Lo antes mencionado se fundamenta en la idea que la selección de las tres viviendas representa una buena imagen del universo estudiado, es decir, del barrio Ciudad Victoria, ya que al tratarse de un sector residencial de la ciudad de Loja se puede catalogar que el comportamiento del consumo eléctrico tiende a ser homogéneo, así como la distribución de la red interna y aparatos eléctricos existentes (Ochoa, 2015).

Para el desarrollo de la metodología de cada uno de los objetivos propuestos, se ha tomado al usuario residencial con número de medidor # 247396 (familia Martínez Tamayo) como caso de ejemplo sobre el que se desarrollarán las distintas actividades, dado que el mismo proceso metodológico es aplicable con los otros dos casos considerados.

5.2.1 Caracterización de los usuarios residenciales

Para dar cumplimiento al primer objetivo: “Caracterizar el consumo eléctrico de los usuarios # 247396, 206359 y 244655 con base a mediciones efectuadas”, se formularon las siguientes actividades:

5.2.1.1 Medición de consumo eléctrico.

El monitoreo se ejecutó con los dispositivos EMPORIA mencionados anteriormente, los cuales recopilan información del uso de la energía, implementan herramientas basadas en la nube y entregan los datos al dispositivo móvil. Esto permitió observar el consumo de energía del hogar en tiempo real e históricamente, tal como se observa en el esquema de la **Figura 36**.

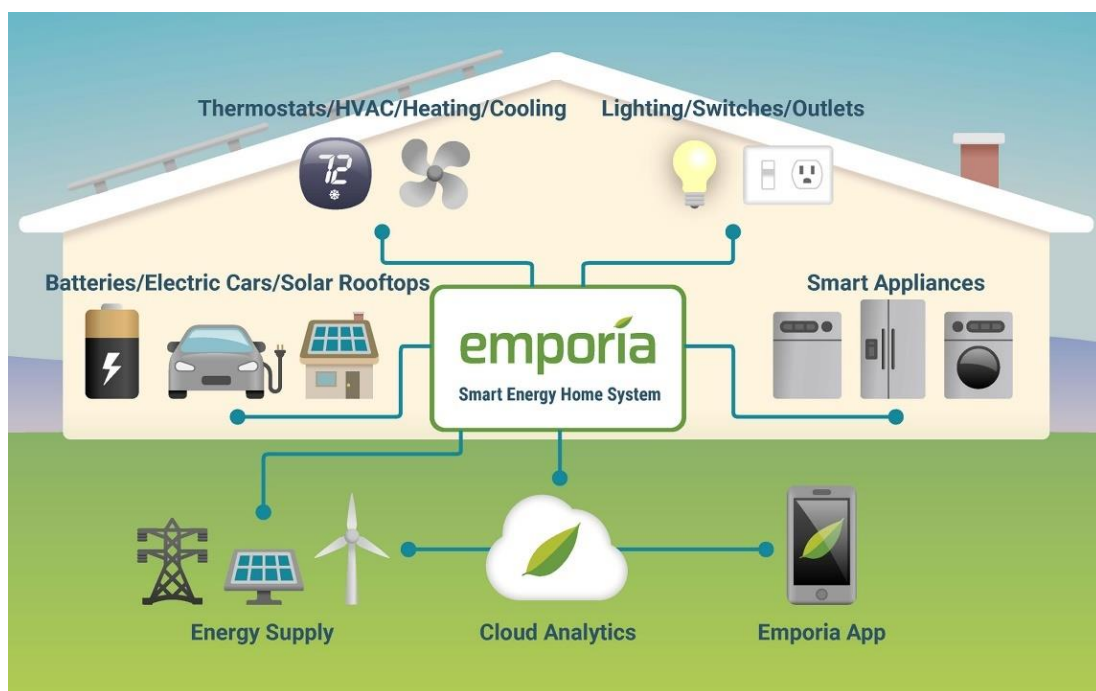


Figura 36. Vínculo entre los artefactos eléctricos/monitor inteligente/aplicación móvil
Fuente: (EMPORIA, 2021)

En cada una de las viviendas se monitorizó las variables de potencia y energía a la salida del tablero de distribución principal, lo que permitió contabilizar los consumos totales en intervalos de 15 minutos durante un mes. Por otro lado, se colocaron enchufes inteligentes que monitorearon las referidas variables a lo largo de una semana sobre los artefactos eléctricos existentes. En la **Figura 37** se aprecia un esquema de los dispositivos instalados.

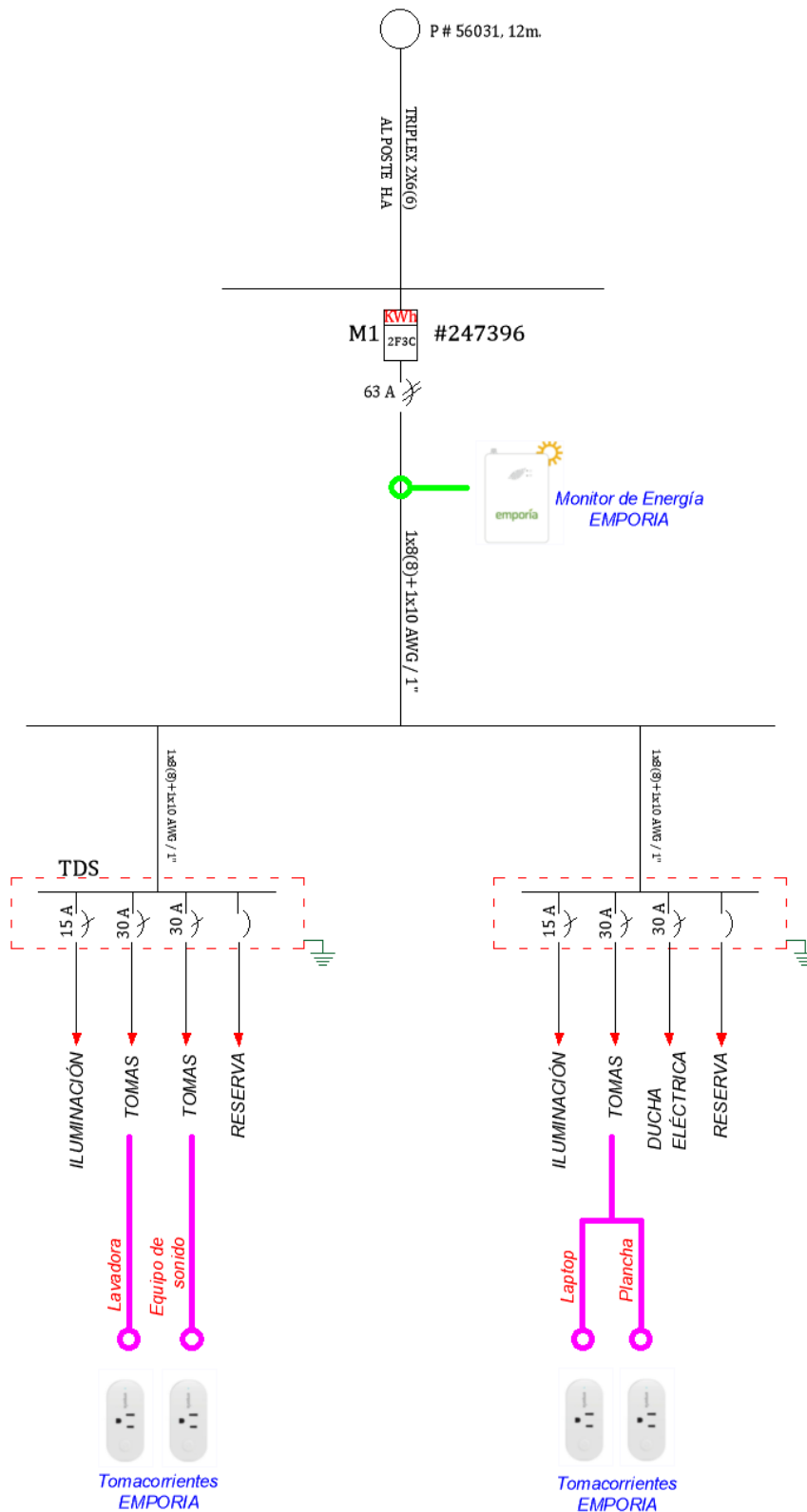


Figura 37. Esquema representativo de los aparatos de medición instalados

El monitor de energía fue colocado en una caja de cartón fabricada y luego ubicado en el tablero general de medición alojado en la fachada de cada vivienda con el sensor de consumo eléctrico enganchando en el cable de fase o línea que alimenta a la edificación (a modo de pinza

amperimétrica) y la alimentación de dicho dispositivo se realizó con una extensión de cable gemelo 2x16 AWG hasta un tomacorriente dentro de la vivienda. Los tomacorrientes registraron el consumo eléctrico de los aparatos existentes en periodos de una semana en cada uno. Al contar con solo 4 tomacorrientes Smart Outlets, se monitorizó 4 aparatos diferentes por semana.

Tanto en el monitor de energía como en los tomacorrientes inteligentes fue necesaria la programación mediante el aplicativo App Emporia Energy, lo cual requirió conectarse a la red de internet WiFi de cada hogar, activar la ubicación y el bluetooth para que los dispositivos puedan acoplarse y funcionen conjuntamente, entregando los datos de consumo eléctrico en tiempo real.

5.2.1.2 Caracterización mediante clustering.

El clustering requirió en primera instancia que los datos de potencia y energía (en kW y kWh, respectivamente) presentes en la nube (cloud) de la empresa EMPORIA sean transferidos para su visualización a la app Emporia Energy del teléfono móvil, para luego ser exportados al correo personal del investigador, ser descargados como archivo de extensión .csv y gestionados, posteriormente, en el software de cálculo Excel, (ver **Figura 38**).



Figura 38. Proceso de obtención de los datos de potencia y energía

El procedimiento anterior se ejecutó cada lunes en referencia a la semana anterior hasta cubrir todos los días del mes a monitorear. Los archivos obtenidos con extensión .csv presentaron los datos de fecha, hora y potencia promedio en kW como un solo texto por cada fila, por lo que fue necesaria la separación de la información obtenida en columnas, para luego ser copiada en un archivo de Excel para su manipulación.

El método de tabulación de datos Columna-Tabla ZZ en Excel, sirve para arreglar los datos en columna, obtenidos a través de instrumentos de medición. En las columnas el encabezado lo conforman los tiempos cuarto-horarios (cada 15 minutos) en todo el día y se tienen en las filas a cada día del mes en cuestión con el nombre del día y fecha correspondiente (dd/mm/aa). Este arreglo es necesario para obtener las curvas de carga (curvas de demanda de potencia), graficas indispensables para cumplir con el primer objetivo propuesto.

En la **Figura 39** se diseñó un modelo de matriz para la tabulación de los datos de todo el mes de febrero del año 2022, teniendo previamente registrados los datos de potencia promedio por cada 15 minutos en una sola columna.

CONSUMO FEBRERO 2022

Fecha	P (W)	Día	Fecha	1.45	2.00	2.15	2.30	2.45	3.00	3.15	3.30	3.45	4.00	4.15	4.30
01/02/22 00:00:00	63,3	Martes	1/2/2022												
01/02/22 00:15:00	86,2	Miércoles	2/2/2022												
01/02/22 00:30:00	16,8	Jueves	3/2/2022												
01/02/22 00:45:00	41,5	Viernes	4/2/2022												
01/02/22 01:00:00	53,1	Sábado	5/2/2022												
01/02/22 01:15:00	16,7	Domingo	6/2/2022												
01/02/22 01:30:00	77,9	Lunes	7/2/2022												
01/02/22 01:45:00	17,1	Martes	8/2/2022												
01/02/22 02:00:00	59,1	Miércoles	9/2/2022												
01/02/22 02:15:00	35,0	Jueves	10/2/2022												
01/02/22 02:30:00	16,7	Viernes	11/2/2022												
01/02/22 02:45:00	78,0	Sábado	12/2/2022												
01/02/22 03:00:00	16,6	Domingo	13/2/2022												
01/02/22 03:15:00	65,9	Lunes	14/2/2022												
01/02/22 03:30:00	28,4	Martes	15/2/2022												
01/02/22 03:45:00	16,6	Miércoles	16/2/2022												
01/02/22 04:00:00	77,5	Jueves	17/2/2022												
01/02/22 04:15:00	16,7	Viernes	18/2/2022												
01/02/22 04:30:00	61,7	Sábado	19/2/2022												
01/02/22 04:45:00	31,8	Domingo	20/2/2022												
01/02/22 05:00:00	17,7	Lunes	21/2/2022												
01/02/22 05:15:00	84,8	Martes	22/2/2022												
01/02/22 05:30:00	24,2	Miércoles	23/2/2022												
01/02/22 05:45:00	60,4	Jueves	24/2/2022												
01/02/22 06:00:00	48,7	Viernes	25/2/2022												
01/02/22 06:15:00	24,2	Sábado	26/2/2022												
01/02/22 06:30:00	762,9	Domingo	27/2/2022												
01/02/22 06:45:00	30,0	Lunes	28/2/2022												
01/02/22 07:00:00	67,9														

Figura 39. Matriz de datos de potencia media en función del tiempo

Seguidamente, se ubicó el cursor en la primera celda de la matriz, en la intersección entre el martes 1 de febrero y las 0:00 am, para continuar con la digitación del texto ZZ seguido de las coordenadas de la primera celda de los datos de columna que se quiera analizar. A continuación, se arrastró el cursor de manera que se copió la sentencia hasta dos celdas más allá de la última columna. Se cortó los valores de las celdas sobrantes y se pegó al inicio de la segunda fila. Se arrastró este valor hasta la última columna de la segunda fila. Se copió todas las sentencias de las dos filas para el resto de las celdas. Finalmente, se seleccionaron todas las celdas de la matriz y se reemplazó ZZ por =. Con esta acción se copiaron los datos de potencia de la única columna registrada en un inicio a la matriz de datos formulada, tal como se observa en la **Figura 40**.

CONSUMO FEBRERO 2022

Fecha	P (W)	Día	Fecha	0:00	0:15	0:30	0:45	1:00	1:15	1:30	1:45	2:00	2:15	2:30	2:45	3:00	3:15	3:30
01/02/22 00:00:00	63.3	Martes	1/2/2022	63.3	86.2	16.8	41.5	53.1	16.7	77.9	17.1	59.1	35.0	16.7	78.0	16.6	65.9	28.4
01/02/22 00:15:00	86.2	Miércoles	2/2/2022	74.4	68.8	130.8	68.5	89.7	109.2	63.0	77.7	16.7	16.8	77.7	16.6	50.6	44.3	16.7
01/02/22 00:30:00	16.8	Jueves	3/2/2022	112.3	106.6	159.9	78.0	85.3	131.4	16.8	76.7	18.6	16.7	77.9	16.7	16.8	76.6	17.1
01/02/22 00:45:00	41.5	Viernes	4/2/2022	126.4	91.1	54.2	54.0	54.1	50.5	48.2	53.7	53.7	44.8	54.1	47.7	51.6	45.1	53.5
01/02/22 01:00:00	53.1	Sábado	5/2/2022	147.8	157.7	138.3	103.7	104.6	89.4	95.6	95.0	102.3	95.8	91.5	87.6	92.4	80.9	38.6
01/02/22 01:15:00	16.7	Domingo	6/2/2022	135.6	121.9	137.4	109.6	85.7	94.4	98.4	91.7	92.4	104.4	87.0	74.5	41.9	50.2	45.5
01/02/22 01:30:00	77.9	Lunes	7/2/2022	108.0	95.3	89.4	75.4	88.7	88.1	71.4	80.1	55.2	30.3	44.1	44.3	30.3	44.5	43.3
01/02/22 01:45:00	17.1	Martes	8/2/2022	129.6	143.6	136.0	133.4	142.7	95.3	45.3	30.9	45.0	42.3	37.7	45.4	31.6	44.7	31.0
01/02/22 02:00:00	59.1	Miércoles	9/2/2022	147.4	120.1	107.8	41.6	55.9	41.3	89.2	76.0	92.2	64.8	48.3	32.4	48.3	32.5	48.1
01/02/22 02:15:00	35.0	Jueves	10/2/2022	93.3	70.2	83.3	34.9	45.2	41.2	34.2	51.6	34.4	48.8	36.8	33.8	51.1	33.9	40.6
01/02/22 02:30:00	16.7	Viernes	11/2/2022	138.4	110.8	112.6	86.5	86.3	78.2	35.8	35.7	54.6	35.6	35.7	53.9	35.6	35.3	44.2
01/02/22 02:45:00	78.0	Sábado	12/2/2022	142.7	135.7	119.2	111.3	105.6	115.6	83.3	47.3	55.6	53.1	73.4	52.9	52.7	53.0	58.0
01/02/22 03:00:00	16.6	Domingo	13/2/2022	110.7	107.7	46.6	36.3	36.3	36.9	36.0	36.2	36.2	36.2	46.2	44.6	39.0	36.3	36.1
01/02/22 03:15:00	65.9	Lunes	14/2/2022	159.8	141.6	108.1	89.3	74.1	40.1	41.5	62.6	39.5	39.9	39.8	40.1	39.7	57.8	44.8
01/02/22 03:30:00	28.4	Martes	15/2/2022	130.2	137.9	89.5	40.7	40.5	40.8	40.0	39.0	39.2	41.1	40.1	40.2	40.3	39.7	40.2
01/02/22 03:45:00	16.6	Miércoles	16/2/2022	107.2	88.6	94.0	98.7	92.0	48.0	40.6	40.7	40.5	40.3	40.4	42.1	36.7	31.3	31.1
01/02/22 04:00:00	77.5	Jueves	17/2/2022	139.3	113.1	102.1	121.9	122.2	101.3	41.8	41.4	41.0	41.2	41.6	41.3	40.5	41.1	40.9
01/02/22 04:15:00	16.7	Viernes	18/2/2022	119.3	113.1	102.1	56.5	43.1	54.1	55.8	53.2	53.5	57.1	55.8	52.7	47.5	45.9	33.4
01/02/22 04:30:00	61.7	Sábado	19/2/2022	134.4	130.3	136.2	161.6	144.7	149.7	160.4	166.2	144.1	100.7	51.7	52.5	42.9	42.8	42.7
01/02/22 04:45:00	31.8	Domingo	20/2/2022	67.9	92.4	91.8	54.7	46.9	47.1	45.8	45.6	45.4	25.6	38.4	46.3	45.7	46.8	45.6
01/02/22 05:00:00	17.7	Lunes	21/2/2022	111.3	112.1	106.9	111.2	118.6	79.3	31.3	53.8	53.3	56.3	87.9	80.3	63.6	87.5	53.9
01/02/22 05:15:00	84.8	Martes	22/2/2022	157.0	146.6	122.2	129.5	126.7	128.4	125.1	75.2	96.4	91.5	36.5	28.7	48.9	49.3	34.6
01/02/22 05:30:00	24.2	Miércoles	23/2/2022	127.1	64.6	50.1	49.3	15.9	48.5	49.4	39.9	25.0	49.9	48.1	16.0	48.7	47.9	16.4
01/02/22 05:45:00	60.4	Jueves	24/2/2022	128.6	158.8	125.8	76.8	100.4	105.8	50.7	35.3	50.2	31.9	33.7	49.3	45.0	20.9	50.3
01/02/22 06:00:00	48.7	Viernes	25/2/2022	124.6	109.7	71.0	106.9	110.7	68.8	101.5	76.1	96.8	54.6	15.9	51.7	51.1	16.0	51.5
01/02/22 06:15:00	24.2	Sábado	26/2/2022	88.3	56.0	76.0	39.7	74.9	52.3	15.7	51.0	38.1	30.2	51.6	15.9	52.1	52.7	15.9
01/02/22 06:30:00	762.9	Domingo	27/2/2022	77.5	52.9	37.6	81.9	52.2	24.5	60.3	60.6	16.4	58.4	60.5	16.0	60.1	59.3	15.9
01/02/22 06:45:00	30.0	Lunes	28/2/2022	37.1	62.0	15.8	60.3	57.6	18.8	59.9	15.8	60.8	41.6	34.2	56.7	15.9	59.6	35.3
01/02/22 07:00:00	97.2																	

Figura 40. Arreglo de los datos de columna a la matriz

A partir de los datos de potencia organizados en Excel mediante la técnica Columna-Tabla ZZ, se observa en la **Figura 41** que los mismos se corresponden con días laborables (lunes a viernes) y otros con días no laborables o descanso (sábado y domingo) del mes de febrero del 2022, razón por la cual se realizó la clusterización para seccionar dicha información y facilite la descripción e interpretación del comportamiento de la demanda diaria de consumo eléctrico.

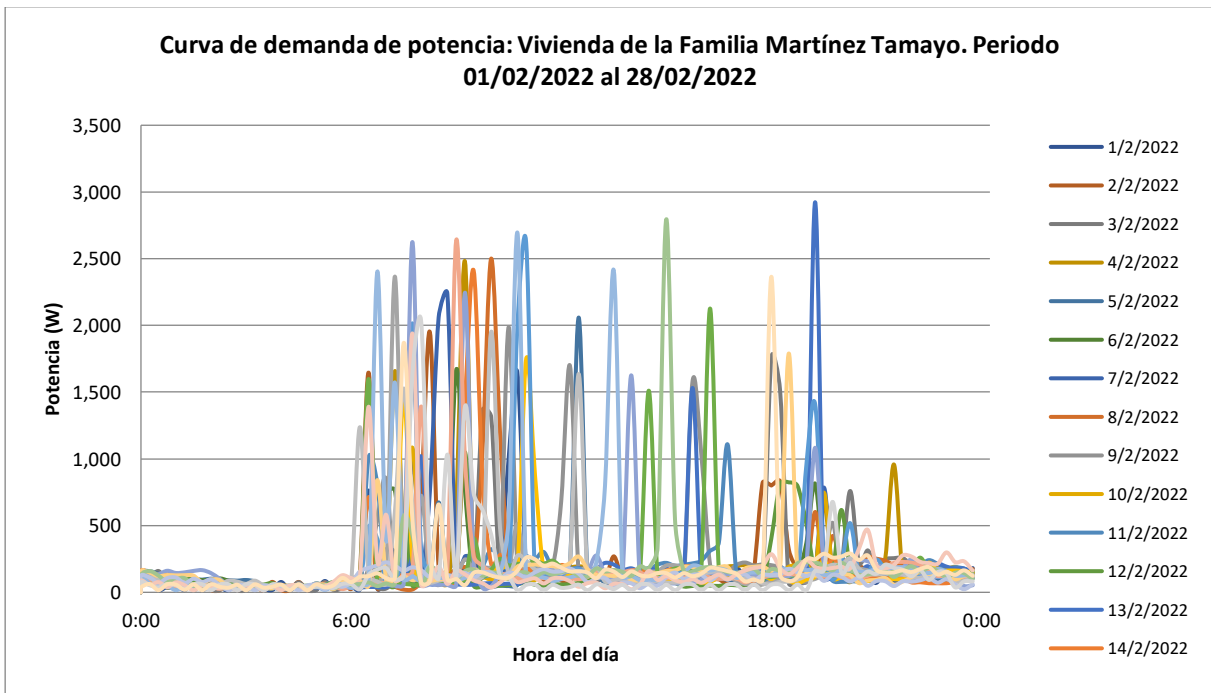


Figura 41. Curvas de carga diaria del usuario # 247396, febrero del 2022

Con los datos de potencia registrados cada 15 minutos se empleó la **Ecuación 14** con el fin de determinar la energía consumida en ese lapso, tal como se observa en la **Figura 42**.

Reporte de Registros Periódicos

Medidor	247396	Dirección:	Ciudad Victoria
Domicilio:	Familia Martínez Tamayo	Servidor:	EERSSA
Servicio:	Bifásico: 2F3C		

Fecha Hora	Pot prom. (W)	Energía (kWh)
01/02/22 00:00:00	63,3	0,0158
01/02/22 00:15:00	86,2	0,0216
01/02/22 00:30:00	16,8	0,0042
01/02/22 00:45:00	41,5	0,0104
01/02/22 01:00:00	53,1	0,0133
01/02/22 01:15:00	16,7	0,0042
01/02/22 01:30:00	77,9	0,0195
01/02/22 01:45:00	17,1	0,0043
01/02/22 02:00:00	59,1	0,0148
01/02/22 02:15:00	35	0,0088
01/02/22 02:30:00	16,7	0,0042

Figura 42. Cálculo de la energía consumida cada 15 minutos

En la **Figura 43** se realizó la clusterización de las curvas de carga para los lunes del mes de febrero, donde se visualiza un comportamiento parecido entre las cuatro curvas, por lo que se calculó el promedio y se graficó con la línea de color negro.

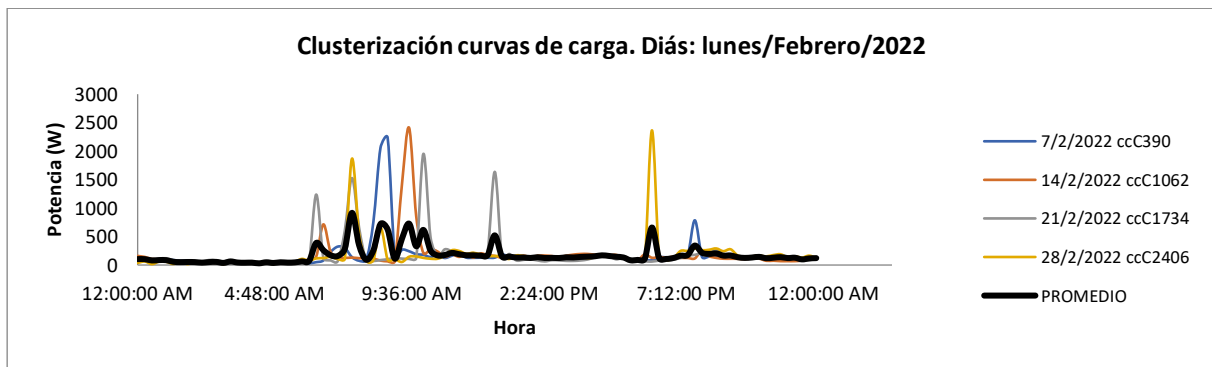


Figura 43. Clusterización de las curvas de carga para los lunes, febrero del 2022

En la **Figura 44** se muestra la clusterización de las curvas de carga para los martes del mes de febrero, evidenciándose un comportamiento similar, siendo conveniente el cálculo del promedio y la representación gráfica con la línea de color negro.

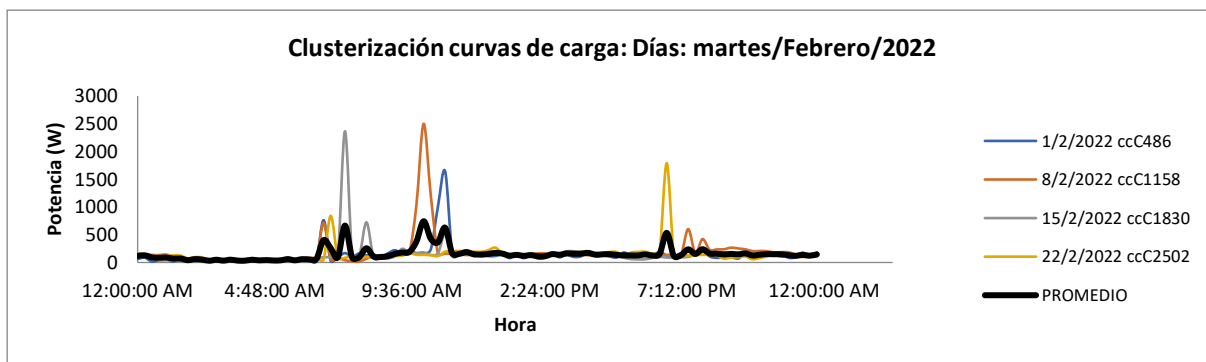


Figura 44. Clusterización de las curvas de carga para los martes, febrero del 2022

Para los miércoles del mes de febrero, se han agrupado las curvas de carga correspondientes en la **Figura 45**, así mismo se ha representado la curva promedio de las cuatro curvas dado que presentan características similares.

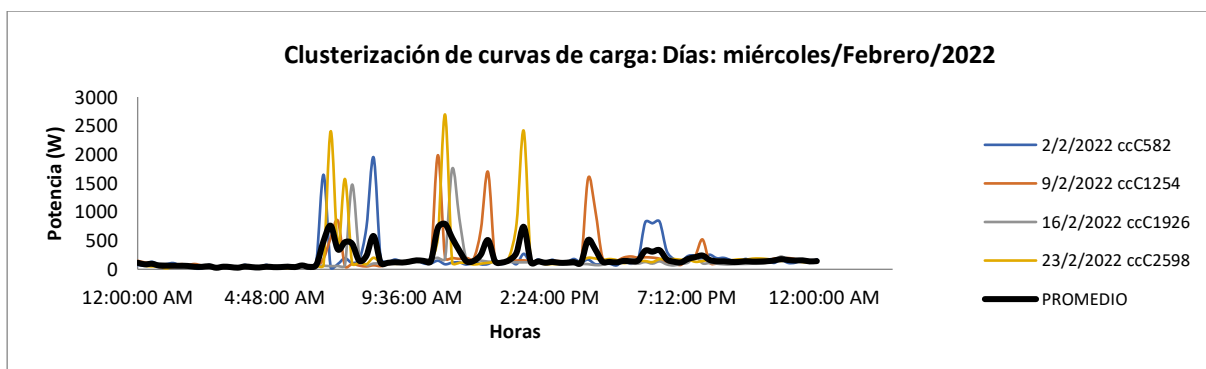


Figura 45. Clusterización de las curvas de carga para los miércoles, febrero del 2022

En la **Figura 46** se presentan las curvas de carga de los jueves del mes de febrero, donde se evidencia un comportamiento parecido entre dichos perfiles, seguidamente se procedió a obtener y graficar la curva de carga promedio.

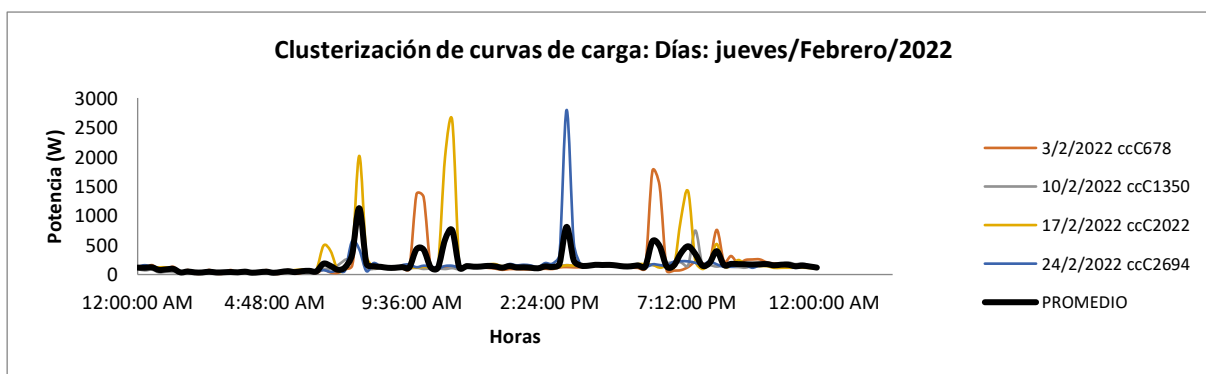


Figura 46. Clusterización de las curvas de carga para los jueves, febrero del 2022

Para los viernes del mes de febrero, se han caracterizado en la **Figura 47** las curvas de carga con la correspondiente curva promedio.

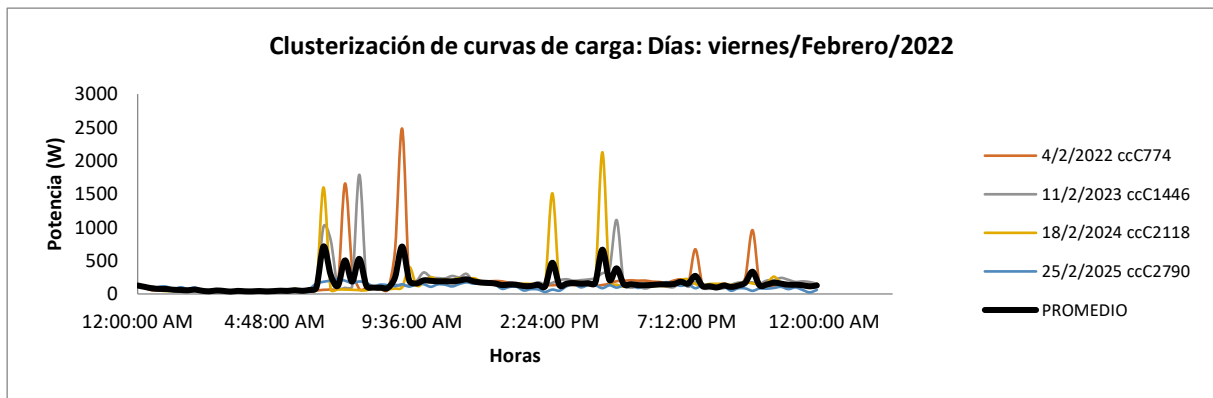


Figura 47. Clusterización de las curvas de carga para los viernes, febrero del 2022

En la **Figura 48** se han caracterizado las curvas de carga para los sábados del mes de febrero, notándose un comportamiento muy parecido por lo cual se determinó y graficó la curva promedio.

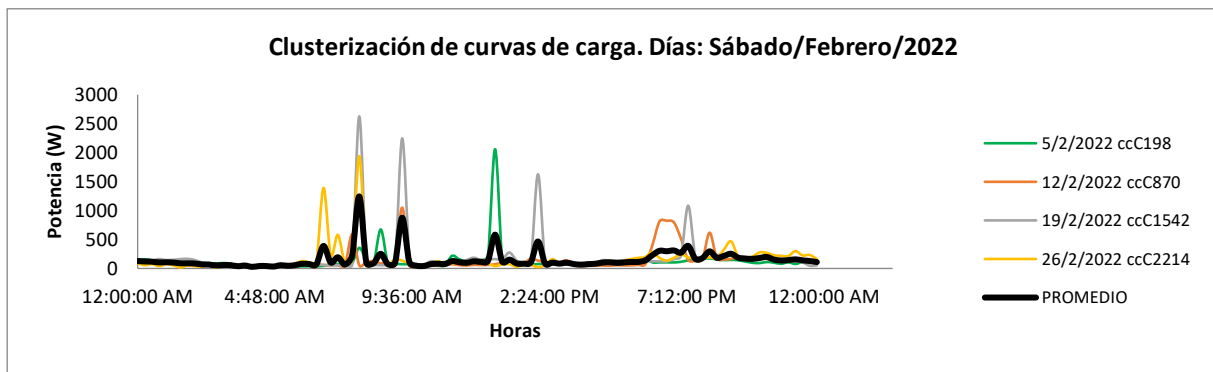


Figura 48. Clusterización de las curvas de carga para los sábados, febrero del 2022

Para los domingos del mes de febrero, se agruparon las curvas de carga en la **Figura 49**, y se representó la curva promedio de las cuatro curvas dado que presentan características similares.

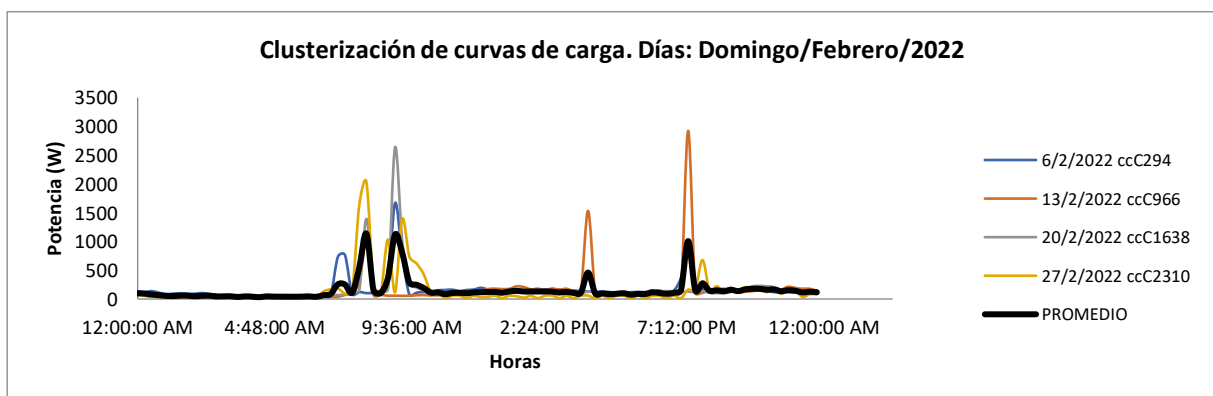


Figura 49. Clusterización de las curvas de carga para los domingos, febrero del 2022

En la **Figura 50** se presenta la clusterización de las curvas de carga promediadas para los días laborables y no laborables del mes de febrero del 2022.

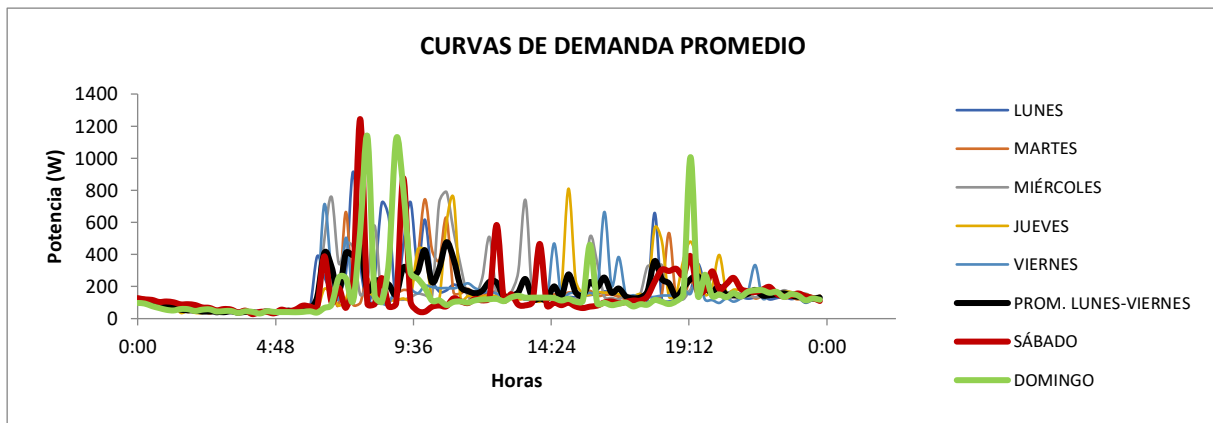


Figura 50. Clusterización de las curvas de carga para los días de la semana

En la **Figura 51** se graficó finalmente las curvas de carga promediadas de los días laborables (lunes a viernes) y fines de semana. Para los días tipo lunes-viernes se tiene la curva color rojo, día tipo sábado la curva azul y el día tipo domingo se plasmó con la curva de carga verde.

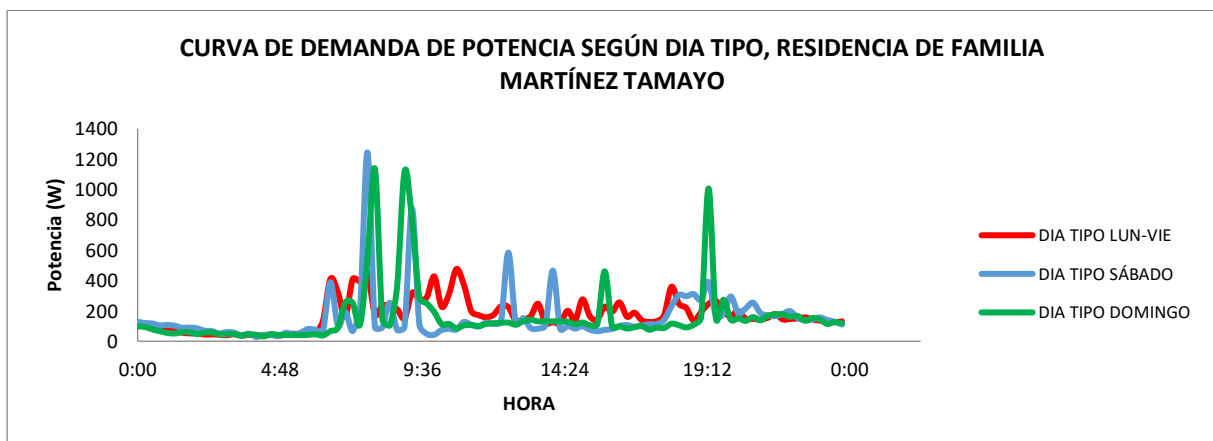


Figura 51. Clusterización de las curvas de carga por día tipo

Adicionalmente se localizó el máximo y mínimo valor de demanda con la función MAX y MIN que proporciona Excel sobre los datos recopilados de las mediciones. El máximo valor de potencia fue de 2 924 W el domingo 13 de febrero a las 19h15 y el mínimo de 15,6 W el domingo 27 de febrero a las 18h30.

5.2.1.3 Caracterización con mediciones sectorizadas.

Con base a mediciones de consumo eléctrico realizadas por semana sobre los artefactos eléctricos con ayuda del medidor y los tomacorrientes inteligentes, se elaboró la siguiente distribución de la **Figura 52** en un diagrama tipo pastel.

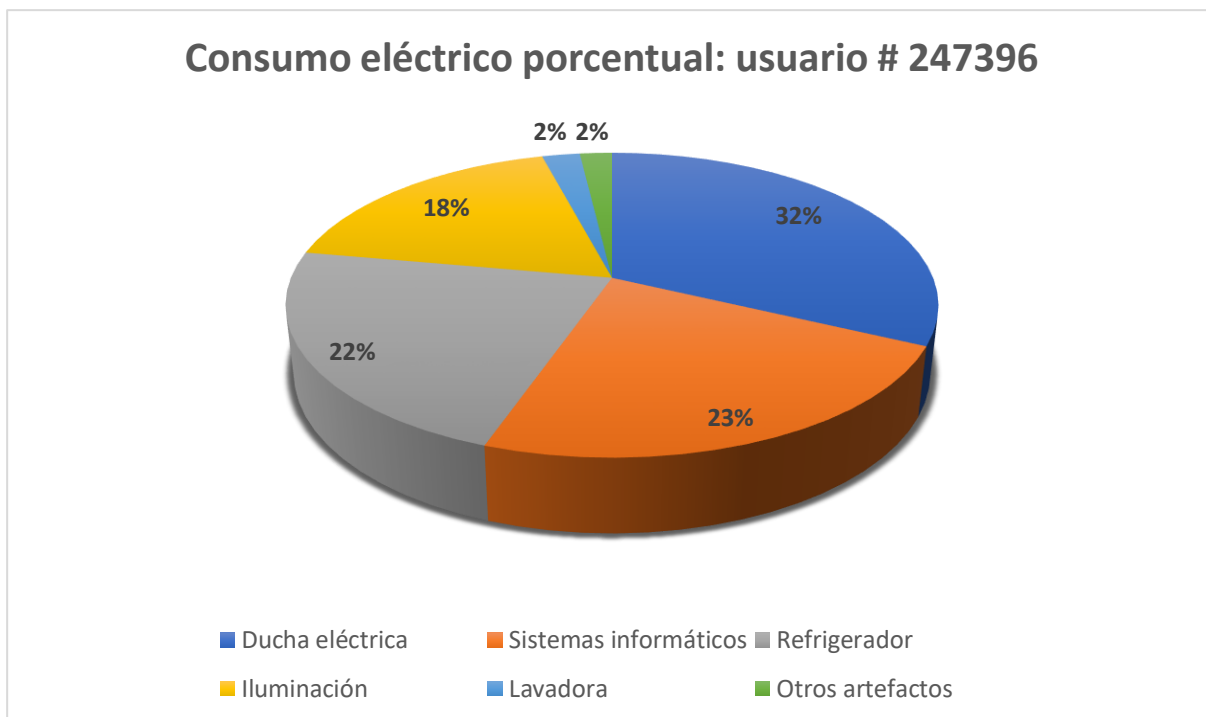


Figura 52. Distribución del consumo eléctrico medido: usuario # 247396

Del gráfico anterior se determinó un consumo semanal de **24,30 kWh**, lo que en un mes representa un valor aproximado de **104,5 kWh** si se tiene en cuenta que en un mes hay 4,3 semanas.

5.3 Procesamiento y análisis de datos

5.3.1.1 Caracterización mediante el histórico de consumo.

A partir de la consulta del histórico de consumo eléctrico desde enero a junio del año 2022 en la página web de la EERSSA utilizando el código único eléctrico nacional (CUEN) de cada usuario, se tabularon los datos de la **Tabla 16**.

Tabla 16. Histórico de consumo eléctrico en usuario # 247396

Año	Mes	Consumo (kWh)
2022	Enero	90
	Febrero	118
	Marzo	116
	Abril	132
	Mayo	109
	Junio	125
PROMEDIO		115
TOTAL, de kWh/semana		26,74

Fuente: (EERSSA, 2022)

De la tabla anterior se tiene un consumo promedio semanal de **26,74 kWh**, lo que da el total de **115 kWh** al mes como promedio en el primer semestre del año 2022.

5.3.1.2 Caracterización mediante el cálculo manual.

En cada vivienda se realizó la revisión de los equipos y/o artefactos existentes, centrandó la atención en la potencia especificada en la placa de características. Mediante la consulta del tiempo en horas o minutos que se utiliza cada aparato y luminaria existente, y con la **Ecuación 11**, se logró determinar la energía consumida en un mes y en una semana.

La **Tabla 17** muestra que al final de un mes resulta que el consumo eléctrico fue de **107,78 kWh**, con un aproximado de **25,07 kWh** semanal.

Tabla 17. Consumo eléctrico aproximado mediante el cálculo manual

Sistema/Artefacto	Consumo
Sistema de iluminación	20,71
Aparatos eléctricos	87,07
TOTAL (kWh/mes)	107,78
TOTAL (kWh/semana)	25,07

En el **Anexo 1** consta el modelo de hoja de cálculo del consumo eléctrico en los artefactos existentes por espacio o locación con la potencia, tiempo de uso y energía consumida al mes, que podría emplearse para cualquier caso de estudio residencial.

5.3.2 Planificación energética con base al ciclo PHVA

El segundo objetivo a desarrollar consistió en: “Elaborar una planificación energética con base al ciclo PHVA expuesto en la norma ISO 50001-2018 para usuarios residenciales”.

La norma ISO 50001-2018 tiene como alcance a cualquier organización, independientemente de su tipo, tamaño, complejidad, etc., con lo que se busca una mejor gestión del rendimiento energético a través de la metodología del ciclo de Deming o PHVA de mejora continua.

5.3.2.1 Planificar.

5.3.2.1.1 Contexto de la organización.

En esta etapa se indagaron aspectos relacionados con el suministro eléctrico, planimetría arquitectónica/eléctrica y una revisión del comportamiento/costumbres del consumo eléctrico a través de una entrevista estructurada.

Estado del suministro eléctrico

Para aterrizar la investigación en los tres casos tratados, se recabó información referida al contexto de suministro eléctrico. Mediante el oficio presente en el **Anexo 2**, se solicitó a la Empresa Eléctrica Regional del Sur S.A, específicamente a la Gerencia de Planificación, información georreferencial acerca del sistema de distribución que abastece de suministro eléctrico a los usuarios residenciales seleccionados, misma que fue acatada y respondida mediante la entrega de un CD titulado: “RED DE DISTRIBUCIÓN EERSSA CIUDAD LOJA” que contiene un archivo con información de los medidores, tramo en baja tensión aéreo, tramo en baja tensión subterráneo, tramo en media tensión aéreo, tramo en media tensión subterráneo y transformadores de la ciudad de Loja.

Mediante el software ArcMap se abrió la documentación y se ubicó la información necesaria respecto al alimentador, transformador, acometidas y medidores de los usuarios seleccionados, la cual se detalló en la **Tabla 18**.

Tabla 18. Información técnica del estado del suministro eléctrico

Nro. Medidor	Alimentador	Nro. Transformador	Potencia (kVA)	Conf. Acometida	Tipo de medidor
247396					
206359	Chontacruz	14049	25	2F3C (2 fases, 3 conductores)	Ciclo métrico-Directa-Bornera
244655					

Fuente: (Geoportal EERSSA, 2022)

Planimetría arquitectónica y eléctrica

A fin de tener un panorama claro de la distribución espacial existente dentro de las edificaciones residenciales, se realizaron mediciones con ayuda del medidor laser y bocetos en hojas para luego poder representarlos detalladamente en AutoCAD como planos arquitectónicos del tipo as built (cómo se construyó) en vista de planta, (ver **Anexo 3**).

A partir de los planos arquitectónicos fue necesaria la identificación de los tableros de distribución, circuitos de alumbrado, tomacorrientes y cargas especiales, protecciones y elementos eléctricos presentes para poder generar los planos eléctricos, (ver **Anexo 4**), diagrama unifilar y simbología correspondiente, esta última en base a los parámetros establecidos por la NEC-SB-IE: Instalaciones eléctricas.

Cultura actual de gestión energética

Con el propósito de indagar acerca del consumo eléctrico en las viviendas seleccionadas, se estructuró un cuestionario con preguntas referentes al tiempo empleado en realizar ciertas actividades, en el uso que se le da a cada artefacto eléctrico y otras costumbres. Esto permitió entender e inferir el grado de comprensión de los usuarios residenciales acerca del tema de eficiencia eléctrica para poder incidir sobre aquellos artefactos con potencial para lograr un ahorro energético.

En el **Anexo 5** se tiene el modelo de entrevista utilizado para los usuarios residenciales con las respuestas dadas por las tres familias.

5.3.2.1.2 Liderazgo.

El liderazgo en un contexto familiar sugiere la presencia y compromiso de una figura adulta que tenga un conocimiento suficiente de los beneficios de implantar un SGE a fin de influir notablemente en el resto del núcleo familiar. Este rol ha sido delegado al papá en cada uno de los tres casos de estudio, ya que dicha persona representa una autoridad como cabeza del hogar que se encarga de promover las medidas de eficiencia eléctrica convenientes a través de estrategias de comunicación e curri para apoyar a todos los miembros en la mejora del rendimiento energético y de proveer los recursos necesarios de ser el caso.

5.3.2.1.3 Planificación.

- Información preliminar

Se debe disponer de información referida al uso de la energía pasada y actual, identificación de variables que afectan el consumo eléctrico, contexto de la vivienda referido a la estructura familiar y características de la instalación eléctrica. Por tanto, se tiene la siguiente información recopilada como parte de la revisión energética.

Registro del consumo histórico

En base a la revisión virtual de las facturas electrónicas desde la página web de la EERSSA se procedió a recopilar el histórico de consumo eléctrico pasado de los tres usuarios desde enero hasta junio del 2022, tal como se muestra en la **Tabla 19**.

Tabla 19. Histórico del consumo eléctrico mensual

AÑO	MES	CONSUMO (kWh)		
		# 247396	# 206359	# 244655
2022	Enero	90	167	173
	Febrero	118	162	168
	Marzo	116	130	150
	Abril	132	147	158
	Mayo	109	112	131
	Junio	125	111	148
PROMEDIO		115	138,17	154,67

En la **Figura 53** se tiene un gráfico de columnas para visualizar e interpretar más claramente la diferencia e intensidad de consumo eléctrico en los tres usuarios.

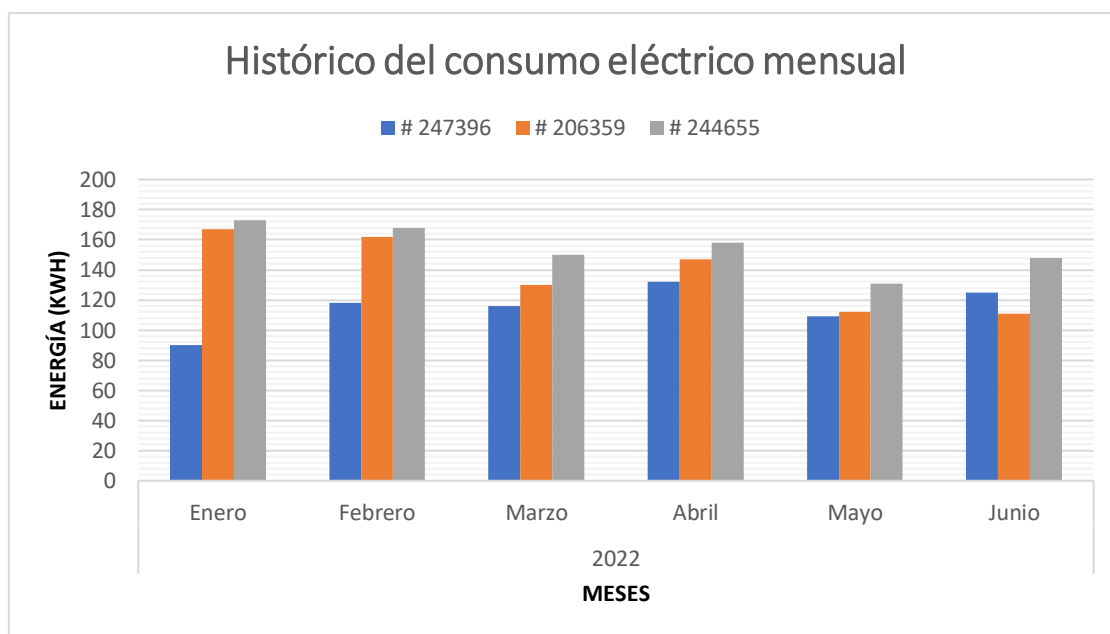


Figura 53. Histórico de consumo eléctrico mensual

Inventario de artefactos eléctricos existentes

Mediante la toma de fotografías y datos técnicos de placa, se registraron los aparatos eléctricos existentes en cada una de las viviendas de interés, con lo cual se formuló un libro en Excel para cada usuario llamado “Características técnicas de equipos” y otro libro denominado “Levantamiento y ubicación de equipos” donde se detallan los códigos diseñados para cada

carga (lámpara, tomacorriente, carga especial, etc.) y tablero de distribución, especificando datos como familia, planta de la casa a la que pertenece, tipo de elemento, elemento secuencial, etc. En la **Figura 54** se aprecia la placa con las características técnicas de una sanduchera EXTREME de 750 W perteneciente al usuario # 247396.



Figura 54. Placa de sanduchera

En el **Anexo 6** y **7** se han colocado los archivos de Excel sobre las características técnicas de los equipos y el levantamiento/ubicación de los mismos, respectivamente. A partir de esto se tiene en la **Tabla 20** un resumen de la carga instalada.

Tabla 20. Potencia o carga instalada en el usuario # 247396

Sistema/circuito	Potencia total (W)	Porcentaje que aporta (%)
Ducha eléctrica	3 800	45,16
Refrigerador	160	1,90
Iluminación	444	5,28
Laptop 3	135	1,60
Laptop 2	45	0,53
Laptop 1	65	0,77
Lavadora	400	4,75
Otros artefactos	3 365	40,00
TOTAL	8 414	100

Como parte de la recopilación de información del consumo eléctrico actual, también se realizaron mediciones energéticas en los distintos sistemas y circuitos a lo largo de una semana, con lo que se tiene la data mostrada en la **Tabla 21**.

Tabla 21. Consumo eléctrico semanal de los sistemas/circuitos para el usuario # 247396

Sistema/circuito	Potencia total (W)	Consumo semanal (kWh)	Porcentaje que aporta (%)
Ducha eléctrica	3 800	7,79	32
Refrigerador	160	5,46	22
Iluminación	444	4,39	18
Laptop 3	135	3,56	15
Laptop 2	45	1,26	5
Laptop 1	65	0,85	3
Lavadora	400	0,54	2
Otros artefactos	3 365	0,46	2
TOTAL	8 414	24,30	100

Variables que afectan el consumo eléctrico

El consumo eléctrico de los distintos sistemas viene influenciado por diferentes fuerzas motrices de actividad. En la **Tabla 22** se han distinguido las variables que afectan el consumo.

Tabla 22. Variables y unidades energéticas para usuarios residenciales

Sistema	Variable actuante	Unidad energética	CÓDIGO
Calefacción de locales	Superficie (m ²)	$\frac{kWh}{m^2}$	H2a
	Número de personas	$\frac{kWh}{persona}$	H2b
Refrigeración de locales	Superficie (m ²)	$\frac{kWh}{m^2}$	C2a
	Número de personas	$\frac{kWh}{persona}$	C2b
Refrigeradora (Nevera)	Número de personas	$\frac{kWh}{persona}$	R1a
Ducha eléctrica	Número de personas	$\frac{kWh}{persona}$	W2a
Iluminación	Superficie (m ²)	$\frac{kWh}{m^2}$	L2a
	Número de personas	$\frac{kWh}{persona}$	L2b
Aparatos electrodomésticos	Número de personas	$\frac{kWh}{persona}$	A2a

Fuente: (AEI, 2015)

Es importante señalar que las unidades energéticas descritas en la **Tabla 22** se corresponden con los indicadores energéticos que se diseñarán posteriormente.

Contexto familiar y eléctrico

Dentro de la fase conocida como “Contexto de la organización” ya se definieron las características relacionadas con el entorno familiar por medio de la entrevista estructurada que se planteó, así mismo, a partir de la elaboración de los planos eléctricos se pudo comprender el estado del suministro eléctrico en lo que se refiere a la red de distribución y la instalación eléctrica aguas abajo del contador de energía.

- Actividades por desarrollar

Las actividades que se ejecutaron estuvieron encaminadas a identificar las posibles anomalías en la instalación eléctrica relacionadas con las fugas de corriente, los usos significativos de la energía, analizar los sistemas consumidores con los planes de acción que permitan alcanzar un rendimiento energético óptimo, oportunidades de ahorro e indicadores de rendimiento energético.

Revisión de la instalación eléctrica

En la vivienda tomada como objeto de estudio se verificó en los tableros de distribución con la pinza amperimétrica si existen corrientes de fuga cuando todos los aparatos están apagados y desconectados. El resultado fue que no existían corrientes de fuga en ninguno de los circuitos medidos, (ver **Figura 55**). Posteriormente se realizó la medición de corrientes con cargas conectadas, con lo cual se constató la misma corriente en la fase y el neutro de cada circuito.



Figura 55. Medición de corrientes de fuga sin carga conectada

Por otro lado, con la elaboración de los planos se verificó que no existe un **balance de cargas** en ninguna de las viviendas dado que a pesar de que existe el servicio de acometida a

2F3C desde hace cerca de 4 años, los usuarios utilizan solamente una de las fases (alimentación a 120 V) ya que las edificaciones fueron así proyectadas y, además, no existen aparatos que funcionen con nivel de tensión a 240 V.

Una acción que se podría implementar desde una perspectiva constructiva es utilizar los dos cables de fase disponibles desde el medidor, ya que de esta manera se repartirían las cargas entre ambas líneas y se evitaría problemas en la instalación relacionados con sobrecarga en los cables, calentamiento de estos (efecto joule), etc., lo cual genera pérdidas de calor y por consiguiente de energía eléctrica.

Adicionalmente, se han identificado cargas que generan consumos stand by como son: el microondas y router del internet, con 1,1 W y 5,4 W, respectivamente, éste último siendo importante considerar su desconexión en horarios de descanso.

Usos significativos de la energía (USE)

Con base al estudio de la **Tabla 21** sobre el usuario # 247396, se construyó el diagrama de Pareto de la **Figura 56** con el propósito de identificar los sistemas/circuitos prioritarios que más aportan al consumo eléctrico total.

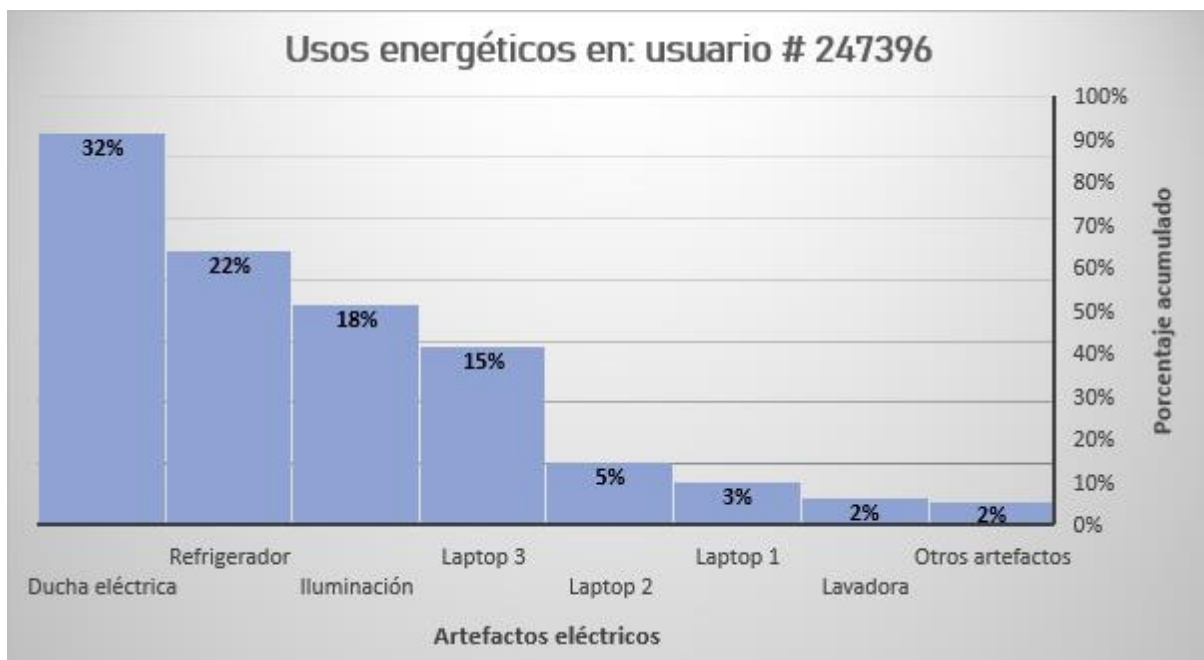


Figura 56. Diagrama de Pareto: consumo de usuario # 247396

De la imagen anterior se puede deducir que la ducha eléctrica, refrigerador, sistema de iluminación y la laptop 3 son los usos más significativos de energía que aportan mayoritariamente en un 80 % al consumo eléctrico semanal dentro de la edificación.

Análisis de los sistemas consumidores

A partir del conocimiento de cuáles son los sistemas consumidores de energía, se plantean algunas medidas de ahorro energético a implementar, ya sea mediante cambios tecnológicos o de hábitos.

- Sistemas de iluminación

Para sistemas de iluminación y cualquier otro sistema o artefacto eléctrico se propuso un procedimiento de cálculo donde se tomó en cuenta datos técnicos de la lámpara a instalar como potencia, horas de funcionamiento y energía consumida en cada espacio de la vivienda, a fin de poder estimar un consumo zonificado y próximo a la realidad. Así mismo esto permitirá estimar con precisión el consumo futuro ante un posible aumento de la carga instalada, cambio de tecnología o disminución de las horas de consumo (cambio de hábitos).

En la **Tabla 23** se tiene un modelo de registro para llevar un control de la locación, cantidad, potencia, tipo de lámpara, horas de funcionamiento y energía consumida.

Tabla 23. Modelo de registro de la energía consumida en iluminación por espacios

Espacio/Locación	Nro. Lámparas	Tipo de lámpara	Potencia/lámpara (W)	Horas de funcionamiento diario (h)	Energía consumida/día (Wh)	Energía consumida/mes (kWh)
Sala	5	LED	9	2	90	2,70
Cocina	1	LED	9	5	45	1,35
Estudio	1	Ahorradora	25	7	175	5,25
TOTAL						9,30

Adicionalmente, si se opta por un cambio de hábitos y acciones de mantenimiento, esto repercutirá en una reducción del tiempo de utilización de la iluminación:

- Aprovechar la luz natural.
- No dejar lámparas encendidas innecesariamente.
- Limpiar periódicamente las lámparas para alcanzar un mayor grado de iluminación.
- Adquirir lámparas con el mayor grado de rendimiento energético.

Respecto al uso de luz natural, según María T. Baquero L & Felipe Quesada M (2016) las viviendas con orientación Este y Oeste en zonas climáticas como la ciudad de Cuenca y Loja, pueden maximizar el aprovechamiento de la luz solar en la mañana o tarde. Además, un correcto diseño bioclimático con la orientación correcta de las viviendas puede aportar con ahorros de entre 50 y 70 % para la climatización e iluminación en hogares.

- **Refrigeración doméstica**

En estos sistemas se toma en cuenta el coeficiente de funcionamiento (COP) del sistema como un indicativo relevante de la eficiencia del equipo de refrigeración. Por tanto, es importante considerar que, para refrigeradoras antiguas mayores a 12 años, el consumo es cerca de 3 veces lo que consumen las neveras actuales, así que se debe centrar la atención en el COP a la hora de optar por un cambio tecnológico.

Otras actividades ligadas al cambio de hábitos para una optimización del consumo son:

- Evaluar el estado de los empaques de las puertas para que el cierre sea totalmente hermético y no exista ingreso de aire caliente del exterior.
- Evitar abrir innecesariamente el refrigerador.
- Enfriar los alimentos exteriormente antes de introducirlos en la nevera.
- Calibrar el termostato entre los niveles 2 y 3.
- Limpiar y descongelar regularmente para evitar el engrosamiento de la escarcha más allá de los 5 milímetros.
- Limpiar con regularidad la rejilla del condensador en la parte posterior para evitar que el compresor trabaje más de la cuenta.

- **Ducha eléctrica**

Las duchas eléctricas están categorizadas por la clase de potencia y potencia nominal que consumen, tal cual se revisó en la **Tabla 11**. A la hora de realizar un cambio de tecnología se debe verificar que el sistema posea un mejor rendimiento acercándose a la clase de potencia tipo A, B o C.

Otra opción muy conveniente es el de disponer de un sistema de calentamiento solar de agua que aproveche el recurso renovable del sol, de manera que se contribuya a la reducción significativa del consumo eléctrico y la exigencia de las redes eléctricas de distribución.

- Se deben tomar duchas de máximo 3 minutos.
- Cerrar la ducha cuando no se la utilice.

- **Sistemas informáticos**

Cómo ya se mencionó anteriormente, las computadoras portátiles consumen menos potencia que las de escritorio debido a las características de durabilidad, eficiencia y simplicidad que otorgan. El análisis que se debe de ejecutar deberá estar enfocado en la adquisición de un equipo que se adapte al trabajo que se esté realizando, dado que si la prioridad es el ahorro energético la mejor opción es una laptop, pero si la prioridad es una inversión económica es conveniente una PC de escritorio.

- Para computadoras de escritorio se recomienda apagar el equipo ante ausencias prolongadas de más de 30 minutos.
- Sí las ausencias son por periodos cortos es mejor apagar solo el monitor.
- En laptops es importante regular el brillo de la pantalla para un ahorro de energía.

En lo que se refiere a la impresora se pueden distinguir dos tipos como son las impresoras de inyección de tinta y las laser. La primera consume menos energía respecto a la segunda, su costo es menor, la calidad de impresión es baja, entre otras cuestiones. La impresión con láser consume 95% más de energía, la inversión económica es mayor y la calidad es buena.

- **Televisión**

Como parte del cambio tecnológico es importante considerar la clase de eficiencia energética mostrada en la **Tabla 12** para las tecnologías más nuevas de televisores como son: plasma, LCD, LED, y OLED.

Los televisores de plasma son menos eficientes que los LED o LCD. Los LED consumen un 50% menos que los LCD, mientras que estos últimos tienen un consumo igualmente bajo. Los televisores OLED mejoran las prestaciones de los LED en cuanto al ahorro energético y la posibilidad de reducir al mínimo el grosor de la pantalla.

De esta manera, la elección del televisor estará sujeta a la necesidad de los integrantes de la vivienda. Se deben considerar hábitos para el uso de este equipo como son:

- Ajustar el brillo y contraste de la TV.
- Apagar y desconectar la TV si no se la utiliza.

- **Lavadora**

La elección de una lavadora eficiente estará ligada a la identificación adecuada del nivel de rendimiento en la escala del etiquetado energético para todo equipo. Así mismo, se introducen otras acciones que mejoran y optimizan el uso de este electrodoméstico:

- Lavar con programas de baja temperatura del agua ya que el mayor porcentaje de consumo está relacionado con el calentamiento del agua.
- Aprovechar la máxima capacidad del tambor de la lavadora.
- Mantener limpio el filtro de la lavadora.
- Cuando la suciedad de la ropa no sea demasiada, es recomendable programar el lavado con ciclos cortos.

- **Microondas**

Los microondas consumen entre un 60% y 70% menos que un horno eléctrico. Dentro de las actividades que se deben considerar para mejorar el rendimiento energético se tiene:

- No abrir el compartimiento donde se calientan los productos cuando el aparato está funcionando.
- No utilizar el microondas para descongelar alimentos.
- Mantener limpio el compartimiento donde se hallan los productos.
- Programar el calentamiento con una ligera disminución del tiempo que se acostumbra ya que el calor residual que queda seguirá cociendo los alimentos.

- **Otros electrodomésticos**

Aquí se pueden considerar aparatos secundarios como tostadora, licuadora, waflera, olla arrocera, plancha, secador de pelo, cargador de celular, etc., los cuales merecen la aplicación de las siguientes acciones para la optimización de la energía:

- Desconectar los aparatos cuando no se los utilice.
- Verificar el estado de los equipos: conexiones eléctricas, elementos mecánicos, limpieza de las superficies.

A fin de poder documentar el consumo eléctrico que cada aparato, equipo o electrodoméstico aporta al total de una vivienda, se ha propuesto el siguiente modelo de registro técnico, (ver **Tabla 24**), como apoyo para la revisión energética actual y de futuras proyecciones.

Tabla 24. Registro de consumidores de energía eléctrica

Espacio/ Locación	Equipo/aparato	Potencia de placa (W)	Voltaje (V)	Frecuencia (Hz)	Factor de uso	Potencia real (W)	Horas de operación al mes (h)	Consumo (Wh/mes)
Baño	Ducha eléctrica	3 800	120	60	1	3 800	8,82	33 516
Cocina	Licuadora	600	120	60	1	600	2,5	1 500
Estudio	Laptop	135	120	60	1	135	113,25	15 288
Patio	Lavadora	400	120	60	1	400	5,81	2 324

Priorización de las oportunidades de mejora

Con los antecedentes anteriores referidos a los usos significativos de la energía se diseñó una matriz de oportunidades de mejora a implementar sobre los mismos.

Para la ponderación de cada oportunidad de mejora se han analizado los siguientes aspectos en cada una:

- De acuerdo con (Ulloa, 2015) la iluminación LED consume un 90% menos que las lámparas comunes. La inversión sugiere el reemplazo de 2 lámparas fluorescentes de 25 W, 2 fluorescentes de 15 W y 2 incandescentes de 50 W por

- led, siendo la implementación inmediata. Favorece positivamente a la disminución del impacto ambiental ya que el pasar de una lámpara fluorescente o incandescente a tecnología led de 6, 9 o 20 W con las mismas o mejores prestaciones lumínicas supone un ahorro energético y ambiental, sabiendo también que el factor de emisión es de 0,1917 kg CO₂/kWh. Si una lámpara fluorescente de 25 W trabaja durante 8 horas diarias, al final del mes consumiría 6 kWh, mientras que una LED de 9 W en similares condiciones consumiría 2,16 kWh; si el precio de la energía se considera como de 0,093 USD/kWh, entonces el ahorro económico sería de cerca de 0,35 USD/mes (35 centavos), por lo que se necesitaría de un periodo de 6 a 12 meses para recuperar la inversión sabiendo que los precios varían desde \$ 1,00 hasta los \$ 4,00 dependiendo de la luminaria.
- El hecho de pasar de una ducha de clase C (3 800 W) a una de tipo A (2 400 W) supone un ahorro del 37%. Los precios de las duchas van desde los 16 a los 30 dólares. La implementación es inmediata requiriendo solamente el empalme de los conductores. El impacto ambiental es favorable al tener menos potencia en el artefacto. Si una ducha de 3 800 W trabaja durante 8 horas mensuales, al final del mes consumiría 30,4 kWh, mientras que una de 2 400 W en similares condiciones consumiría 19,2 kWh; entonces el ahorro económico sería de cerca de 1,04 USD/mes por lo que se necesitaría de un periodo de 13 a 36 meses aproximadamente para amortizar dicha inversión.
 - El reemplazo de una refrigeradora antigua por una nueva con etiquetado energético puede consumir según Ulloa (2015) un 53% menos de energía. La inversión es elevada, superior a los \$ 100. Su puesta en marcha solo consiste en enchufar el artefacto y así contribuye al mejoramiento del medio ambiente. De las mediciones efectuadas se verificó que una nevera antigua consume más o menos 44,88 kWh/mes, en cambio una moderna 29,41 kWh/mes, lo cual se traduce a un ahorro de 1,44 USD/mes. Si una refrigeradora básica con letra A en su etiquetado energético tiene un precio alrededor de 581 USD, según Electrolux Ecuador (2021), entonces se necesitaría 33 años para recuperar dicha inversión.
 - La laptop LENOVO utilizada actualmente, y que consume 135 W, podría ser reemplazada por una DELL de 45 W lo que se traduce en una mejora de la eficiencia en el equipo informático. El equipo requiere una inversión de 1 000 USD, según Grupo LAAR (2022), aunque la implementación es inmediata. El

ahorro obtenido de cualquier modo mejora las condiciones medioambientales. Al comparar los dos modelos enchufándolos durante 6 horas al día, se tendría al cabo de un mes un ahorro de 1,5 USD/mes, con lo que se necesitaría de 55 años para recuperar la inversión.

En base a la **Tabla 9** se ha elaborado una adaptación para el presente caso con el fin de evaluar las alternativas que mejor convengan implementar, este análisis se muestra en la **Tabla 25**.

Tabla 25. Determinación de las oportunidades de mejora en el usuario # 247396

Sistema	Descripción de oportunidad	Calificación de oportunidad					Calificación total
		Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	
Sistema de iluminación	Reemplazo de lámparas fluorescentes por lámparas LED	4	3	4	4	3	18
Ducha eléctrica	Reemplazo de la ducha por otra más eficiente.	4	3	4	4	2	17
Refrigerador	Reemplazo de la refrigeradora por otra más nueva y eficiente.	4	1	4	4	1	14
Informático (Laptop)	Reemplazo de la laptop por otra de similares prestaciones y menos consumo.	3	1	4	4	1	13

De la matriz anterior se verificó que las opciones que mejor se adaptan a la conveniencia de la instalación para el mejoramiento de la eficiencia eléctrica son el reemplazo de las lámparas fluorescentes por lámparas LED. También se constata que otra opción que se podría implementar es el reemplazo de la ducha eléctrica por otra de mayor eficiencia; alternativas como cambiar la refrigeradora y la laptop se vuelven económicamente inviables.

Diseño de indicadores energéticos

Al tener mediciones de consumo energético presentes en cada vivienda ha sido conveniente el diseño de indicadores energéticos que monitoreen directamente los sistemas existentes, para lo cual se tiene la siguiente explicación de los indicadores a diseñar:

- *Elemento calificado*: se consideraron aparatos de gran aporte energético como la refrigeradora, ducha eléctrica, iluminación y demás electrodomésticos.
- *Parámetro a medir*: consumo de energía del aparato en cuestión, respecto al número de ocupantes y/o superficie según sea el caso.

Se tomó la data presentada en la **Tabla 21** acerca del consumo semanal de cada sistema, así mismo se determinó, en base a los planos arquitectónicos, el área de construcción de la vivienda, el cuál es de 148,76 m². El número de ocupantes es de 5, con un consumo promedio semanal de 24,30 kWh.

Con base a la **Ecuación 6** se construyó la **Tabla 26** con los indicadores energéticos referenciales previo a la implementación de algún tipo de mejora de los sistemas, así como la meta u objetivo energético a alcanzar que es un 20% de reducción en los índices de consumo eléctrico:

Tabla 26. Indicadores de consumo energético según los ocupantes y superficie.

INDICADOR	SISTEMA	UNIDAD	VALOR	META
Índice de consumo energético por sistema/servicio	Refrigeración	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,09	0,87
	Calentamiento de agua	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,56	1,25
	Iluminación	$\frac{kWh}{semana - persona}$	0,88	0,70
		$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,03	0,02
	Electrodomésticos	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,33	1,07

Igualmente se determinaron los kg de CO₂ emitidos al ambiente por cada sistema utilizando la **Ecuación 8** y la meta de emisiones a alcanzar, (ver **Tabla 27**).

Tabla 27. Indicadores de kg de CO2 emitidos al ambiente

INDICADOR	SISTEMA	UNIDAD	VALOR	META
Índice de emisiones de CO₂ por sistema/servicio	Refrigeración	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,21	0,17
	Calentamiento de agua	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,30	0,24
	Iluminación	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,17	0,13
		$\frac{kg\ CO_2}{semana - m^2}$	0,01	0,00
	Electrodomésticos	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,26	0,20

Con la energía promedio semanal se calculó los siguientes indicadores energéticos globales expuestos en la **Tabla 28**:

Tabla 28. Indicadores globales de energía según los ocupantes y superficie

INDICADOR	UNIDAD	VALOR	META
Índice de consumo energético por el área de construcción	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,16	0,13
Índice de consumo energético por cada habitante	$\frac{kWh}{semana - persona}$	4,86	3,89

Igualmente se determinaron los kg de CO₂ emitidos al ambiente para los índices globales de energía respecto a los ocupantes y superficie existente, (ver **Tabla 29**).

Tabla 29. Indicadores globales de kg de CO2 emitidos al ambiente

INDICADOR	UNIDAD	VALOR	META
Índice global de emisiones de CO₂ por área de construcción	$\frac{kg\ CO_2}{semana - m^2}$	0,03	0,02
Índice global de emisiones de CO₂ por cada habitante	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,93	0,74

- Resultados

El resultado de la revisión energética es información documentada sobre el consumo eléctrico con modelos de tablas, indicadores energéticos y planes de acción a ejecutar.

5.3.2.1.4 Soporte.

Es importante considerar los recursos pertinentes (humanos, tecnológicos, financieros, etc.), la manera de comunicar los planes de acción de la etapa de implementación e información documentada sobre el avance del SGE ejecutado.

Los recursos humanos se determinaron que son los miembros del núcleo familiar (papá, mamá e hijos/as), quienes serán los consumidores continuos de energía y los encargados, a su vez, de mejorar el rendimiento energético de la vivienda luego de la etapa de planificación mediante el compromiso y liderazgo del cabeza de hogar para promover una cultura de ahorro energético y proveer los recursos financieros necesarios.

La fase de comunicación de planes de acción se ejecutó haciendo énfasis en los sistemas/artefactos de mayor consumo obtenidos del diagrama de Pareto para decidir implementar los cambios o mejoras más convenientes. Se elaboró en el **Anexo 8** un documento denominado “Recomendaciones para la práctica de hábitos eficientes en busca de un ahorro del consumo eléctrico” como parte de la socialización energética en cada hogar.

A fin de llevar un registro de los recursos tecnológicos y financieros para operar el SGE, se diseñó la **Tabla 30** donde se muestran los equipos empleados para la recolección de datos de la etapa de planificación.

Tabla 30. Registro financiero para los recursos de infraestructura de recolección de datos

Cant.	Descripción	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
1	Monitor de energía + 4 enchufes inteligentes EMPORIA	200	200
1	Medidor laser BOSCH	40	40
1	Multímetro digital DT9208A	20	20
1	Smartphone SAMSUNG A10s	125	125
TOTAL			385

También se registraron los artefactos tecnológicos derivados de la matriz de priorización para mejorar el rendimiento energético. En el presente caso se decidió como primera medida de mejoramiento del SGE el de reemplazar las lámparas fluorescentes e incandescentes por lámparas LED, con lo cual se generó la inversión detallada en la **Tabla 31**. Así mismo en el **Anexo 10** se tiene el estudio lumínico que sustenta el cambio de lámparas efectuado.

Tabla 31. Registro financiero de los recursos tecnológicos para mejorar la EE

Lugar	Cant.	Descripción	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Patio	2	Lámpara LED SYLVANIA de 6 W, 520 lm, $\eta = 86,67$ lm/W	1,33	2,66
Patio	2	Panel LED SYLVANIA de 6 W, 350 lm, $\eta = 58,33$ lm/W	3,34	6,68
Estudio	1	Lámpara LED SYLVANIA de 20 W, 1 700 lm, $\eta = 85$ lm/W	2,90	2,90
Corredor	1	Lámpara LED SYLVANIA de 9 W, 800 lm, $\eta = 88,89$ lm/W	0,80	0,80
TOTAL				13,06
TOTAL (incluido el 12% de IVA)				14,60

Como acciones de mantenimiento o cambio de hábitos en equipos se definió lo siguiente:

- Limpiar el interior del microondas cada vez que se lo ocupe.
- Limpiar el condensador del refrigerador.
- Desconectar todos los electrodomésticos que estén enchufados innecesariamente.
- Ya que es una costumbre muy presente en la sociedad el ducharse escuchando música, se propone tomar duchas calculando el tiempo de las mismas por medio de la duración de una canción y media, lo que se traduce en un tiempo de 5 min como máximo. De acuerdo con EERSSA (2021) en el marco de las capacitaciones brindadas a la ciudad de Loja sobre eficiencia energética, se propone tomar duchas de máximo 3 minutos de duración, ya que la ducha eléctrica constituye cerca del 26 % de consumo en las viviendas.

5.3.2.2 Hacer

5.3.2.2.1 Operación

En esta etapa se desarrolla una planificación dirigida a los sistemas, equipos o artefactos relacionados con los USE donde deben prevalecer criterios operacionales y de mantenimiento. Se optó por el cambio tecnológico en el sistema de iluminación y el cambio de hábitos en el resto de sistemas, ya sea en la limpieza de la refrigeradora, tiempo de uso suficiente de la ducha eléctrica, desconexión de cargas innecesarias, apagar las luces que no se utilicen, etc.

5.3.2.3 Verificar

5.3.2.3.1 Rendimiento y evaluación.

Aquí se partió desde el seguimiento de los planes de acción relacionados con el cambio tecnológico y de hábitos, con especial atención en los USE que en el presente caso fueron la ducha eléctrica, refrigeradora, iluminación y laptop (sistema informático). Primeramente, se midió el consumo eléctrico (ver **Tabla 35**) y definió el indicador energético mejorado para los distintos sistemas eléctricos cuyos resultados se presentan en la **Tabla 32** con relación a la semana 1, donde se comparan con los indicadores referenciales y la meta energética. Además, se determinó el ahorro energético correspondiente con la **Ecuación 7**:

Tabla 32. Evaluación de indicadores energéticos con las mejoras implementadas

SISTEMA	UNIDAD	REF.	META	MEJORA	AHORRO
Refrigeración	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,09	0,87	1,11	- 0,02
Calentamiento de agua	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,56	1,25	1,02	0,54
Iluminación	$\frac{kWh}{semana - persona}$	0,88	0,70	0,63	0,25
	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,03	0,02	0,02	0,01
Electrodomésticos	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,33	1,06	0,98	0,35
Consumo energético global por el área de construcción.	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,16	0,131	0,126	0,03
Consumo energético global por cada habitante.	$\frac{kWh}{semana - persona}$	4,86	3,89	3,75	1,11

También se calculó el indicador referido a las emisiones de CO₂ emitidas al ambiente, con lo que se pudo comparar el valor obtenido de las mejoras aplicadas con el valor referencial y meta propuesta. Se determinaron las emisiones evitadas al ambiente derivadas del ahorro energético con la **Ecuación 9**, (ver **Tabla 33**).

Tabla 33. Evaluación de indicadores de kg de CO₂ emitidos al ambiente

SISTEMA	UNIDAD	REF.	META	MEJORA	EMISIONES EVITADAS
Refrigeración	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,21	0,17	0,21	0,00
Calentamiento de agua	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,30	0,24	0,20	0,10
Iluminación	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,17	0,14	0,12	0,05
	$\frac{kg CO_2}{semana - m^2}$	0,006	0,005	0,004	0,002
Electrodomésticos	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,26	0,21	0,19	0,07
Emisiones de CO ₂ globales por área de construcción.	$\frac{kg CO_2}{semana - m^2}$	0,03	0,025	0,024	0,006
Emisiones de CO ₂ globales por cada habitante	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,93	0,74	0,72	0,21

Adicionalmente, con base a la inversión realizada por motivo de la implementación de las medidas de eficiencia energética, fue necesario efectuar el estudio económico que permita justificar tal inversión para conocer el monto económico que se podría ahorrar y el tiempo en que se recuperaría.

A partir del ahorro de $1,11 \frac{kWh}{semana-persona}$ derivado del consumo energético global por cada habitante se calculó el mismo ahorro, pero en un mes, con lo que se tuvo el siguiente valor:

$$A_{en} = 1,11 \frac{kWh}{semana - persona} * \frac{4,3 semanas}{1 mes} * 5 personas$$

$$A_{en} = 23,86 \frac{kWh}{mes}$$

Conociendo los cargos tarifarios únicos de la EERSSA presentes en la **Tabla 3**, se tomó en cuenta el promedio del costo de la energía de los tres primeros rangos de consumo, resultando en un valor de $0,093 \frac{USD}{kWh}$ que se utilizó en el presente caso. Seguidamente se calculó el ahorro económico empleando la **Ecuación 2**:

$$A_{ec} = 23,86 \frac{kWh}{mes} * \frac{0,093 USD}{1 kWh}$$

$$A_{ec} = 2,22 \frac{USD}{mes}$$

De la etapa de soporte en la fase de planificación se precisó un monto de 14,60 USD destinado a gastos en cambio tecnológico para mejorar la eficiencia energética. Con el dato del ahorro económico y la inversión se aplica la **Ecuación 12** para hallar el periodo de retorno de la inversión (PRI simple):

$$PRI\ simple = \frac{14,60 USD}{2,22 \frac{USD}{mes}}$$

$$PRI\ simple = 6,58\ meses$$

$$PRI\ simple = 0,55\ años$$

El ahorro ambiental de la **Tabla 33** es de $0,21 \frac{kgCO_2}{semana-persona}$, lo que resulta también en un valor de:

$$A_{em} = 4,52 \frac{kgCO_2}{mes}$$

En lo que se refiere a la incidencia de los consumos stand by, anteriormente se mencionó que los mismos tienen que ver con el microondas y el router del internet. Al ser el microondas un aparato que se suele desconectar inmediatamente luego de su uso, se ha considerado solamente al router como aparato a desactivar para analizar el ahorro energético, económico y ambiental

en un periodo de 6 horas con poca actividad (desde las 00h00 hasta las 06h00). En la **Tabla 34** se tiene el análisis correspondiente.

Tabla 34. Ahorro por cargas en stand by, usuario # 247396

Equipo/aparato	Potencia en stand by (W)	Tiempo de funcionamiento (horas/mes)	Ahorro (kWh/mes)	Ahorro (USD/mes)	Emisiones evitadas (kgCO ₂ /mes)
Router	5,4	180,6	0,98	0,09	0,19

5.3.2.4 Actuar

5.3.2.4.1 Mejora.

Se busca reaccionar ante la o las no conformidades para tomar acciones que permitan su corrección, así mismo, se evalúa la necesidad de tomar decisiones para eliminar las causas de dicha situación. Se establece que la mejora continua se logra con la reducción del consumo energético, por lo tanto, se vuelve necesario implementar nuevos recursos que repotencien o sustituyan las medidas energéticas planteadas en un inicio. Como parte del mejoramiento continuo y actualización del SGE para el presente caso es importante considerar aspectos que han de aplicarse de manera progresiva con el objetivo de mejorar el rendimiento energético:

- En el sistema de iluminación se podría disponer de sensores de proximidad para espacios de poca concurrencia (gradas, fachada, baño, etc.).
- Se podría pensar en calentadores solares que sustituyan a la ducha eléctrica.
- Mediante un sistema de domótica se podría desenergizar toda la vivienda en horarios de descanso o ausencia total, dejando activas solo cargas específicas.
- La refrigeradora tiene un aproximado de 20 años de antigüedad, por lo que no cuenta con etiquetado energético. Una solución a mediano o largo plazo es la de adquirir una nueva con el más alto nivel de eficiencia energética, aunque implicaría un mayor tiempo de recuperación de la inversión.
- Otra alternativa es la de cambiar la laptop de 135 W que por su antigüedad necesita estar enchufada todo el tiempo, por otra de similares características que se desconecte cuando la batería esté cargada.
- Disponer de una alimentación bifásica a 240 V.

Al contar con la facilidad de seguir haciendo mediciones del mejoramiento del rendimiento energético en el usuario # 247396, las mismas se siguieron ejecutando durante 8 semanas con el fin de compararlas con los valores referenciales y la meta propuesta, tratando de retroalimentar progresivamente el SGE con las medidas correctivas más convenientes. Por este motivo se tiene en la **Tabla 35** el avance del mejoramiento en el consumo eléctrico.

Tabla 35. Cronología del mejoramiento energético en el usuario # 247396

Sistema	Consumo referencial	META	Mediciones								PROMEDIO
			Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7	Semana 8	
			<i>kWh/semana</i>								
Calentamiento de agua	7,79	6,23	5,10	6,13	5,35	6,61	4,46	5,46	5,99	5,53	5,58
Refrigeración	5,46	4,37	5,57	4,63	4,43	4,38	4,38	4,88	4,37	4,89	4,69
Iluminación	4,39	3,51	3,17	3,07	2,79	2,14	1,58	2,73	3,70	3,42	2,82
Otros electrodomésticos	6,66	5,33	4,91	5,39	5,34	3,57	2,76	5,01	6,48	5,88	4,92
Total	24,30	19,44	18,75	19,23	17,90	16,71	13,18	18,08	20,55	19,73	18,01

Las fechas específicas de las mediciones por semana fueron las siguientes:

- Semana 1: del 12 al 18 de septiembre de 2022.
- Semana 2: del 19 al 25 de septiembre de 2022.
- Semana 3: del 26 de septiembre al 2 de octubre de 2022.
- Semana 4: del 3 al 9 de octubre de 2022.
- Semana 5: del 10 al 16 de octubre de 2022.
- Semana 6: del 17 al 23 de octubre de 2022.
- Semana 7: del 24 al 30 de octubre de 2022.
- Semana 8: del 31 de octubre al 6 de noviembre de 2022

Con el dato de consumo promedio mejorado de $18,01 \frac{kWh}{semana}$ se puede deducir matemáticamente que el mismo se corresponde con un valor de $77,44 \frac{kWh}{mes}$.

De la **Tabla 35** también se pueden calcular los ahorros promedio porcentuales por cada sistema y de manera global:

- **Calentamiento de agua:** 28,37 %.
- **Refrigeración:** 14,10 %.
- **Iluminación:** 35,76 %.

- **Otros electrodomésticos:** 26,13 %.
- **Total:** 25,88 %.

Se ejecutó el monitoreo general de la vivienda para el mes de enero del 2023 y con la técnica de clusterización se organizó la información documentada en perfiles de carga para los distintos días tipo de manera que gráficamente sean apreciables las mejoras energéticas. Se calculó el consumo de energía promedio diario para cada día tipo:

Enero 2023:

- Día tipo de lunes a viernes: 3,17 kWh/día
- Día tipo sábado: 2,59 kWh/día
- Día tipo domingo: 3,26 kWh/día

Para el mes de febrero del 2022 se tienen los siguientes valores de consumo promedio diario antes de ejecutar medidas de eficiencia energéticas en la residencia:

Febrero 2022:

- Día tipo de lunes a viernes: 4,10 kWh/día
- Día tipo sábado: 3,68 kWh/día
- Día tipo domingo: 3,81 kWh/día

Para tener una perspectiva del ahorro alcanzado con los datos antes mencionados, se ha realizado una proyección de la energía eléctrica consumida en el lapso de una semana para luego determinar el ahorro porcentual:

Energía promedio consumida en una semana:

$$\text{Febrero 2022: } \longrightarrow E_c = (4,10 * 5 + 3,68 + 3,81) \frac{kWh}{semana} = 28 \frac{kWh}{semana}$$

$$\text{Enero 2023: } \longrightarrow E_c = (3,17 * 5 + 2,59 + 3,26) \frac{kWh}{semana} = 21,7 \frac{kWh}{semana}$$

Ahorro energético:

$$A_{en} = \left| \frac{28 \frac{kWh}{semana} - 21,7 \frac{kWh}{semana}}{28 \frac{kWh}{semana}} \right| * 100$$

$$A_{en} = 22,5 \%$$

Se expone en la **Figura 57** la comparativa entre los perfiles de carga del mes de febrero del 2022 (pre auditoría) y los perfiles de enero del 2023 (con auditoría).

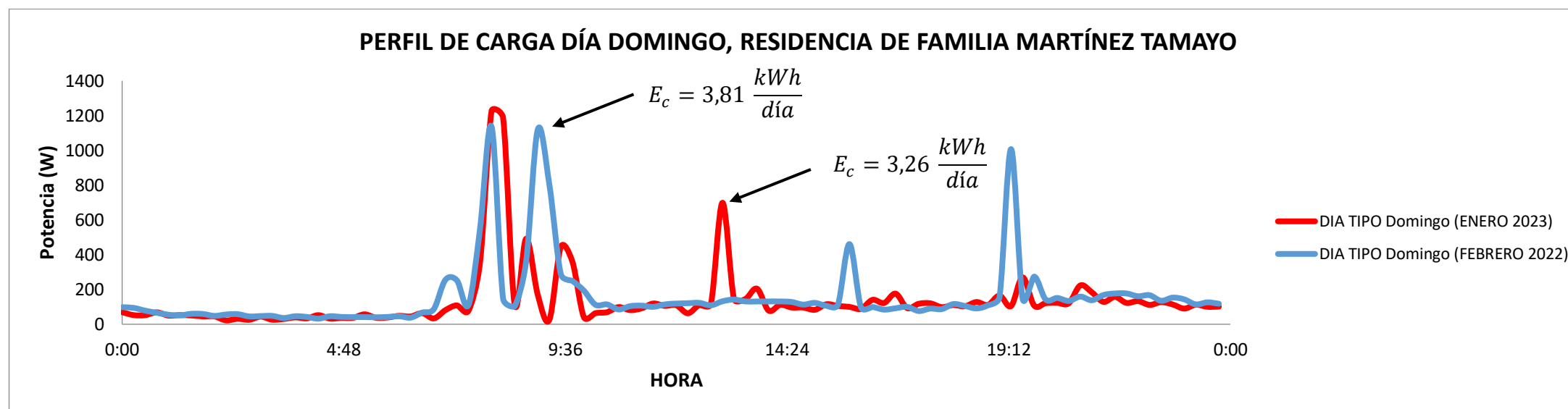
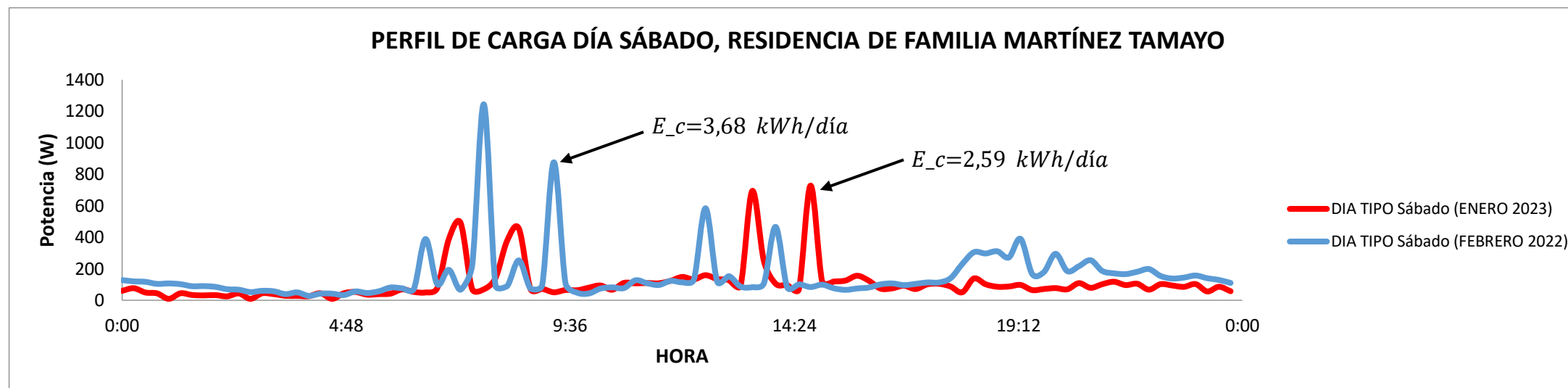
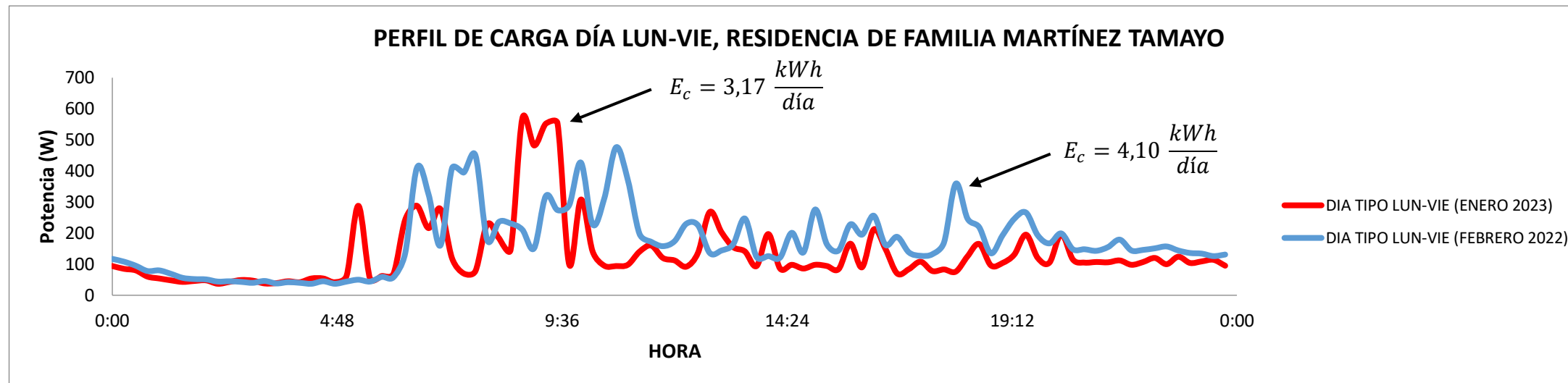


Figura 57. Mejora del perfil de carga residencial, usuario # 247396

5.3.3 Algoritmo de cálculo

Para poder cumplir con el tercer objetivo: “Implementar un algoritmo de cálculo considerando las recomendaciones de la norma ISO 50001-2018”, las actividades ejecutadas fueron las siguientes:

- Revisión de la guía de implantación de sistemas de gestión de la energía – ISO 50001: 2018.
- Ordenar individualmente cada hoja de cálculo, matriz, tabla, gráfico, etc., generado durante la ejecución del primer y segundo objetivo.
- Elaborar un dashboard en el ambiente de Excel vinculando los documentos de respaldo, de manera que todos se encuentren entrelazados por medio de tablas dinámicas y segmentación de datos, y cualquier cambio realizado se vea reflejado en la obtención de resultados directos y fiables.
- Validar el dashboard y metodología implementada.
- Revisar los resultados obtenidos y hacer los cambios necesarios de ser el caso.

En la **Figura 58** se ha propuesto un diagrama de flujo del presente objetivo.

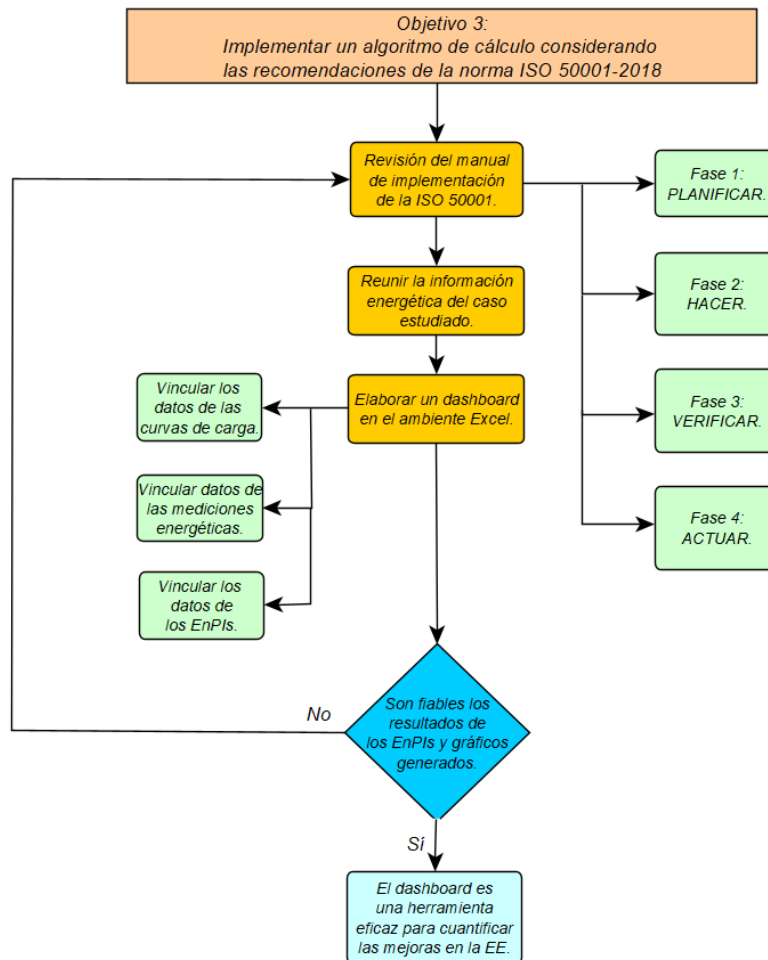


Figura 58. Metodología para el tercer objetivo

6 Resultados

6.1 Caracterización de los usuarios residenciales considerados

En la **Figura 59** se tienen las curvas de demanda según el día tipo para el usuario # 206359 perteneciente a la familia Leiva Lalangui. Dicha caracterización se realizó en base a mediciones energéticas del mes de abril.

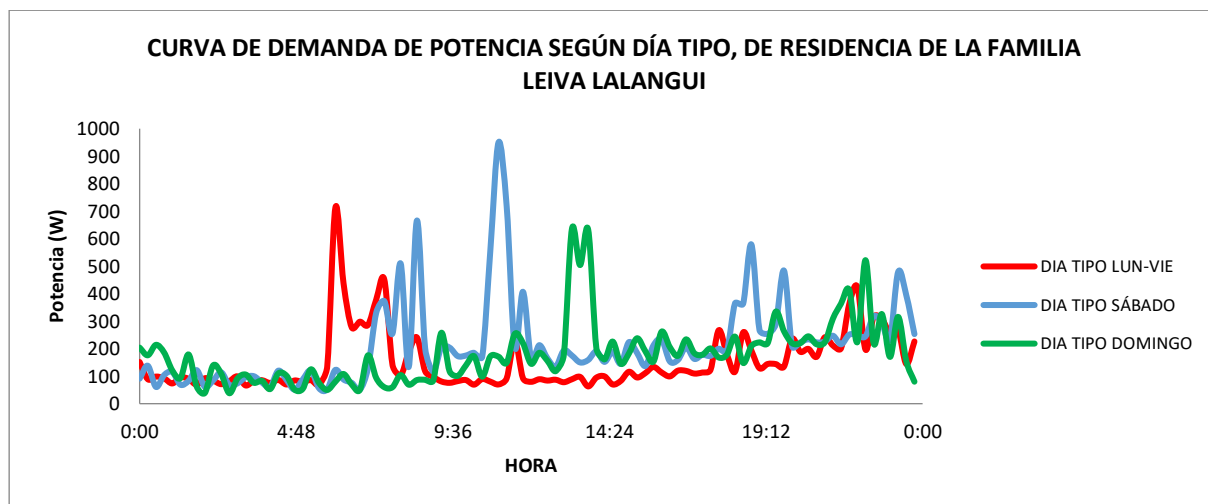


Figura 59. Caracterización de la demanda de potencia del usuario # 206359

De las mediciones realizadas se tiene un máximo de demanda de 4 066 W el día sábado 30 de abril a las 11h00 y un mínimo de 19,6 W miércoles 6 de abril a las 10h45.

Para el usuario residencial # 244655 referido a la familia Riofrío Rivas se presenta en la **Figura 60** la correspondiente caracterización de la curva de demanda. Los resultados expuestos se basan en mediciones ejecutadas durante el mes de junio.

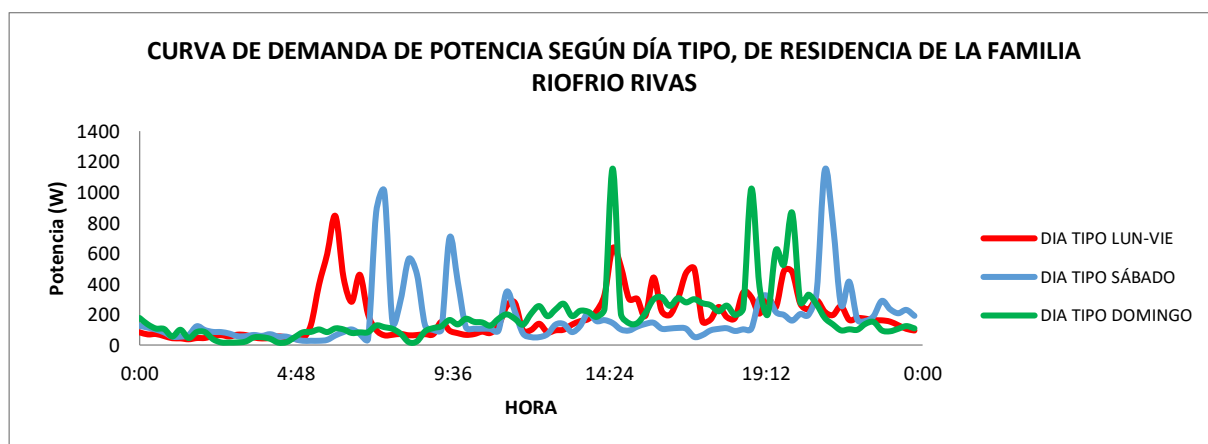


Figura 60. Caracterización de la demanda de potencia del usuario # 244655

En este caso se monitorizó que el máximo de demanda fue de 3 982 W el sábado 11 de junio a las 21h00 y el mínimo fue de 11,7 W el lunes 6 de junio a las 04h30.

El **Anexo 15** contiene las curvas de demanda promediadas entre los usuarios seleccionados para cada día tipo.

Con el fin de evidenciar la actividad energética de la refrigeradora en cada vivienda durante las horas de menor consumo (00h00 a 06h00) se han graficado los perfiles de carga presentes en el **Anexo 17**.

Para el caso de los usuarios # 206359 y # 244655 se ha caracterizado en la **Figura 61** y **62**, respectivamente, el consumo eléctrico semanal en base a mediciones con los tomacorrientes inteligentes y cálculos manuales sobre la ducha eléctrica e iluminación debido a que por cuestiones logísticas resultó difícil colocar el monitor de energía dentro de los tableros de distribución (TDS) dado el poco espacio disponible en estos y a otros factores (presencia de mascotas, posibles daños a paredes). Se verifica que para el primero resulta en un consumo de **33,74 kWh/semana**, o **145,1 kWh/mes**; en el segundo caso se tiene un consumo de **35,99 kWh/semana** y **154,76 kWh/mes**.

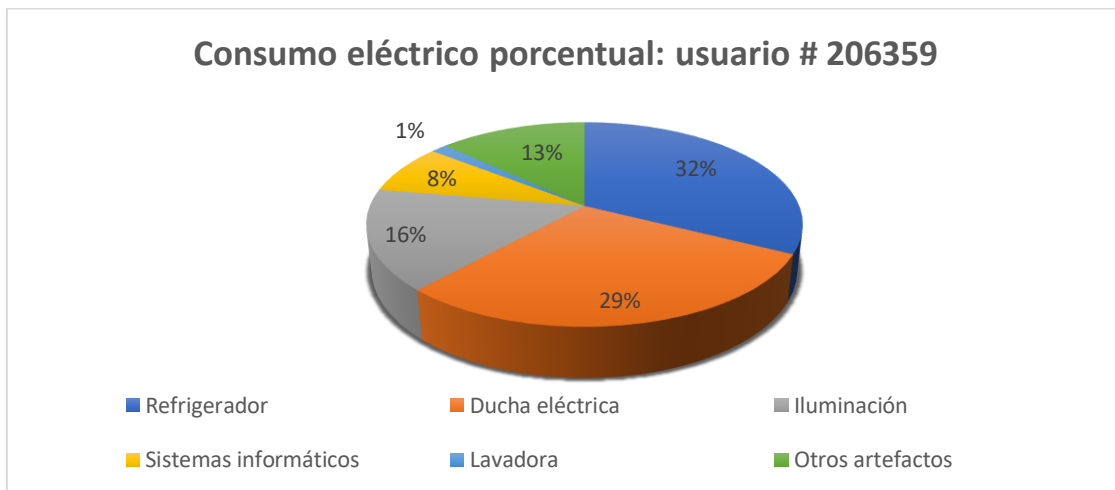


Figura 61. Distribución del consumo eléctrico medido y proyectado: usuario # 206359

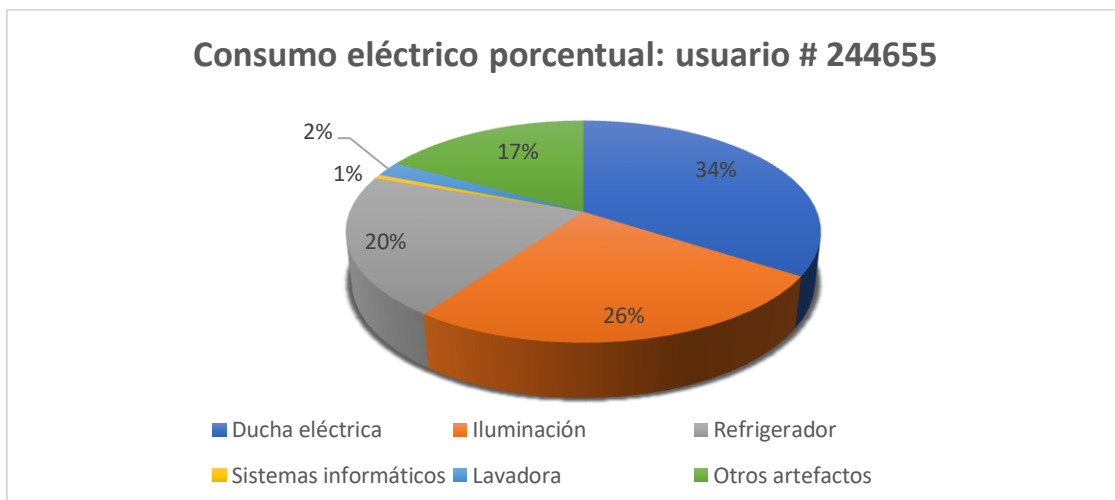


Figura 62. Distribución del consumo eléctrico medido y proyectado: usuario # 244655

Así mismo, se han consultado los consumos mensuales durante el primer semestre del año 2022 para establecer un histórico de consumo, mismos que se aprecian en la **Tabla 36**. Se

logra verificar que el promedio de consumo eléctrico para el primer usuario es de **138,17 kWh/mes** y **32,13 kWh/semana**; en el segundo usuario se tiene un promedio de **154,67 kWh/mes** y **35,97 kWh/semana**.

Tabla 36. Histórico de consumo eléctrico: usuarios # 206359 y # 244655

Año	Mes	Consumo (kWh)	
		# 206359	# 244655
2022	Enero	167	173
	Febrero	162	168
	Marzo	130	150
	Abril	147	158
	Mayo	112	131
	Junio	111	148
PROMEDIO		138,17	154,67
TOTAL, de kWh/semana		32,13	35,97

Fuente: (EERSSA, 2022)

A partir de la consulta del tiempo en horas o minutos que se utiliza cada aparato y luminaria existente, y con la **Ecuación 11**, se calculó la energía consumida en un mes y en una semana para los usuarios # 206359 y # 244655.

La **Tabla 37** evidencia que al final de un mes se tendría un consumo de **145,09 kWh**, con un aproximado de **33,74 kWh** semanal para el usuario # 206359. Para el caso del usuario # 244655 se tiene un total de **158,51 kWh** como promedio mensual y **36,86 kWh** semanal.

Tabla 37. Consumo eléctrico mediante el cálculo manual: usuario # 206359 y # 244655

Sistema/Artefacto	Consumo (kWh)	
	# 206359	# 244655
Sistema de iluminación	23,09	39,91
Aparatos eléctricos	122,00	118,6
TOTAL (kWh/mes)	145,09	158,51
TOTAL (kWh/semana)	33,74	36,86

Se elaboraron libros en Excel para los tres casos estudiados donde se desglosa la caracterización eléctrica mediante mediciones, datos de la EERSSA y proceso manual, mismos que están en el **Anexo 9**.

6.2 Planificación energética para usuarios residenciales

Se tienen los siguientes resultados respecto a la identificación de los usos significativos de la energía, priorización de las oportunidades de mejora e indicadores energéticos. Cabe señalar que el dato de consumo eléctrico semanal para los sistemas de iluminación y ducha eléctrica han sido calculados a partir del dato de potencia y horas de funcionamiento.

En la **Tabla 38** se ha tabulado la potencia por sistema/circuito y la energía semanal consumida en cada uno para el usuario # 206359. El diagrama de Pareto permite identificar las oportunidades de mejora, exponiéndose en la **Figura 63**. Para este mismo usuario se han identificado consumos fantasmas o stand by en periodos de nula actividad, los mismos que corresponden a la PC de escritorio y TV, con 2,1 W y 0,2 W, respectivamente. En el caso del router no se ha medido el valor de potencia, por lo que se ha decidido toma el valor de 4,64 W, ya que según Lorenzo (2022) el consumo de éste tipo de aparato oscila entre 4,50 W y 4,75 W.

Tabla 38. Consumo eléctrico semanal de los sistemas/circuitos para el usuario # 206359

Sistema/circuito	Potencia total (W)	Consumo semanal (kWh)	Porcentaje que aporta (%)
Refrigerador	180	10,94	32
Ducha eléctrica	4 500	9,90	29
Iluminación	337	5,37	16
TV/Equipo de sonido	361	2,74	8
PC de escritorio	90	1,49	4
Plancha	1 100	1,28	4
Laptop	65	1,17	3
Lavadora	200	0,49	1
Otros artefactos	2 600	0,36	1
TOTAL	9 433	33,74	100

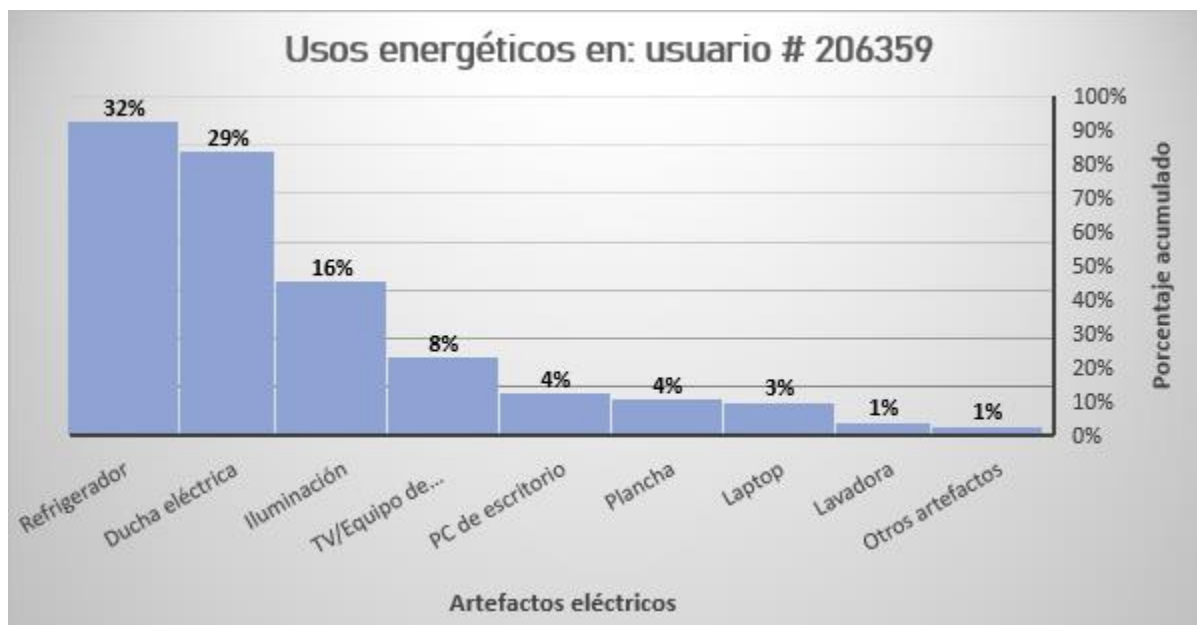


Figura 63. Diagrama de Pareto: consumo de usuario # 206359

Al constatar que la ducha eléctrica, refrigerador, iluminación y TV/Equipo representan cerca del 80 % del consumo semanal, se califican las oportunidades de mejora, (ver **Tabla 39**).

Tabla 39. Determinación de las oportunidades de mejora en el usuario # 206359

Sistema	Descripción de oportunidad	Calificación de oportunidad					Calificación total
		Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	
Sistema de iluminación	Reemplazo de lámparas fluorescentes por lámparas LED	4	3	4	4	3	18
Ducha eléctrica	Reemplazo de la ducha por otra más eficiente.	4	3	4	4	2	17
Refrigerador	Reemplazo de la refrigeradora por otra nueva y eficiente.	4	1	4	4	1	14
Otros artefactos (TV/Equipo)	Reemplazo de la TV y/o equipo por otros de menos consumo.	3	1	4	4	1	13

Para el usuario # 244655 se presenta en la **Tabla 40** el consumo eléctrico semanal y potencia en casa sistema. El diagrama de Pareto para identificar las oportunidades de mejora se muestra en la **Figura 64**. Adicionalmente, se han identificado cargas que generan consumos stand by como son: la TV de un dormitorio y la TV de la sala, con 0,1 W y 0,2 W, respectivamente. Para el router se ha tomado el valor de 4,64 W que sugiere Lorenzo (2022).

Tabla 40. Consumo eléctrico semanal de los sistemas/circuitos para el usuario # 244655

Sistema/circuito	Potencia total (W)	Consumo semanal (kWh)	Porcentaje que aporta (%)
Ducha eléctrica	8 800	12,28	34
Iluminación	373	9,28	26
Refrigerador	100	7,35	20
TV sala	150	3,02	8
TV hija mayor	60	2,16	6
Lavadora	600	0,78	2
TV padres	70	0,72	2
Laptop	65	0,23	1
Equipo de sonido	10	0,12	0
Otros artefactos	2 200	0,04	0
TOTAL	12 428	35,98	100

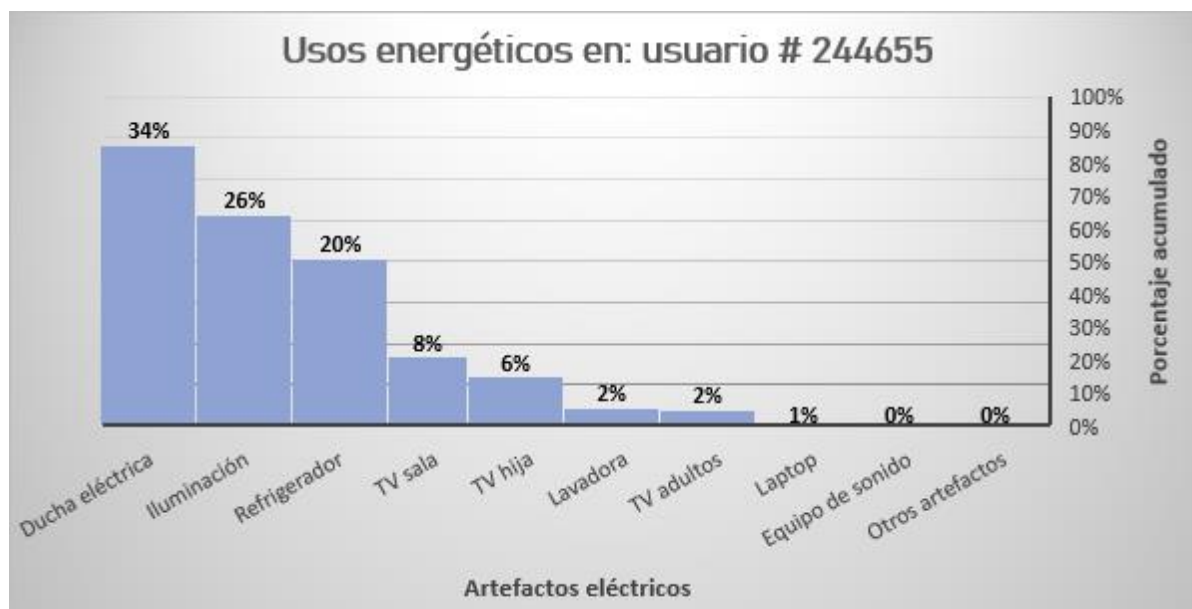


Figura 64. Diagrama de Pareto: consumo de usuario # 244655

Se deja claro que la ducha eléctrica, iluminación y refrigeradora representan el 80 % del consumo semanal, y por tal motivo se resaltan las siguientes oportunidades de mejora con su ponderación respectiva, (ver **Tabla 41**).

Tabla 41. Determinación de las oportunidades de mejora en el usuario # 244655

Sistema	Descripción de oportunidad	Calificación de oportunidad					Calificación total
		Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	
Sistema de iluminación	Reemplazo de lámparas LED por otras más eficientes.	4	3	4	4	3	18
Ducha eléctrica	Reemplazo de la ducha por otra más eficiente.	4	3	4	4	2	17
Refrigerador	Reemplazo de la refrigeradora por otra nueva y eficiente.	4	1	4	4	1	14
Otros artefactos (TV)	Reemplazo de la TV por otra de menos consumo.	3	1	4	4	1	13

En lo que se refiere al usuario residencial # 206359 se tiene como datos relevantes que el área de construcción resulta en un valor de 92,57 m², el número de ocupantes es de 4, con un consumo promedio semanal de 33,74 kWh.

El usuario # 244655 tiene un área de construcción de 86,06 m², los habitantes son 4, con un consumo promedio semanal de 35,99 kWh.

Con lo antes mencionado es importante establecer una comparación entre los indicadores energéticos de cada instalación. En la **Tabla 42**, **Tabla 43**, **Tabla 44** y **Tabla 45** se presentan los indicadores de consumo, emisiones de CO₂ por sistema, consumo energético global de cada usuario y emisiones globales de CO₂, considerando las variables de número de ocupantes y superficie.

Tabla 42. Indicadores de consumo energético por sistema en cada usuario residencial

Indicador	Sistema	Unidad	Valor		
			# 247396	# 206359	# 244655
Índice de consumo eléctrico por sistema	Refrigeración	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,09	2,74	1,84
	Calentamiento de agua	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,56	2,48	3,07
	Iluminación	$\frac{kWh}{semana - persona}$	0,88	1,34	2,32
		$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,03	0,06	0,11
	Electrodomésticos	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,33	1,88	1,77

Tabla 43. Indicadores de kg de CO₂ emitidos por sistema en cada usuario residencial

Indicador	Sistema	Unidad	Valor		
			# 247396	# 206359	# 244655
Índice de emisiones de CO₂ por sistema	Refrigeración	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,21	0,52	0,35
	Calentamiento de agua	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,30	0,47	0,59
	Iluminación	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,17	0,26	0,44
		$\frac{kg CO_2}{semana - m^2}$	0,01	0,01	0,02
	Electrodomésticos	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,26	0,36	0,34

Tabla 44. Indicadores globales de consumo por sistema en cada usuario residencial

Sistema	Unidad	Valor		
		# 247396	# 206359	# 244655
Índice de consumo energético global por el área de construcción	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,16	0,36	0,42
Índice de consumo energético global por cada habitante	$\frac{kWh}{semana - persona}$	4,86	8,44	9,00

Tabla 45. Indicadores globales de kg de CO₂ emitidos al ambiente

Sistema	Unidad	Valor		
		# 247396	# 206359	# 244655
Índice de emisiones de CO ₂ globales por área de construcción	$\frac{kg\ CO_2}{semana - m^2}$	0,03	0,07	0,08
Índice de emisiones de CO ₂ globales por cada habitante	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,93	1,62	1,72

En la **Tabla 46** se detalla el registro financiero de los cambios tecnológicos tentativos para el usuario # 206359, mismos que van encaminados a reemplazar 4 lámparas fluorescentes por LED y a utilizar una ducha eléctrica de menor consumo. También hay que señalar que como cambio de hábitos se proyectó el aprovechamiento de la iluminación natural y, por tanto, una reducción del tiempo de uso diario de las lámparas de 40 W de la cocina y comedor, así como en la lámpara de 18 W de la sala, contribuyendo a que el consumo energético por iluminación sea de 3,79 kWh/semana. Por otro lado, se proyectó acciones de mantenimiento sobre la refrigeradora con un ahorro del 14 % teniendo el precedente de la refrigeradora de la primera vivienda. Considerando una reducción del tiempo de baño y cambio tecnológico de la ducha, se determinó un consumo de 6,19 kWh/semana.

Tabla 46. Registro financiero de los recursos tecnológicos para el usuario # 206359

Lugar	Cant.	Descripción	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Patio	1	Lámpara LED OSRAM de 13 W, 1 500 lm, $\eta = 115,38$ lm/W	2,39	2,39
Dorm. 1	1	Lámpara LED OSRAM de 13 W, 1 500 lm, $\eta = 115,38$ lm/W	2,39	2,39
Cuarto. Secado	1	Lámpara LED OSRAM de 13 W, 1 500 lm, $\eta = 115,38$ lm/W	2,39	2,39
Escaleras	1	Lámpara LED OSRAM de 36 W, 3 800 lm, $\eta = 105,56$ lm/W	6,66	6,66
Baño	1	Ducha TERMOPLASTIC (3 800 W)	16,00	16,00
TOTAL				29,83
TOTAL (incluido el 12% de IVA)				33,41

En el **Anexo 10** se tiene un breve estudio del rendimiento lumínico en las lámparas reemplazadas y en las proyectadas empleando la **Ecuación 10**, tanto del usuario # 247396 como del # 206359, así como un análisis entre la ducha eléctrica Lorenzetti y Termoplastic. La ficha técnica de características para lámparas y duchas consideradas se encuentra en el **Anexo 11**.

Con la determinación de los planes de acción y haciendo un cálculo de los mismos se han obtenido los siguientes valores energéticos para cada sistema, (ver **Tabla 47**). Ha sido

conveniente elaborar hojas de cálculo de estimación de las mejoras energéticas para el usuario # 206359 y 244655, (ver **Anexo 12**).

Tabla 47. Mejora del consumo eléctrico, usuario # 206359

Sistema	Consumo referencial	META	Mejora	Observaciones
	<i>kWh/semana</i>			
Calentamiento de agua	9,90	7,92	6,19	Se proyectó un cambio tecnológico y de hábitos.
Refrigeración	10,94	8,75	9,41	Acciones de mantenimiento.
Iluminación	5,37	4,30	3,79	Cambio tecnológico y uso de luz natural.
Otros electrodomésticos	7,53	6,02	7,53	No se consideraron cambios.
Total	33,74	27,00	26,92	

Del dato de consumo mejorado de $26,92 \frac{kWh}{semana}$ se puede determinar que también se corresponde con un consumo de $115,76 \frac{kWh}{mes}$.

Como parte de la etapa de verificación y evaluación de mejoras, se han diseñado los indicadores energéticos para cada sistema y globales, (ver **Tabla 48**), del usuario # 206359. Hay que recordar que la meta se refiere a la reducción en un 20 % del consumo eléctrico.

Tabla 48. Evaluación de indicadores energéticos, usuario # 206359

SISTEMA	UNIDAD	REF.	META	MEJORA	AHORRO
Refrigeración	$\frac{kWh}{semana - persona}$	2,74	2,19	2,35	0,38
Calentamiento de agua	$\frac{kWh}{semana - persona}$	2,48	1,98	1,55	0,93
Iluminación	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,34	1,07	0,95	0,40
	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,06	0,05	0,04	0,02
Electrodomésticos	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,88	1,51	1,88	0,00
Consumo energético global por el área de construcción.	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,36	0,292	0,29	0,074
Consumo energético global por cada habitante	$\frac{kWh}{semana - persona}$	8,44	6,75	6,73	1,71

En la **Tabla 49** se muestran los indicadores relacionados con los kg de CO₂ emitidos al ambiente y las emisiones evitadas derivadas de la mejora de los indicadores energéticos antes expuestos.

Tabla 49. Evaluación de indicadores de kg de CO₂, usuario # 206359

SISTEMA	UNIDAD	REF.	META	MEJORA	EMISIONES EVITADAS
Refrigeración	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,52	0,42	0,45	0,07
Calentamiento de agua	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,47	0,38	0,30	0,18
Iluminación	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,26	0,21	0,18	0,08
	$\frac{kg\ CO_2}{semana - m^2}$	0,01	0,009	0,01	0,003
Electrodomésticos	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	0,36	0,29	0,36	0,00
Emisiones de CO ₂ globales por área de construcción.	$\frac{kg\ CO_2}{semana - m^2}$	0,07	0,06	0,06	0,014
Emisiones de CO ₂ globales por cada habitante	$\frac{kg\ CO_2}{semana - persona}$	1,62	1,29	1,29	0,33

Con el ahorro energético de $1,71 \frac{kWh}{semana-persona}$ se deduce matemáticamente que el mismo se corresponde con un valor de:

$$A_{en} = 29,41 \frac{kWh}{mes}$$

El ahorro económico correspondiente es de:

$$A_{ec} = 2,74 \frac{USD}{mes}$$

De la **Tabla 46** se tiene una inversión económica de 33,41 USD, con lo que el periodo de retorno de la inversión es de:

$$PRI\ simple = 12,2\ meses$$

$$PRI\ simple = 1,02\ años$$

El ahorro ambiental de la **Tabla 49** es de $0,33 \frac{kgCO_2}{semana-persona}$, lo que resulta también en un valor de:

$$A_{em} = 5,68 \frac{kgCO_2}{mes}$$

Para los consumos stand by se ha considerado a la PC de escritorio, TV y router, tratando de analizar los ahorros que supondría su desconexión en un periodo de 6 horas con poca actividad (desde las 00h00 hasta las 06h00). En la **Tabla 50** se tiene el análisis correspondiente.

Tabla 50. Ahorro por cargas en stand by, usuario # 206359

Equipo/aparato	Potencia en stand by (W)	Tiempo de funcionamiento (horas/mes)	Ahorro (kWh/mes)	Ahorro (USD/mes)	Emisiones evitadas (kgCO ₂ /mes)
Router	4,64	180,6	0,84	0,078	0,16
PC	2,1	180,6	0,38	0,035	0,07
TV	0,2	180,6	0,036	0,003	0,007

Con los antecedentes conocidos para este caso, se plantean posibles alternativas de eficiencia energética a emplear de manera gradual como son:

- Reemplazar la refrigeradora de 22 años de antigüedad que consume $10,94 \frac{kWh}{semana}$ por una moderna con etiquetado energético que consumiría menos energía.
- Sustituir la computadora de escritorio que consume $1,49 \frac{kWh}{semana}$ por una laptop que, al no estar todo el tiempo enchufado, consume menos energía.
- Considerar una alimentación bifásica a 240 V.

Para el caso del usuario # 244655 se han desglosado los cambios tecnológicos respectivos, tal cual se muestra en la **Tabla 51**, donde se ha considerado el reemplazo de las dos duchas eléctricas por otras de menor consumo. Como cambio de hábito en la iluminación se ha proyectado el uso de iluminación natural y la reducción del tiempo de funcionamiento de las lámparas de la sala, comedor y cocina, obteniendo un consumo de 0,67; 1,26 y 4,47 kWh/semana, respectivamente. Para el caso de las duchas, además de un cambio tecnológico, también se ha propuesto la idea de limitar el tiempo de uso a 5 horas/mes en una ellas y 2,5 horas/mes en la otra, obteniendo un consumo de 6,63 kWh/semana.

Tabla 51. Registro financiero de los recursos tecnológicos para el usuario # 244655

Lugar	Cant.	Descripción	Precio unitario (USD)	Precio total (USD)
Baño	1	Ducha TERMOPLASTIC (3 800 W)	16	16
Baño social	1	Ducha TERMOPLASTIC (3 800 W)	16	16
TOTAL				32
TOTAL (incluido el 12% de IVA)				35,84

Las duchas a ser reemplazadas son de la marca AQUA-Rame (4 400 W) y funcionan con el mismo principio de las duchas Lorenzetti, es decir, cuentan con un selector para regular la temperatura (caliente, tibia o fría), por lo que es válido el análisis del **Anexo 10** con el objetivo de sustituir estos artefactos por unos de la marca Termoplastic.

Es importante acotar que toda la iluminación de la vivienda es en base a tecnología LED, por lo que no se proyectaron cambios en lámparas. A partir de las medidas de eficiencia energética antes mencionadas, se han obtenido los siguientes valores, (ver **Tabla 52**).

Tabla 52. Mejora del consumo eléctrico, usuario # 244655

Sistema	Consumo referencial	META	Mejora	Observaciones
	<i>kWh/semana</i>			
Calentamiento de agua	12,28	9,82	6,63	Se proyectó un cambio tecnológico y de hábitos.
Refrigeración	7,35	5,88	7,35	No se consideraron cambios.
Iluminación	9,28	7,42	7,68	Cambio de hábitos y uso de luz natural.
Otros electrodomésticos	7,08	5,66	7,08	No se consideraron cambios.
Total	36,00	28,78	28,74	

El nuevo consumo mejorado de $28,74 \frac{kWh}{semana}$ equivale a un valor de $123,58 \frac{kWh}{mes}$.

Para el usuario # 244655 se tiene en la **Tabla 53** y **54**, respectivamente, los indicadores energéticos y de emisiones de CO₂ mejorados, con el ahorro energético y emisiones evitadas derivadas de las medidas de eficiencia energética proyectadas.

Tabla 53. Evaluación de indicadores energéticos, usuario # 244655

SISTEMA	UNIDAD	REF.	META	MEJORA	AHORRO
Refrigeración	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,84	1,47	1,84	0,00
Calentamiento de agua	$\frac{kWh}{semana - persona}$	3,07	2,46	1,66	1,41
Iluminación	$\frac{kWh}{semana - persona}$	2,32	1,86	1,92	0,40
	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,11	0,09	0,09	0,02
Electrodomésticos	$\frac{kWh}{semana - persona}$	1,77	1,42	1,77	0,00
Consumo energético global por el área de construcción.	$\frac{kWh}{semana - m^2}$	0,42	0,34	0,33	0,084
Consumo energético global por cada habitante	$\frac{kWh}{semana - persona}$	9,00	7,20	7,19	1,81

Tabla 54. Evaluación de indicadores de kg de CO₂, usuario # 244655

SISTEMA	UNIDAD	REF.	META	MEJORA	EMISIONES EVITADAS
Refrigeración	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,35	0,28	0,35	0,00
Calentamiento de agua	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,59	0,47	0,32	0,27
Iluminación	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,44	0,36	0,37	0,08
	$\frac{kg CO_2}{semana - m^2}$	0,02	0,017	0,017	0,004
Electrodomésticos	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	0,34	0,27	0,34	0,00
Emisiones de CO ₂ globales por área de construcción.	$\frac{kg CO_2}{semana - m^2}$	0,08	0,064	0,064	0,016
Emisiones de CO ₂ globales por cada habitante	$\frac{kg CO_2}{semana - persona}$	1,72	1,38	1,38	0,35

Al haber calculado un ahorro energético de $1,81 \frac{kWh}{semana - persona}$ se puede considerar que dicho valor es igual a un ahorro de:

$$A_{en} = 31,13 \frac{kWh}{mes}$$

El ahorro económico tiene un valor de:

$$A_{ec} = 2,90 \frac{USD}{mes}$$

De la **Tabla 51** se tiene una inversión económica de 35,84 USD, con lo que el periodo de retorno de la inversión es de:

$$PRI \text{ simple} = 12,36 \text{ meses}$$

$$PRI \text{ simple} = 1,03 \text{ año}$$

El ahorro ambiental de la **Tabla 54** es de $0,35 \frac{kgCO_2}{semana-persona}$, lo que resulta también en un valor de:

$$A_{em} = 6,02 \frac{kgCO_2}{mes}$$

Para los consumos stand by se tiene a la TV de un dormitorio, TV de la sala y router. Se ha tratado de analizar los ahorros derivados de su desconexión en un periodo de 6 horas con poca actividad (desde las 00h00 hasta las 06h00). En la **Tabla 55** se tiene el estudio mencionado.

Tabla 55. Ahorro por cargas en stand by, usuario # 244655

Equipo/aparato	Potencia en stand by (W)	Tiempo de funcionamiento (horas/mes)	Ahorro (kWh/mes)	Ahorro (USD/mes)	Emisiones evitadas (kgCO ₂ /mes)
Router	4,64	180,6	0,84	0,078	0,16
TV dormitorio	0,1	180,6	0,018	0,002	0,003
TV sala	0,2	180,6	0,036	0,003	0,007

A partir del contexto y caracterización energética del presente caso, se proponen algunos cambios que podrían desarrollarse a futuro:

- Disponer de calentamiento solar o calefón a gas para el abastecimiento de agua para la ducha.
- Implementar un sistema basado en la domótica para desactivar las cargas conectadas innecesariamente durante las horas que la vivienda pasa desocupada o cuando los integrantes se encuentran descansando.
- Cambiar la alimentación eléctrica actual por una bifásica a 240 V.

De acuerdo con la metodología propuesta para el objetivo dos del presente proyecto, se ha diseñado un procedimiento con base al ciclo PHVA de la norma ISO 5001:2018, mismo que se ha adaptado a los usuarios o consumidores del tipo residencial. A continuación, se presenta el flujograma que describe la planificación energética ejecutada, (ver **Figura 65**).

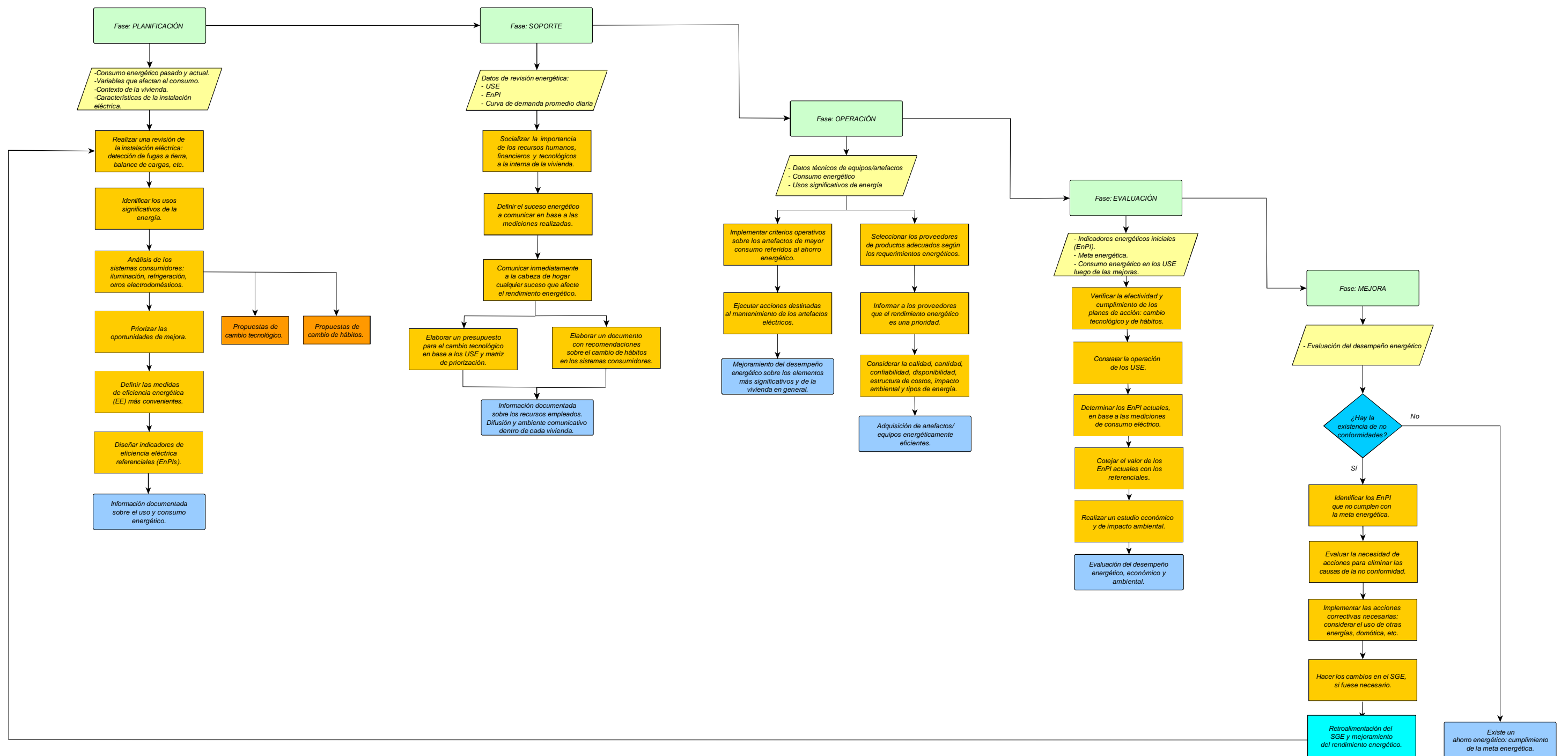


Figura 65. Metodología de la ISO 50001:2018 para usuarios residenciales

6.3 Algoritmo de cálculo: Dashboard

Con la información energética documentada en diferentes libros de Excel, se diseñaron 3 hojas con información organizada en matrices y tablas:

- Datos_1: información sobre las mediciones energéticas realizadas en la etapa de planificación, indicadores energéticos y ambientales referenciales.
- Datos_2: se tiene información derivada de las mejoras energéticas medidas en un caso y en el resto de los casos se han hecho proyecciones de mejora en base a la información técnica documentada. Se determinaron los indicadores energéticos/ambientales mejorados y el estudio económico.
- Datos_3: están tabulados los datos promedio de potencia cada 15 min de cada usuario para generar la curva de carga diaria, para los días tipo lun-vie, sábado y domingo.

Como complemento a estas hojas, se diseñó una hoja de cálculo del consumo de iluminación y otra del consumo del resto de equipos para cada usuario. Adicionalmente, se organizó una matriz de equipos/artefactos comerciales con los datos de potencia y costo, principalmente, para poder llevar a cabo el estudio económico.

Para elaborar el dashboard, se programó una nueva hoja para que se presenten en unos tarjetones el ahorro energético y ambiental, (ver **Figura 66**).



Figura 66. Tarjetones para mostrar el ahorro energético y ambiental

Se recurrió a la segmentación de los datos mediante la habilitación de botones para mostrar la información de acuerdo al usuario que se desea verificar, (ver **Figura 67**).



Figura 67. Filtro para la segmentación de datos según el usuario

Otra forma de segmentación fue mediante los indicadores energéticos y ambientales por persona y m² para cada usuario residencial, (ver **Figura 68**).

Indicador

- Calentamiento de agua
- Electrodomésticos
- Global por m2
- Global por persona**
- Iluminación por m2
- Iluminación por persona
- Refrigeración

Figura 68. Filtro para la segmentación de datos según el indicador

Así mismo, para las curvas de carga diaria, además de la segmentación por usuario residencial, se tiene por día tipo, (ver **Figura 69**).

Día tipo

- Sábado
- Domingo
- Lun-Vie**

Figura 69. Filtro para la segmentación de datos según el día tipo

Con los filtros de segmentación por usuario y día tipo ya establecidos, se tiene la curva de carga según lo que se quiera visualizar, (ver **Figura 70**).



Figura 70. Curva de carga obtenida por segmentación de datos

En la **Figura 71** se expone la caracterización eléctrica de los usuarios residenciales que puede ser filtrada según el tipo de usuario.

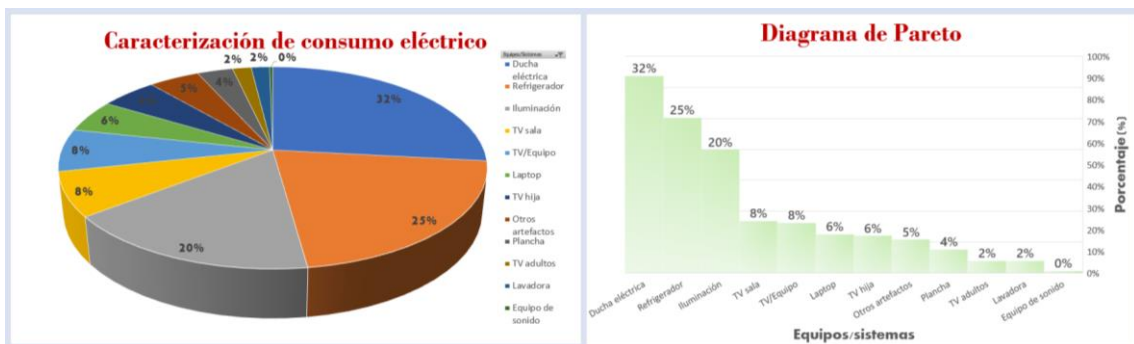


Figura 71. Caracterización eléctrica por segmentación según el usuario

Para mostrar los indicadores energéticos y ambientales referenciales se ha recurrido al gráfico de columnas agrupadas, y dicha información ha sido filtrada según el tipo de usuario, (ver **Figura 72**).

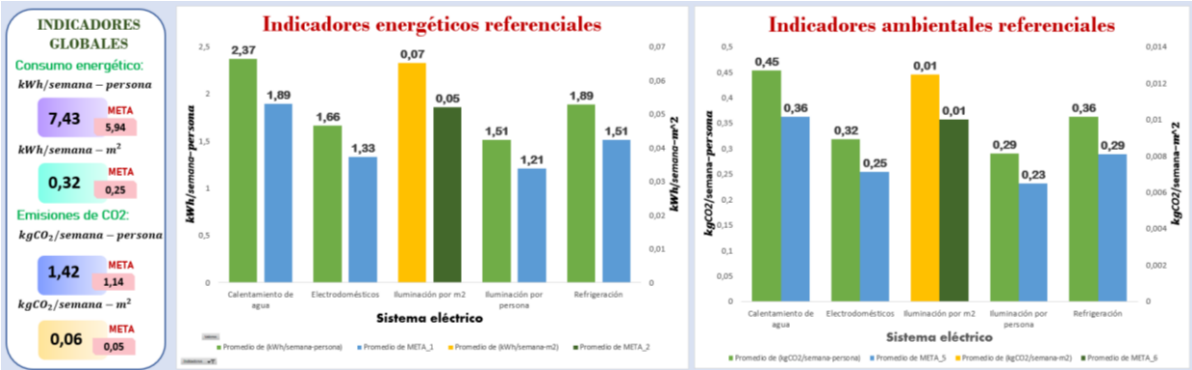


Figura 72. Indicadores energéticos y ambientales segmentados, según el usuario

En la etapa de mejora se ha filtrado la información según el indicador energético y ambiental para poder mostrar en un gráfico de barras agrupadas la comparación existente entre los tres usuarios residenciales, (ver **Figura 73**).

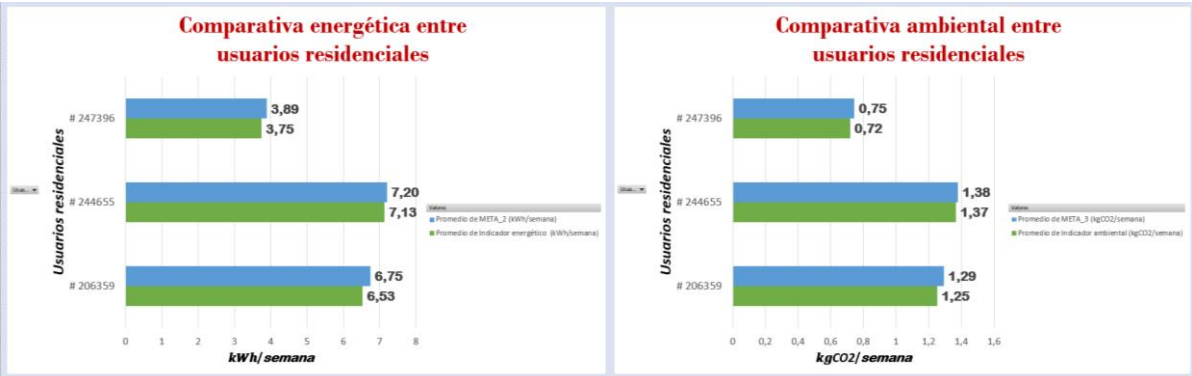


Figura 73. Comparación entre usuarios, según el indicador energético y ambiental

En la **Figura 74** se presentan unos tarjetones con información global acerca del ahorro energético, ambiental y estudio económico, que es filtrada según el tipo de usuario.



Figura 74. Tarjetones para de ahorro energético, ambiental y estudio económico

En el **Anexo 13** se presenta un manual específico del uso del dashboard para que el procedimiento pueda ser replicado en otros casos. Y en el **Anexo 14** está el archivo Excel que contiene el dashboard elaborado.

7 Discusión

El eje sobre el que ha girado la investigación ha sido el proceso de medición mediante los dispositivos inteligentes; de ahí que se fue derivando progresivamente el desarrollo de los objetivos planteados. El análisis de los perfiles de carga se ha limitado a la correlación entre la forma de las curvas obtenidas y el contexto familiar o de hábitos de cada familia. No se ha hecho mención a considerar rasgos como la variabilidad inter estacional (invierno y verano) de la demanda, ya que la misma hubiese implicado ampliar el periodo de medición, agrupar un volumen más grande de datos según la estación que le corresponde y escoger otras viviendas que cuenten con sistemas de climatización y/o refrigeración. Autores como Rhodes et al., (2014) realizaron un estudio sobre 103 hogares en Austin, TX, donde se gestionaron datos de consumo de energía en vatios medidos cada 1 minuto desde noviembre de 2012 hasta octubre de 2013; el artículo proporciona curvas estacionales para cada hogar y para cada una de las cuatro estaciones, siendo evidente el contraste existen en cada una, ya que cobra relevancia el uso y eficiencia del aire acondicionado, en función del clima, la preferencia del propietario y la construcción del hogar.

Con la elaboración de los planos arquitectónicos y posteriores planos eléctricos se pudo comprender el contexto familiar, constructivo y de suministro eléctrico de las viviendas, siendo importante para la determinación de los indicadores energéticos de los sistemas eléctricos existentes (calentamiento de agua, refrigeración doméstica, iluminación, etc.) en un hogar tipo, calculados en base a parámetros como el número de habitantes y los m² de construcción. La investigación de Taco Flores (2018) sobre tres viviendas de la ciudad de Quito con distinto consumo eléctrico y cantidad de artefactos, implementa una metodología que parte desde la zonificación de un hogar común. En dicho estudio se concluye que la zona 2 conformada por la cocina, lavandería y baño presenta mayor incidencia en el consumo eléctrico, debido a que se concentran artefactos/equipos como cocina de inducción, refrigeradora, microondas, lavadora, puntos de iluminación, plancha, etc.

Para el usuario # 247396, que ha sido el único para el que se han seguido haciendo mediciones en busca de mejorar el rendimiento energético dada la facilidad de acceso a la vivienda, se implementaron acciones inmediatas como cambiar la iluminación a la tecnología LED, mantenimiento de la nevera y otros electrodomésticos, cambio de hábitos en el uso de la ducha eléctrica, etc., sin embargo, se obviaron proyecciones que pudiesen hacerse, relacionadas con el cambio tecnológico de ciertos aparatos al considerar que no estaría justificado desde el punto de vista económico, con lo cual se monitorizó el mejoramiento por 8 semanas. En los demás usuarios residenciales se proyectaron escenarios de mejoramiento en el buen uso de la

ducha eléctrica, iluminación y refrigeradora, con cambios tecnológicos donde sea conveniente económicamente.

Con el dato del consumo eléctrico mejorado para cada vivienda estudiada, se ha determinado un valor promedio de $105,60 \frac{kWh}{mes}$ o $1\ 267,20 \frac{kWh}{año}$; es importante mencionar que las residencias consideradas no emplean sistemas de calefacción eléctrica o aire acondicionado. A partir del estudio de Gastiarina et al. (2017) sobre 30 viviendas de la ciudad de San Martín, provincia de Buenos Aires – Argentina, se determinó un consumo eléctrico promedio de $2\ 709 \frac{kWh}{año}$ o $2,7 \frac{MWh}{año}$, que va en concordancia con el valor medio de $3 \frac{MWh}{año}$ que proporciona el Ministerio de Energía y Minería de la Nación; hay que destacar que en dicho estudio cobra relevancia el uso de sistemas como refrigeradora doméstica, iluminación y aire acondicionado en cada hogar.

De acuerdo a los estándares de consumo eléctrico eficiente en viviendas propuesto por María T. Baquero L & Felipe Quesada M (2016) se tiene que el consumo promedio de $105,60 \frac{kWh}{mes}$ estaría dentro de la calificación energética tipo C, para casos en los que se ha implementado planes de mejoramiento básicos (cambio de lámparas y artefactos, mejora de hábitos). Así mismo, a partir del sistema de calificación energético en viviendas (CEV) de Chile se puede catalogar a los tres casos tratados como viviendas tipo C donde no se ha realizado un gasto excesivo de inversión.

Finalmente se ha diseñado un dashboard para la gestión de indicadores energéticos en el entorno de Excel, siendo de suma importancia contar con el equipo de medición adecuado para monitorizar el consumo energético durante todo el ciclo de mejora continua. También se ha enlazado el dashboard con hojas de cálculo para determinar manualmente el consumo eléctrico y ahorros, cuando no se dispone de los medidores inteligentes, aunque dicho análisis pueda derivar en imprecisiones propias de dicho método.

8 Conclusiones

- La caracterización del consumo eléctrico por medio de la generación de las curvas de carga diaria permite comprender la dinámica energética y el contexto familiar de los usuarios residenciales seleccionados, ya que influyen factores como el número de integrantes, edad, nivel de estudio, ocupación, etc., en la construcción del perfil de cada uno.
- Los perfiles de carga según el día tipo de cada usuario evidencian un comportamiento acorde a su contexto familiar, con picos y valles que empiezan desde la mañana (06:00 AM) y se extienden hasta la tarde y noche (10:00 PM aproximadamente), principalmente de lunes a viernes. Los fines de semana las curvas se atenúan en varios momentos dada la inactividad que pudiese existir dentro de los hogares.
- Las mediciones y proyecciones realizadas en la etapa de caracterización eléctrica han permitido constatar que los sistemas de refrigeración, calentamiento de agua e iluminación son los tres principales consumidores de energía en los tres usuarios analizados, siendo el orden de consumo distinto en cada caso debido a las características de los equipos y hábitos de uso.
- El consumo eléctrico en horas de menor actividad (de 00h00 a 06h00) está determinado principalmente por el funcionamiento de la refrigeradora, mostrándose valores elevados de potencia promedio cada 15 min en el perfil de carga diario de los usuarios # 247396 y 206359 en comparación con el usuario # 244655, debido a la característica de intermitencia de los ciclos de encendido y apagado del electrodoméstico en cada caso.
- Para el usuario # 247396 se tiene un ahorro energético, económico y de emisiones de CO₂ de $23,86 \frac{kWh}{mes}$, $2,22 \frac{USD}{mes}$ y $4,52 \frac{kgCO_2}{mes}$, respectivamente. En el usuario # 206359 se presentan ahorros de $29,41 \frac{kWh}{mes}$, $2,74 \frac{USD}{mes}$ y $5,68 \frac{kgCO_2}{mes}$. La vivienda # 244655 tiene ahorros de $31,13 \frac{kWh}{mes}$, $2,90 \frac{USD}{mes}$ y $6,02 \frac{kgCO_2}{mes}$.
- Dentro de la etapa de VERIFICAR, se tiene que para el periodo de 8 semanas de medición en el usuario # 247396 existe un consumo promedio semanal de $18,01 \frac{kWh}{semana}$, siendo menor a la meta de $19,44 \frac{kWh}{semana}$ calculada en la fase de PLANIFICAR.
- En la etapa de caracterización se determinó con las mediciones el total de consumo eléctrico por cada vivienda, resultando un promedio de $134,80 \frac{kWh}{mes}$ para los tres casos tratados; al comparar este valor con el de $105,60 \frac{kWh}{mes}$ que se obtuvo tras el mejoramiento energético, al final se corresponde con un ahorro global del 21,7 %.

- Se tiene una mejora en la forma del perfil de carga de lunes a viernes, sábado y domingo del mes de enero del 2023 en comparación con los obtenidos en el mes de febrero del 2022 para el usuario # 247396. Esto es resultado de las medidas de eficiencia energética en los sistemas de iluminación, ducha eléctrica, refrigeración, desconexión de aparatos innecesarios (teléfono fijo, regulador de voltaje, cargador de laptop), etc.
- Los indicadores o KPI diseñados han permitido medir cuantitativamente el desempeño energético de las viviendas como parte del proceso de gestión destinado a evaluar el aprovechamiento de la energía eléctrica para atender las necesidades de alcanzar una mejora continua desde el punto de vista energético, económico y ambiental.
- El estudio económico a través del cálculo del PRI simple ha mostrado resultados que justifican las medidas de eficiencia energética relacionadas con la implementación y proyecciones de cambio tecnológico, ya que los mayores tiempos que se requieren para recuperar la inversión son de 1 año y el menor es de medio año aproximadamente. Dichas medidas han tenido que ir acompañadas, además, de un cambio de hábitos sobre los sistemas eléctricos para poder cumplir con las metas energéticas propuestas.

9 Recomendaciones

- Para futuras investigaciones sería interesante replicar la metodología en grupos de viviendas con un contexto familiar diferente a los estudiados, así como en el tipo y tamaño de la construcción, distinta geografía y condiciones climáticas, más variedad de equipos, etc., para lo cual se debería de hacer ciertos cambios en la metodología, sobre todo en los indicadores energéticos a considerar.
- En cada equipo registrar el consumo eléctrico por varias semanas y no solo de una para establecer un promedio semanal que permita tener un dato más confiable de la tendencia de energía requerida en cada sistema.
- Analizar la factibilidad y disponibilidad de implementar recursos renovables como el fotovoltaico a partir de la caracterización del consumo eléctrico de las viviendas analizadas, siempre y cuando sea conveniente y genere beneficios desde el punto de vista energético, económico y ambiental.
- Para el procesamiento de los datos obtenidos con los dispositivos de medición Emporia, es importante tomar en cuenta que desde el momento en que se importa dicha información desde la App, se puede tener acceso a los datos de potencia cada 15 min y energía consumida por día hasta 70 días atrás ya que los mismos van desapareciendo de la nube.
- Es necesario socializar con los usuarios residenciales los beneficios de llevar a cabo un proceso de evaluación de su consumo eléctrico, así como de los cambios tecnológicos y de hábitos más convenientes a corto, mediano y largo plazo en busca del mejoramiento de su eficiencia energética.
- Para una correcta implementación del SGE hay que actuar progresivamente en la resolución de las no conformidades, empezando con mejoras simples y de ahí ir aplicando acciones que pudiesen involucrar una inversión económica importante.
- Capacitar a los integrantes de la vivienda que se vaya a intervenir en torno a la metodología desarrollada para generar los mayores beneficios durante su ejecución.
- Seleccionar los indicadores energéticos adecuados para cada sistema conjuntamente con la variable que los afecta (m^2 de construcción, metros lineales, número de ocupantes, etc.). Además, deben actualizarse cuando se ha introducido un uso de energía relevante.
- Considerar el uso de la aplicación web del monitor de energía EMPORIA para la visualización en tiempo real de la monitorización del consumo eléctrico.

10 Bibliografía

- Abad, Lady, & Aguaiza, D. (2019). *Análisis de escenarios de eficiencia energética en el sector residencial del cantón Cuenca, utilizando el modelo LEAP* [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17366/1/UPS-CT008291.pdf>
- AEI. (2015). *Indicadores de Eficiencia Energética: Bases Esenciales para el Establecimiento de Políticas*. 182.
- Álvarez, M., & Ruilova, J. (2019). *Plan de internacionalización de las duchas eléctricas de Acrilo Butadieno Estireno de la marca cuencana TERMO PLASTIC al mercado de PIURA-PERÚ* [Universidad del Azuay]. https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/8800/1/14450_esp.pdf
- ARCERNNR. (2021a). *Estadística anual y multianual del sector eléctrico ecuatoriano* (p. 316). <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
- ARCERNNR. (2021b). *Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica* (p. 35). https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/06/Anexo_1_pliego_tarifario_spee_2021.pdf
- Asamblea Nacional. (2019). *Ley orgánica de eficiencia energética*. <https://www.recursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/Ley-Eficiencia-Energe%CC%81tica.pdf>
- Banco Central del Ecuador. (2015, marzo 27). *En 2014 la economía ecuatoriana creció en 3.8%, es decir 3.5 veces más que el crecimiento promedio de américa latina que alcanzó 1.1%*. <https://www.bce.fin.ec/index.php/boletines-de-prensa-archivo/item/782-en-2014-la-econom%3%ADa-ecuatoriana-creci%3%B3-en-38-es-decir-35-veces-m%3%A1s-que-el-crecimiento-promedio-de-am%3%A9rica-latina-que-alcanz%3%B3-11>
- Banco Mundial. (2020). *PIB (US\$ a precios constantes de 2010)-Ecuador*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.MKTP.KD?end=2019&locations=EC&start=2009&view=chart>

- Castrillejo, A., & Massa, F. (2019). *Clustering de Datos Funcionales Aplicación a Datos de Consumo Eléctrico*. 1.
- Catatumbo. (2020). Tableros Nq Square-D nq41811c14 Material Eléctrico Catatumbo. *Material eléctrico Catatumbo*. <https://catatumbo.mx/productos/tableros-nq/tableros-nq-square-d-nq41811c14-material-electrico-catatumbo/>
- CENACE. (2021). *Factor de emisión de CO2 del sistema nacional interconectado de Ecuador*. https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/11/emision_de_co2_del_sistema_nacional_interconectado_de_ecuador_informe_2020.pdf
- Cengel, Y., & Boles, M. (2012). *Termodinámica*. McGraw-Hill.
- CENTROSUR. (2019). *I-DICO-91.1 Instructivo para el trámite de aprobación de diseños de instalaciones eléctricas interiores para demandas inferiores a 12 kW y cargas instaladas menores a 20 kVA*. <https://www.centrosur.gob.ec/wp-content/uploads/2019/11/I-DICO-91.1-INSTRUCTIVO-PARA-EL-TR%C3%81MITE-DE-APROBACI%C3%93N-DE-DISE%C3%91OS-DE-INSTALACIONES-EL%C3%89CTRICAS-INTERIORES-PARA-DEMANDAS-INFERIORES-A-12-kW-Y-CARGAS-INSTALADAS-MENORES-A-20-kVA..pdf>
- CLICDATA. (2020). *Dashboards de ventas*. <https://www.clicdata.com/es/ejemplos/ventas/>
- CONELEC. (2013). *Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental*. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/Vol4-Aspectos-de-sustentabilidad-y-sostenibilidad-social-y-ambiental.pdf>
- Diez, R. (2022, junio 10). *Consumo fantasma: Claves para entender el consumo stand by*. Watiofy. <https://watiofy.com/info/blog/consumo-fantasma-claves-para-entender-que-es-el-consumo-stand-by/>

- EERSSA. (2021, marzo 19). *EERSSA capacita sobre eficiencia energética | EERSSA – Empresa Eléctrica Regional del Sur S. A.* <https://www.eerssa.gob.ec/eerssa-capacita-sobre-eficiencia-energetica/>
- EERSSA. (2022). *Consulta de factura electrónica—EERSSA.* <http://www.eerssa.gob.ec/links-intranet/consultar-facturas-electronicas/>
- Electricaplicada. (2018). *Comparación de bombillas: LED vs CFL vs Incandescente.* <https://www.electricaplicada.com/comparacion-led-fluorescente-incandescente/#cfl-bombillas-fluorescentes-compactas>
- Electrocables. (2018). *Catálogo de productos.* <https://www.electrocable.com/uploads/catficha/cata-logo-electrocables-2018.pdf>
- Electrolux Ecuador. (2021). *Refrigeradora No Frost Top Mount 341Litros 12Ft—Erts12K3Hus—Electrolux Ecuador.* <https://www.electrolux.com.ec/refrigerador-no-frost-top-mount-electrolux--341litros-silver/p>
- EMPORIA. (2021a). *El monitor de energía Gen 2 Vue.* <https://www.emporiaenergy.com/how-the-vue-energy-monitor-works>
- EMPORIA. (2021b). *Enchufes Inteligentes Emporia.* <https://www.emporiaenergy.com/emporia-smart-plug>
- Endesa. (2019, marzo 6). *¿Un ordenador portátil consume la mitad que uno de sobremesa?* Endesa. <https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/consejos-de-ahorro/consumo-ordenador-portatil-sobremesa>
- Gastiarena, M., Fazzini, A., Prieto, R., & Gil, S. (2017). *Uso de la energía en el sector residencial.* https://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Gas/GasVsElec_petrotecnia_Abri12017.pdf
- Geoportal EERSSA. (2022). *Geoportal técnico EERSSA.* <https://sig.eerssa.gob.ec/geoportalEERSSA/>

- Gobierno de Chile. (2010). *Guía residencial de eficiencia energética*.
<http://old.acee.cl/system/files/residencial-ee.pdf>
- Granda, L. (2019). *Propuesta metodológica para implementación de un sistema de gestión de energía (SGE) en edificaciones, apoyado en la norma UNE-EN ISO 50001:2018* [Tesis, Universidad Técnica Particular De Loja].
<http://dspace.utpl.edu.ec/handle/20.500.11962/24491>
- Grupo LAAR. (2022). *2021 Dell Inspiron 15 3000 3501 15.6 portátil empresarial 11ª g.* YaEsta.com. <https://www.yaesta.com/b094gbykp2-2021-dell-inspiron-15-3000-3501-156-portatil-empresarial-11-generacin-intel-core-i7-1165g7-de-4-nucleos-16g-ram-512g-ssd-156-pantalla-fhd-grficos-intel-uhd-wifi-cmara-web-windows-10-pro/p>
- Guillén, V., Quesada, F., López, M., Orellana, D., & Serrano, A. (2014). *Eficiencia energética en edificaciones residenciales*. 10. <https://doi.org/10.18537/est.v004.n007.07>
- INEC. (2010a). *Promedio de Personas por Hogar a Nivel Nacional*.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/plugins/download-monitor/download.php?id=337&force=1>
- INEC. (2010b). *Resultados del CENSO 2010 de población y vivienda en el Ecuador*.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Manu-lateral/Resultados-provinciales/loja.pdf>
- INEC. (2020). *Proyecciones Poblacionales*. Instituto Nacional de Estadística y Censos.
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>
- INEN. (2014). *"Eficiencia energética en televisiones. Reporte de consumo de energía, método de ensayo y etiquetado"*. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/reglamentos/RTE-117.pdf>
- Ingemecánica. (2018). *Instalación Eléctrica de una Vivienda*.
<https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn123.html>
- ISOTools. (2019). *Sistemas de Gestión de Medio Ambiente y Energía*.
<https://www.isotools.org/normas/medio-ambiente/iso-50001/>

- Lorenzo, J. (2022, octubre 20). *Consumo de un router siempre encendido: Descubre el consumo anual*. RedesZone. <https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/consumo-energia-router-siempre-encendido/>
- Lozada, J. (2014). Investigación Aplicada: Definición, Propiedad Intelectual e Industria. *CienciAmérica*, 3(1), Art. 1.
- María T. Baquero L & Felipe Quesada M. (2016). Eficiencia energética en el sector residencial de la Ciudad de Cuenca, Ecuador. *Maskana*, 7(2), Art. 2. <https://doi.org/10.18537/mskn.07.02.11>
- MatemáticasDiscreta. (2013, marzo 5). *Algoritmos tipos y ejemplos*. <http://teoriasdelosalgoritmo.blogspot.com/2013/03/algoritmos-tipos-y-ejemplos-grupo-1.html>
- MIDUVI. (2018a). *NEC: Eficiencia energética en edificaciones residenciales (EE)*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-HS-EE-Final.pdf>
- MIDUVI. (2018b). *Norma Ecuatoriana de la Construcción: Instalaciones Eléctricas*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/NEC-SB-IE-Final.pdf>
- Ministerio de electricidad y energía renovable. (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035*. https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaqueta-final-digital.pdf
- Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables. (2020). *Balance energético nacional 2019*. <https://www.rekursyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Balance-Energetico-Nacional-2019-1.pdf>

- Ministerio de Energía y Recursos & Naturales No Renovables. (2021). *Balance energético nacional 2020*. <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Balance-Energetico-Nacional-2020-Web.pdf>
- MUNICIPIO DE LOJA. (2006). *Proyecto habitacional «Ciudad Victoria»*. <http://www.congope.gob.ec/wp-content/uploads/2017/04/04PS06-1101.pdf>
- NQA. (2018). *ISO 50001:2018 Guía de implantación de sistemas de gestión de la energía*. <https://www.nqa.com/medialibraries/NQA/NQA-Media-Library/PDFs/Spanish%20QRFs%20and%20PDFs/NQA-ISO-50001-Guia-de-implantacion.pdf>
- Ochoa, C. (2015, marzo 29). *Muestreo no probabilístico: Muestreo por conveniencia*. <https://www.netquest.com/blog/es/blog/es/muestreo-por-conveniencia>
- Osorio, A. (2019). *¿Cómo funciona un calentador de agua solar? - Calentadores Premium*. https://www.calentadorespremium.com/blog/18_c%C3%B3mo-funciona-un-calentador-de-agua-solar
- Prias, O., Campos, J., Rojas, D., & Salas, A. (2019). *Implementación de un sistema de gestión de la energía guía con base en la norma ISO 50001* (p. 136). https://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/EEIColombia/Guia_estructura_ISO50001.pdf
- PROMART. (2021). *Interruptor Termomagnético Easy 9 MCB 2x32A*. <https://www.promart.pe/interruptor-termomagnetico-easy-9-mcb-2x32a/p>
- Ramírez, S. (2012). *Redes de Distribución de Energía*. Universidad Nacional de Colombia. <http://blog.espol.edu.ec/econde/files/2012/08/libro-redes-de-distribucion.pdf>
- Rhodes, J. D., Cole, W. J., Upshaw, C. R., Edgar, T. F., & Webber, M. E. (2014). Clustering analysis of residential electricity demand profiles. *Applied Energy*, 135, 461-471. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.08.111>

- Ríos, A., Guamán, J., & Vargas, C. (2015). *Análisis de la Implementación de una Estrategia de Reducción del Consumo Energético en el Sector Residencial del Ecuador: Evaluación del Impacto en la Matriz Energética*. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v15.n1.2018.328>
- Rodríguez, A. (2017, abril 23). *¿Cuántas horas duermen los ecuatorianos?* El Telégrafo. <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/septimo/1/cuantas-horas-duermen-los-ecuatorianos>
- Sarachu, E. (2021, mayo 9). *¿Qué es la domótica? ¿Cómo funciona?* <https://eficiencia.com/domotica-que-es-y-como-funciona/>
- Sevilla, A. (2012, marzo 23). *Producto interior bruto (PIB)*. Economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/producto-interior-bruto-pib.html>
- Taboada, J. (1983). *Manual de luminotecnia* (Cuarta). Dossat.
- Taco Flores, J. C. (2018). *Modelo de gestión energética para la determinación de indicadores de eficiencia eléctrica en el sector residencial*. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/16392>
- Ulloa, E. (2015). *“Eficiencia del consumo eléctrico en el sector residencial urbano de Cuenca”* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/22992>
- Vallejo, C. (2021, diciembre 27). *Importancia de la categorización del consumo eléctrico del sector residencial en Ecuador*. Petroenergía. <https://www.petroenergia.info/post/importancia-de-la-categorización-del-consumo-eléctrico-del-sector-residencial-en-ecuador>
- Vera, A. (2015). *Análisis eléctrico de las anomalías en los dispositivos...2015*. 82.

11 Anexos

Anexo 1. Modelo de hoja de cálculo para determinar el consumo eléctrico

Anexo 2. Solicitud de información georreferencial a la EERSSA

Anexo 3. Planos arquitectónicos de las viviendas

Anexo 4. Planos eléctricos de las viviendas

Anexo 5. Entrevista estructurada

Anexo 6. Características técnicas de los equipos

Anexo 7. Levantamiento/ubicación de los equipos

Anexo 8. Recomendaciones para la práctica de hábitos de EE

Anexo 9. Caracterización eléctrica de los usuarios seleccionados

Anexo 10. Estudio de lámparas y ducha eléctrica reemplazada

Anexo 11. Ficha técnica de artefactos eléctricos reemplazados

Anexo 12. Estimación de mejoras energéticas en los usuarios seleccionados

Anexo 13. Manual de uso del dashboard

Anexo 14. Dashboard

Los anexos antes mencionados se encuentran en el siguiente enlace.

Enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1FDmA9hAYrfsLaTpnSEC5w0yHmxmVplUG?usp=s>
[hare link](#)

Anexo 15. Curvas de demanda para los casos estudiados

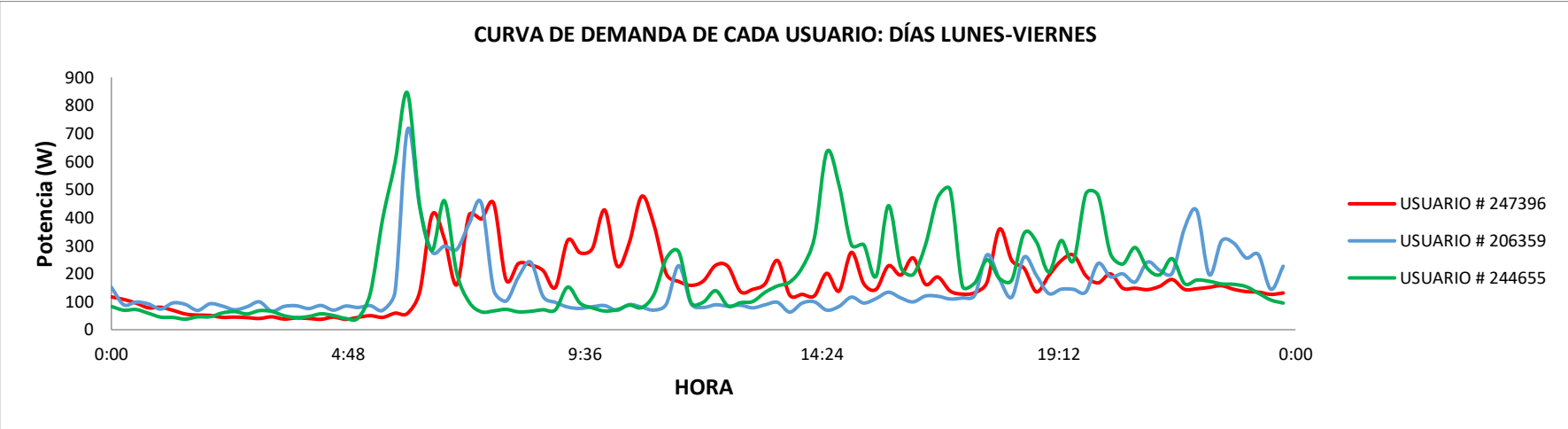


Figura 75. Curva de demanda de cada usuario: lunes-viernes

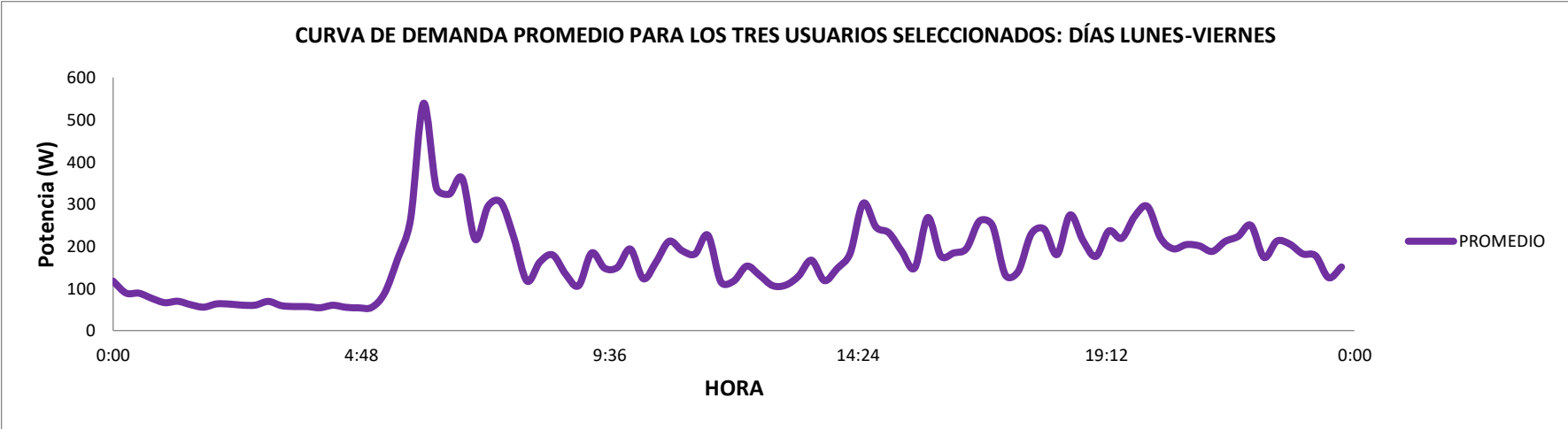


Figura 76. Curva de demanda promedio: lunes-viernes

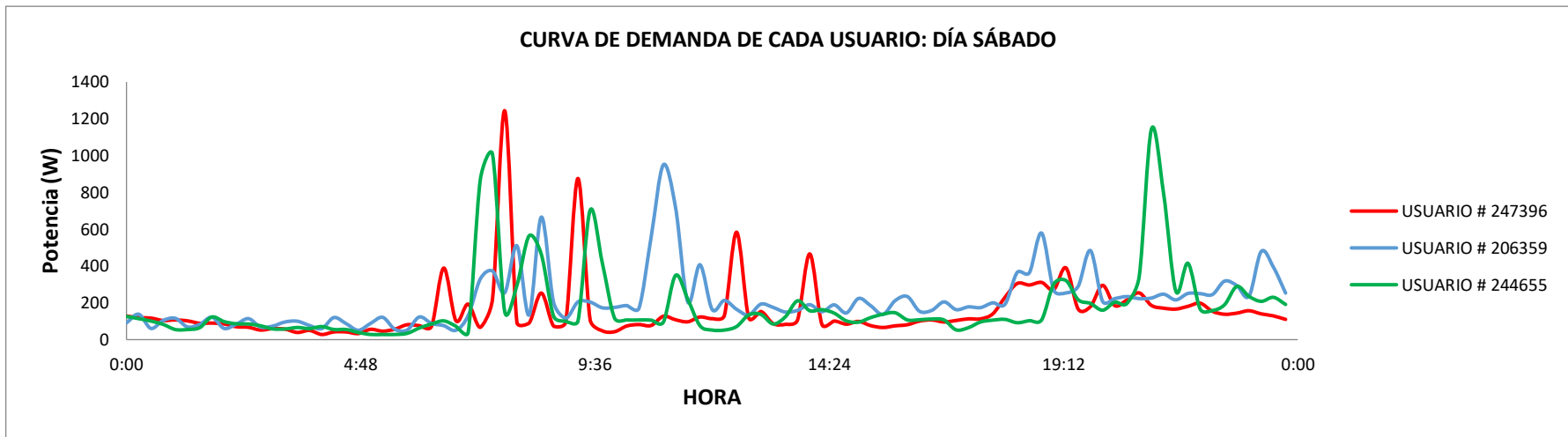


Figura 77. Curva de demanda de cada usuario: sábado

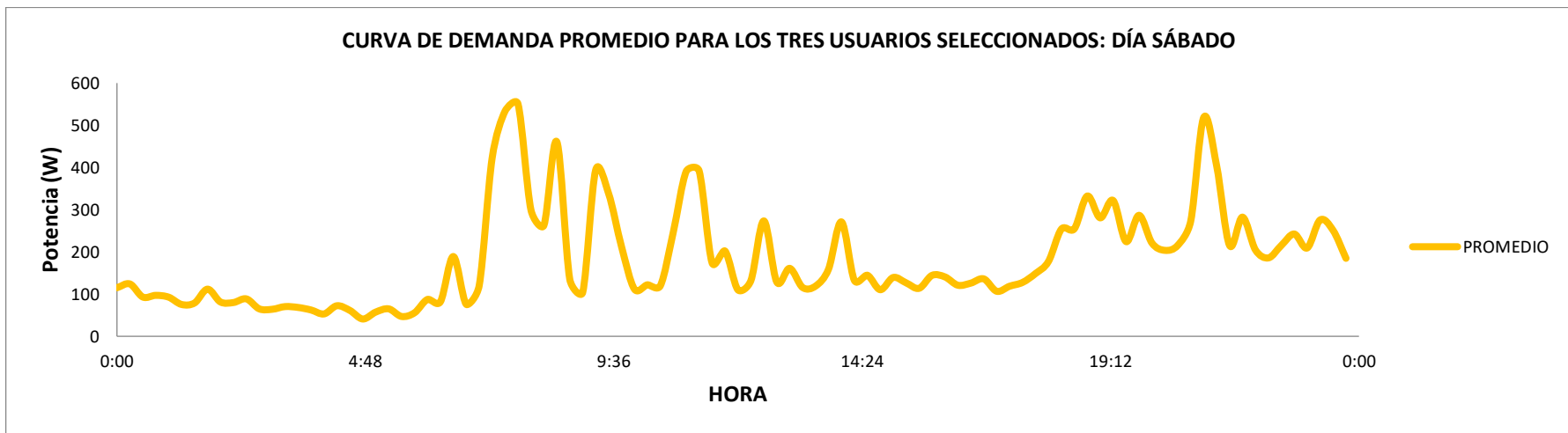


Figura 78. Curva de demanda promedio: sábado

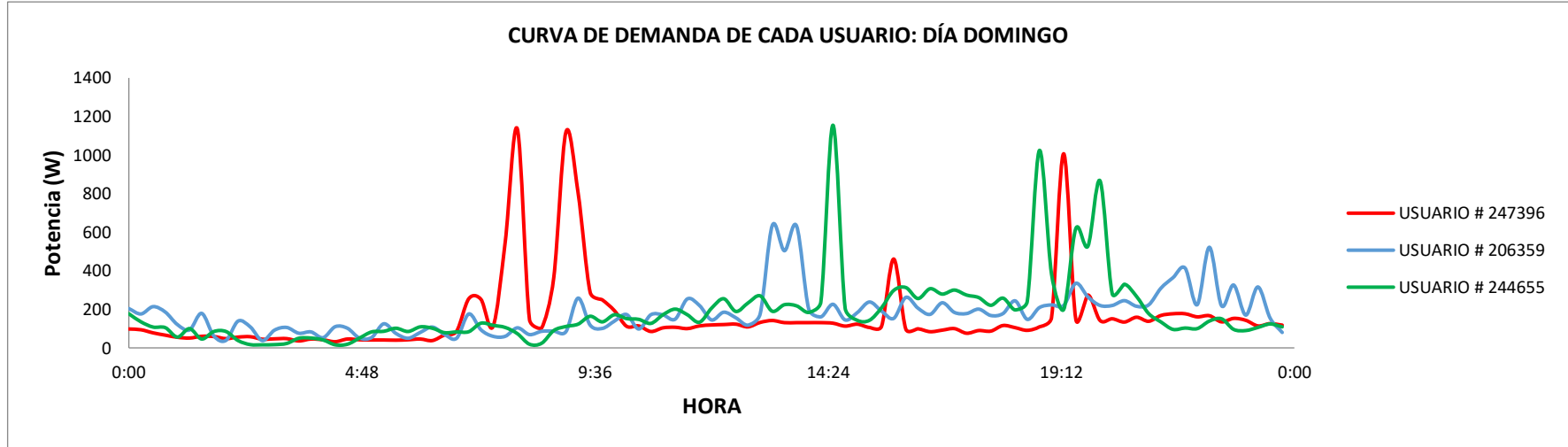


Figura 79. Curva de demanda de cada usuario: domingo

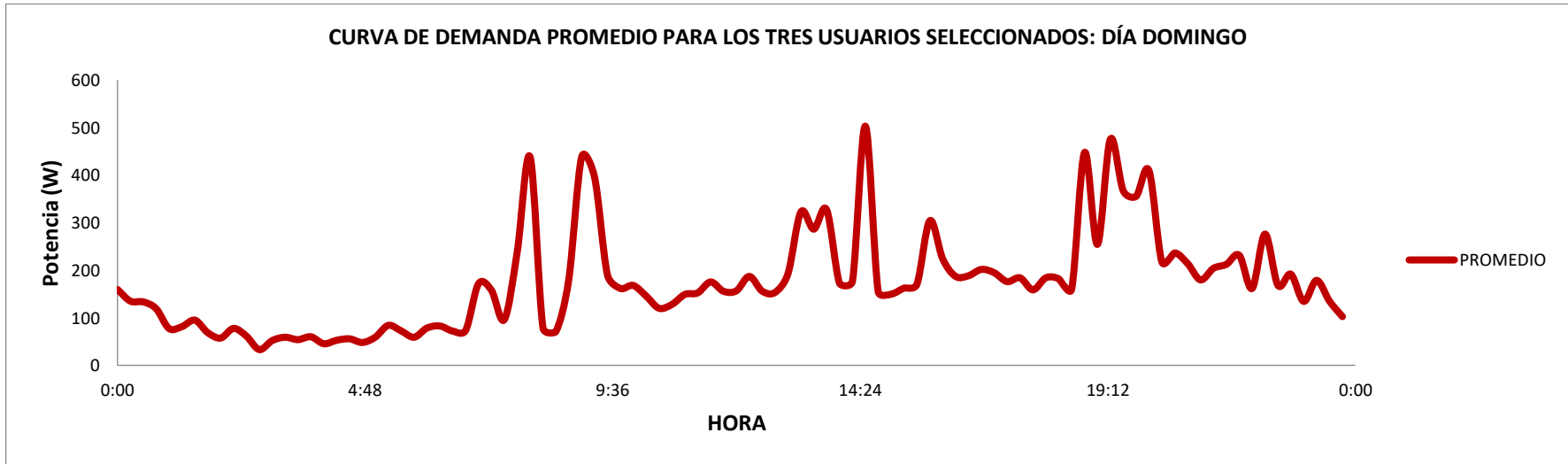


Figura 80. Curva de demanda promedio: domingo

Anexo 16. Evidencias de las mediciones eléctricas

Familia Martínez Tamayo – Usuario # 247396



Figura 81. Vista exterior de la vivienda, usuario # 247396



Figura 82. Medidor inteligente instalado en la fachada del usuario # 247396

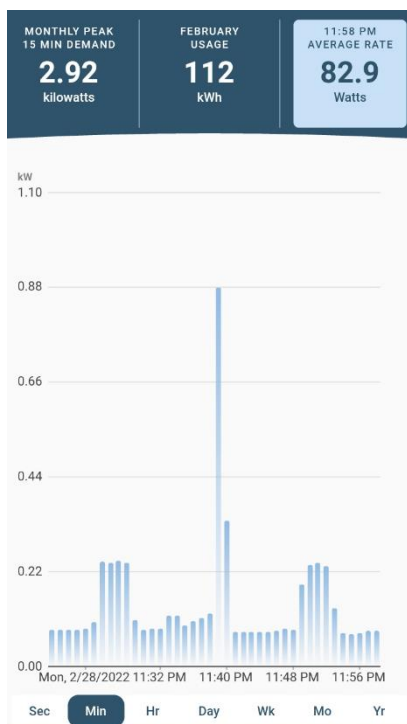


Figura 83. App Emporia Energy midiendo la demanda del usuario # 247396



Figura 84. Medición sectorizada del consumo del usuario # 247396

Familia Leiva Lalangui – Usuario # 206359



Figura 85. Vista exterior de la vivienda, usuario # 206359



Figura 86. Medidor inteligente instalado en la fachada del usuario # 206359



Figura 87. App Emporia Energy midiendo la demanda del usuario # 206359

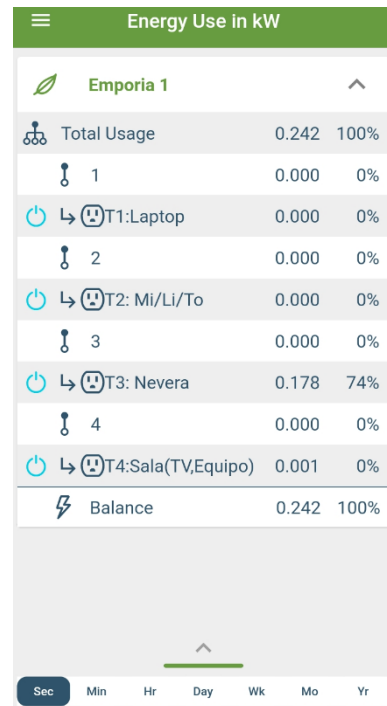


Figura 88. Medición sectorizada del consumo del usuario # 206359

Familia Riofrío Rivas – Usuario # 244655



Figura 89. Vista exterior de la vivienda, usuario # 244655



Figura 90. Medidor inteligente instalado en la fachada del usuario # 244655

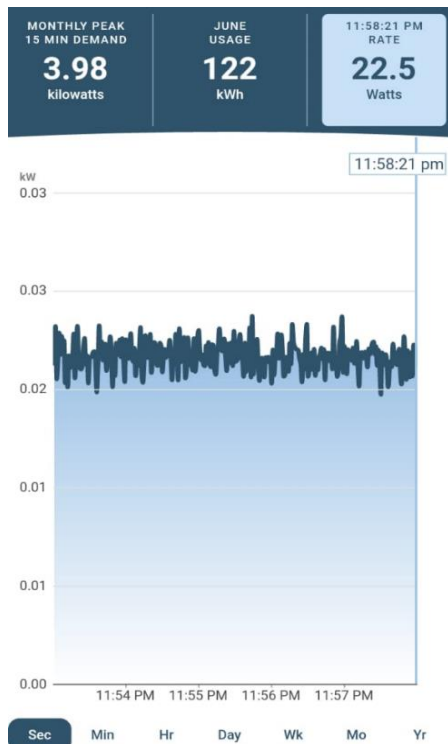


Figura 91. App Emporia Energy midiendo la demanda del usuario # 244655

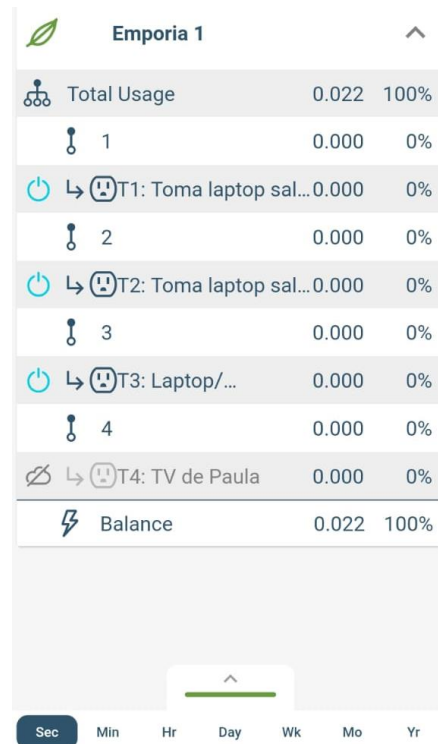


Figura 92. Medición sectorizada del consumo del usuario # 244655

Anexo 17. Curva de funcionamiento de la refrigeradora

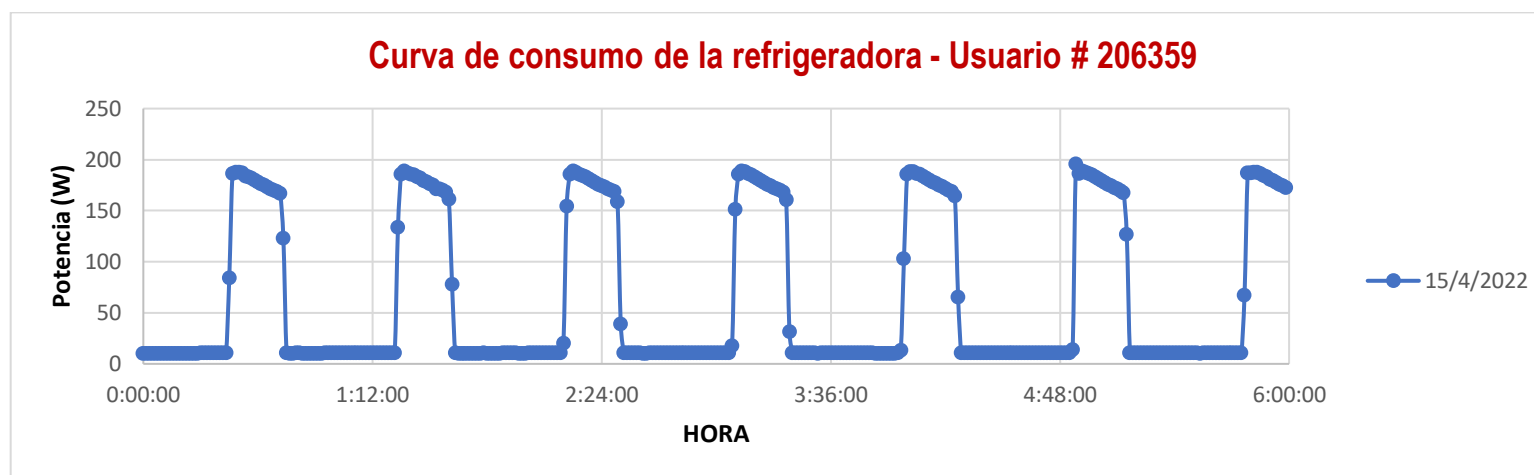


Figura 93. Curva de carga actual de la refrigeradora, usuario # 206359

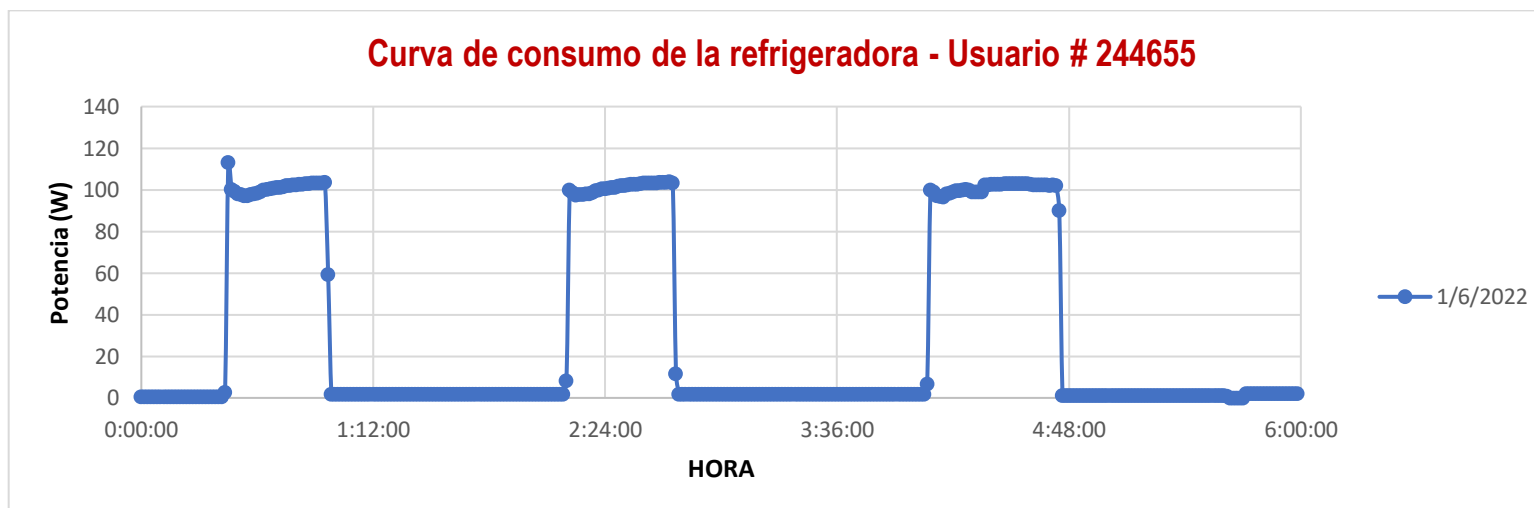


Figura 94. Curva de carga actual de la refrigeradora, usuario # 244655

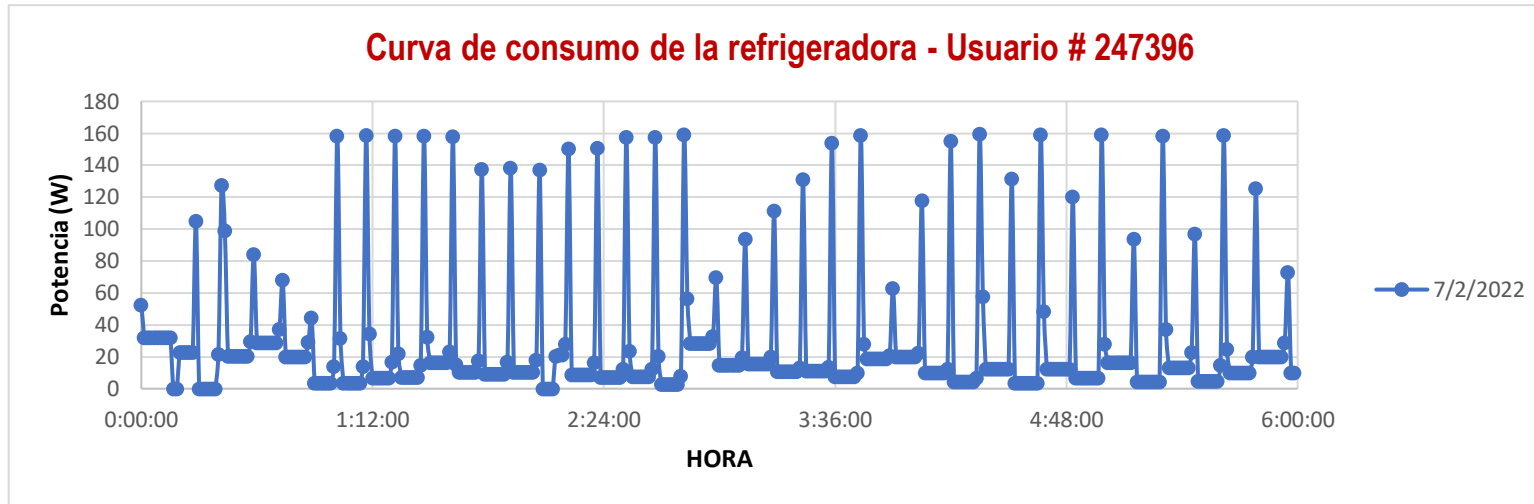


Figura 95. Curva de carga de la refrigeradora (luego de descongelar)

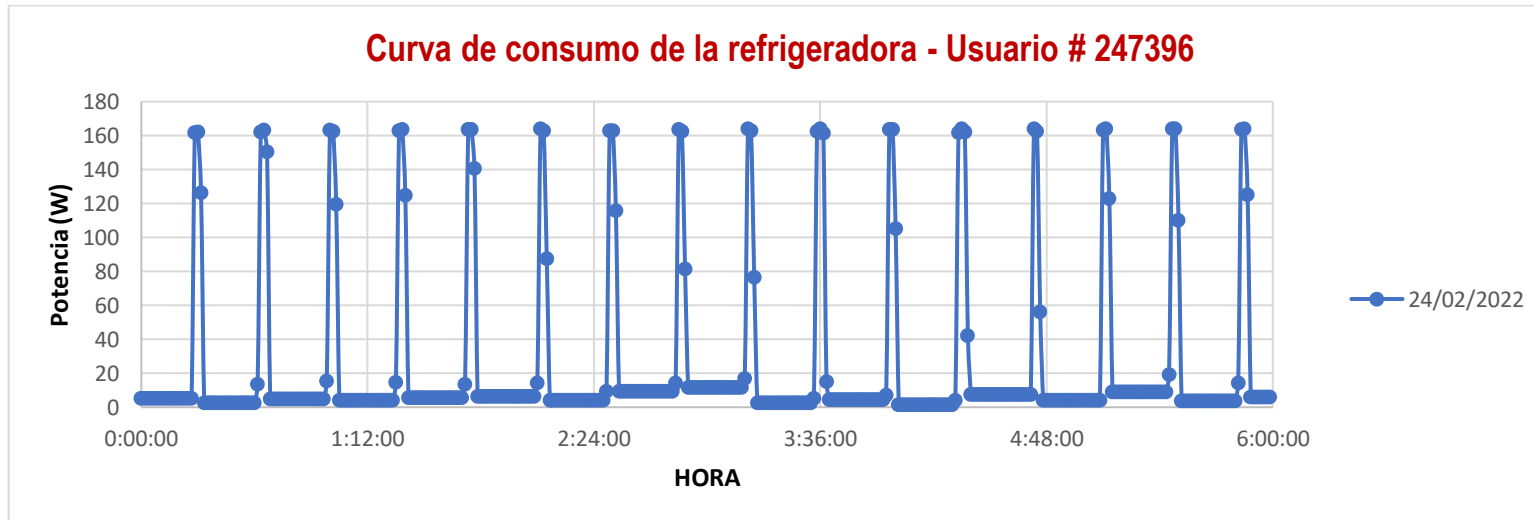


Figura 96. Curva de carga de la refrigeradora (antes de descongelar)

Consumo eléctrico en refrigeradora en [kWh], usuario # 247396				
	Pre auditoría		Auditoría	
	Febrero	Marzo	Septiembre	Octubre
Nro. de días	28	31	30	31
Total (kWh)	20,23	22,66	20,13	19,80

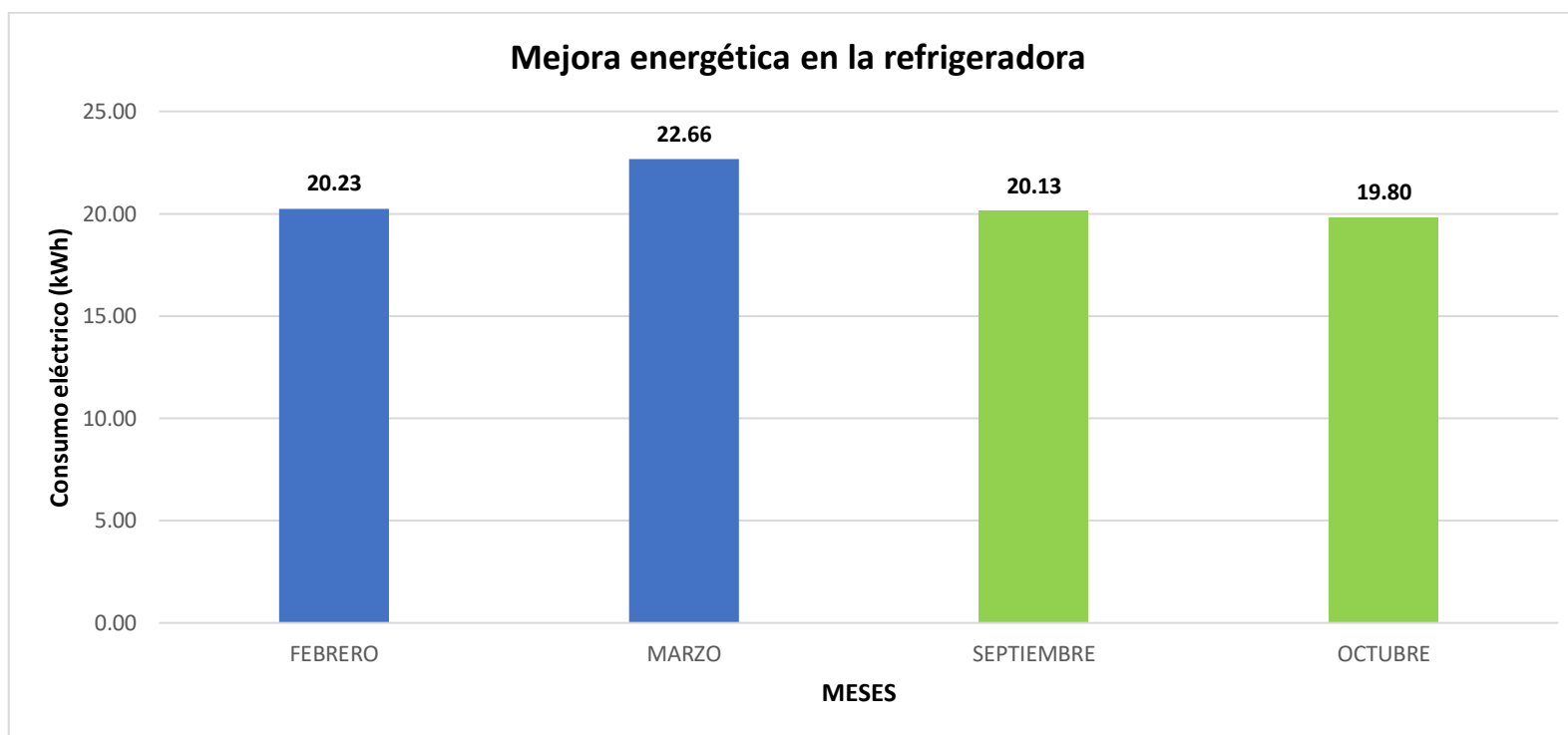


Figura 97. Mejora energética en la refrigeradora, usuario # 247396

Anexo 18. Curva de consumo de la ducha eléctrica, usuario # 247396

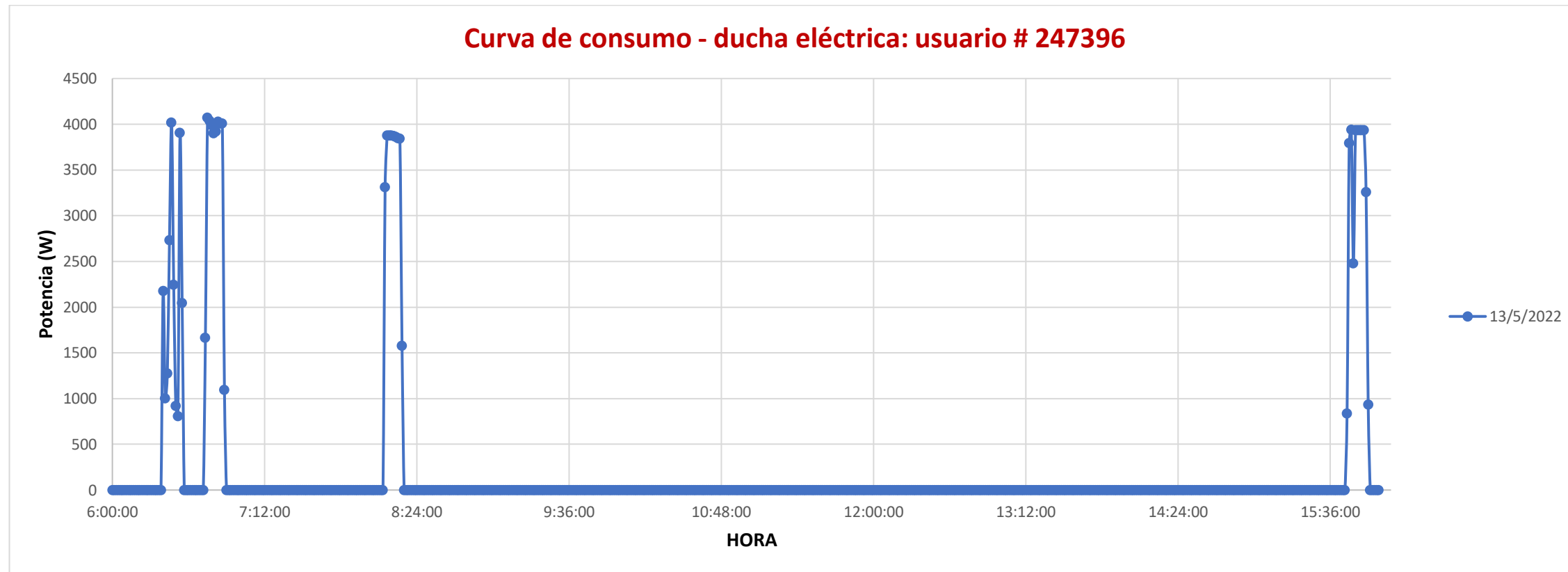


Figura 98. Curva de carga de la ducha eléctrica

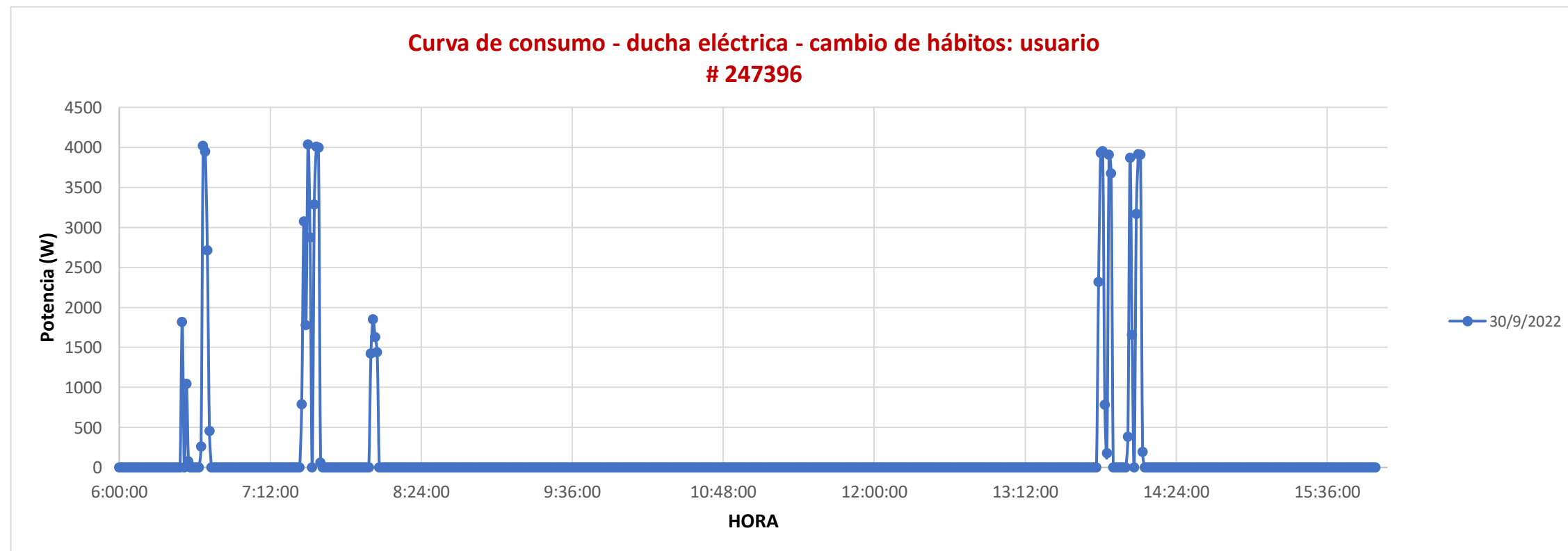


Figura 99. Curva de carga de la ducha eléctrica con cambio de hábito

Anexo 19. Certificado de traducción

Loja, 8 de marzo de 2023

Yo, **Lic. Ximena Alejandra Saca Remache**, con cédula de identidad **1150368171**, docente en el Colegio Cordillera y en academia BRENTWOOD Language Center, certifico:

Que tengo conocimiento y dominio de los idiomas español e inglés y que la traducción del trabajo de titulación, "**Metodología de eficiencia eléctrica aplicada a usuarios residenciales del barrio Ciudad Victoria de la ciudad de Loja, considerando la norma ISO 50001-2018**", de autoría del estudiante Lenin Alexander Martínez Tamayo, con cédula 1150005807, es verdadero y correcto a mi mejor saber y entender.

Atentamente,



Lic. Ximena Alejandra Saca

Traductora

Celular: 097 980 7137