

Energy and economic analysis of the restructuring of the residential electrical system
Análisis energético y económico de la reestructuración del sistema eléctrico residencial

Autores:

Ing. Espejo-Velasco, Pamela Monserrath
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA
Docente investigador
Ambato – Ecuador



pespejo.istt@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0003-5451-8585>

Ing. Gallo-Caiza, Verónica Marisol
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA
Docente investigador
Ambato – Ecuador



vgallo.istt@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0008-0515-4144>

Ing. Álvarez Tobar, Santiago Javier
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA
Docente investigador
Ambato – Ecuador



salvarez.istt@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0004-0957-5465>

Tnlgo. Silva Poaquiza, Renan Lizandro
INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO TUNGURAHUA
Docente investigador
Ambato – Ecuador



lizandros20134@gmail.com



<https://orcid.org/0009-0008-3484-7687>

Fechas de recepción: 28-JUL-2024 aceptación: 28-AGO-2024 publicación: 15-SEP-2024



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>
<http://mqrinvestigar.com/>



Resumen

El presente análisis enmarcado en el aprovechamiento de la eficiencia energética, fue llevado a cabo en una residencia con un alto déficit de balance de cargas, provocando varias fallas que comúnmente suelen presentarse en construcciones realizadas por personal no apto, dando problemas comunes como, fugas de energía, malos dimensionamientos, altos factores de potencia y costos elevados de consumo eléctrico. Por tal motivo fue necesario la reestructuración del sistema eléctrico, mediante cálculos basados en cargas existentes y proyecciones futuras, de esta manera se diseñó los circuitos necesarios que cumplan con las características estandarizadas de acuerdo a la normativa NEC, como la utilización de tuberías en el alojamiento de los conductores, terminales para las diferentes conexiones en apliques, cajas de paso, calibre de los cables acordes a las corrientes que atraviesan por cada uno, además se introdujo una puesta a tierra, para la protección de las instalaciones residenciales, adicional a esto se colocó la protección general, derivada y un adicional de un diferencial, el cambio del tipo de iluminación, produciendo una corrección en el factor de potencia y mejorando la calidad energética de la vivienda, así como la reducción del costo reflejado en las planillas de consumo eléctrico.

Palabras clave: Consumo eléctrico; Eficiencia energética; Energía eléctrica; Sistema eléctrico

Abstract

This analysis, framed in the use of energy efficiency, was carried out in a residence with a high load balance deficit, causing several failures that commonly occur in constructions carried out by unqualified personnel, giving common problems such as energy leaks, poor sizing, high power factors and high electricity consumption costs. For this reason, it was necessary to restructure the electrical system, through calculations based on existing loads and future projections, in this way the necessary circuits were designed that comply with the standardized characteristics according to the NEC regulations, such as the use of pipes in the housing of the conductors, terminals for the different connections in fixtures, junction boxes, cable caliber according to the currents that pass through each one, in addition, a grounding was introduced, for the protection of residential installations, in addition to this, general protection, derivative and an additional differential were placed, the change of the type of lighting, producing a correction in the power factor and improving the energy quality of the home, as well as the reduction of the cost reflected in the electrical consumption sheets.

Keywords: Electrical consumption; Energy efficiency; Electrical energy; Electrical system

Introducción

Desde tiempos remotos la energía, ha venido constituyendo un pilar fundamental para las sociedades humanas fomentando el desarrollo económico y el mejoramiento del estilo de vida. Desde la prehistoria la energía ha sido aprovechada a través de la explotación de la madera, hasta el actual consumo excesivo de combustibles fósiles debido a su precio en el mercado, eficacia y asequibilidad. (Abad Oerdoñez, 2019)

En el contexto del análisis desarrollado se toma en cuenta la normativa vigente, metodologías internacionales relacionadas a la determinación de los costos del servicio y la evaluación financiera del PME. (Minas, 2018)

Debido a la crisis migratoria actual que se ha dado en Latinoamérica, la demanda del consumo energético ha sufrido varios cambios como el incremento de cargas inductivas, lo cual ha afectado al factor de potencia que genera cada residencia, debido a que muchos migrantes han decidido radicarse en Ecuador esto ha hecho que las cargas inductivas aumenten notoriamente. El Registro Estadístico de Entradas y Salidas de ecuatorianos y extranjeros de las diferentes nacionalidades es una investigación orientada a cuantificar los movimientos internacionales ocurridos en el país, según las vías de transporte utilizadas. La información de carácter individual es recolectada por las jefaturas de control migratorio que funcionan en el territorio nacional a través de la Subsecretaría de Migración del Ministerio del Interior. (Censos, 2021)

El Ecuador no ha sido ajeno a esta realidad, en los últimos años, a través de distintas iniciativas e instituciones se han implementado una serie de programas orientados a la reducción o ahorro en el consumo de energía eléctrica. Entre estos programas se destacan, por ejemplo, el cambio de lámparas incandescentes por lámparas fluorescentes compactadas para el sector residencial, planes de reemplazo de aparatos de refrigeración ineficientes, alumbrado público eficiente, etiquetado de aparatos de consumo eléctrico, entre otros. (Álvarez Burbano, 2022)

La presente ley tiene por objeto garantizar que el servicio público de energía eléctrica cumpla los principios constitucionales de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad, calidad, sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia, para lo cual, corresponde a través del presente instrumento, normar el ejercicio de la responsabilidad del Estado de planificar, ejecutar, regular, controlar y administrar el servicio público de energía eléctrica. (ArceRNNR, 2015)

La evolución del mercado eléctrico ecuatoriano, en lo que a demanda de energía y potencia se refiere, ha mantenido una situación decreciente durante varios años. Las dificultades de carácter económico que ha tenido el país entre los años 2015 y 2017 se reflejaron como el

principal factor de incertidumbre para la proyección de la demanda, por lo que ha sido necesario un más frecuente seguimiento a la evolución del comportamiento de las variables y de los respectivos indicadores, con el fin de introducir, mediante estudios de demanda, los correspondientes ajustes a las proyecciones. (CELEC, 2018)

El presente análisis de la eficiencia energética y eficiencia económica, tiene por objetivo principal identificar, todos los factores que puedan intervenir en el correcto proceso de consumo de electricidad, de tal manera que esto pueda alterar mínima o gradualmente el máximo aprovechamiento de la misma, siendo perjudicial tanto en lo económico como en la cancelación de valores altos en planillas, así también como en el funcionamiento de los aparatos eléctricos que se encuentren conectados.

Con este antecedente se determina congruente la pregunta de investigación: ¿la reestructuración del sistema eléctrico residencial permitirá aumentar los índices de eficiencia energética y económica?

Para poder analizar la pregunta planteada, se detalla los objetivos:

- Identificar los factores directos e indirectos que afectan a las instalaciones, y estas puedan generar un determinado riesgo.
- Implementar un modelo básico de consumo eléctrico de acuerdo a la cantidad de habitantes, dentro de la vivienda para de esta manera mitigar los gastos mensuales por consumo eléctrico.
- Modificar los actuales sistemas de consumo energético, para que sean acordes a las necesidades de demanda actual y a futuro.

Se considera importante la investigación ya que permite generar una propuesta de planes de mantenimientos correctivos, en las instalaciones eléctricas residenciales rurales, incentivando al uso correcto de los elementos y componentes eléctricos, basándose en la normativa NEC, capítulo construcciones eléctricas residenciales, vigentes dentro del territorio nacional, dando así como consecuencia inmediata el mejoramiento dentro de la prestación de servicio eléctrico que prestan las empresas comercializadoras, como la retribución económica de los consumidores finales.

La eficiencia energética tiene como objetivo lograr un menor consumo de energía, sin un cambio en la calidad de vida de los usuarios. Su implementación ha tomado relevancia en los últimos años dado que la demanda se encuentra en constante crecimiento y se debe asegurar su abastecimiento, además, la responsabilidad con el cambio climático hace que exista una mayor preocupación desde el sector eléctrico. (Álvarez Burbano, 2022)

La energía eléctrica como un recurso permanente, estable y seguro se ha constituido en un componente apremiante para enfrentar la emergencia sanitaria a nivel mundial, tanto a nivel de Estado, para atender la situación hospitalaria; así como, para la sociedad y las familias, que han tenido que volcar todas sus actividades a casa. Debido a la pandemia por el Covid-19, muchas de las economías mundiales se encuentran deprimidas y el mundo está expectante respecto a la reactivación y repunte de los comercios y las industrias, avizorando que, con la inoculación masiva de la población mundial, se podrá volver a una nueva normalidad, dentro de lo cual, la operación del mercado nacional e internacional de energía eléctrica es clave.

Durante el 2020, debido al confinamiento, las necesidades energéticas dieron un giro a nivel mundial, registrándose una disminución considerable en la demanda de combustibles fósiles, ya que las actividades industriales, comerciales y de transporte disminuyeron. Esta coyuntura muestra lo vital del servicio de energía eléctrica en la cotidianidad, lo que demanda a los países el caminar a la consolidación de un mercado de energía eléctrica equitativo, que responda a la demanda de sus ciudadanos, de manera efectiva y continua. Ante una creciente demanda de energía y la disminución de las reservas petroleras mundiales, nace la necesidad imperante de contar con nuevas fuentes de generación, donde juega un papel importante la creación de fuentes alternas, que sean un recurso confiable y eficiente.

La producción y demanda de energía eléctrica, creciente en el Ecuador, requiere un marco regulatorio innovador, que establezca pautas y medidas claras, pero a la vez, que abra brechas para que, tanto a nivel técnico como económico, el mercado siga en latente crecimiento, en beneficio del país; por lo cual, es de gran importancia contar con datos estadísticos y medición de variables que aporten como base para la generación de normativa, políticas, etc. Con esta base, la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos No Renovables (ARCERNNR) trabaja en la regulación y control de este sector, en beneficio de la industria y mercado nacional de energía eléctrica y con el objeto de brindar un servicio de calidad a los consumidores residenciales e industriales. (ArceRNNR, ESTADISTICA, 2020)

Los sectores Residencial, Comercial y Público son los responsables del 18% del consumo energético total y del 57% del consumo de energía eléctrica, según consta en el BEN 2015. En este documento, se consideró en conjunto a estos sectores, debido a que su consumo energético tiene similitudes y, por lo tanto, los programas y proyectos se consideran comunes. El MEER, en atención a la política energética nacional, ha desarrollado varios instrumentos regulatorios, incentivos fiscales y tributarios, y ha impulsado diversas iniciativas relacionadas con la eficiencia energética en estos sectores, entre las que se destacan las siguientes: Instrumentos regulatorios. A partir del 2007, en coordinación con el Servicio Ecuatoriano de Normalización (INEN) se elaboraron 11 Normas de Eficiencia Energética para fomentar la gestión de energía y construcción eficiente; así como, 23 Reglamentos Técnicos de Eficiencia Energética, que garantizan la comercialización de equipos de uso

doméstico e industrial de mayor rendimiento reconversión tecnológica en iluminación residencial.

Mediante esta iniciativa, de 2008 a 2014 se realizó la sustitución de 16 millones de focos incandescentes por focos ahorradores, en los sectores Residencial, Artesanal y en entidades del sector Público, lo que representó aproximadamente tres millones de abonados beneficiados. Esta iniciativa desarrollada por el MEER impulsó la resolución de la Secretaría de Comercio Exterior (COMEX), que suspendió la importación de focos incandescentes de uso residencial, entre los rangos de 25 a 100 W, a partir de enero de 2010. Esta medida logró una reducción estimada de 287 000 MWh/año y 263 MW de potencia. de agua en el sector residencial. A diciembre de 2016, 579 637 familias confiaron en el programa y se benefician del incentivo tarifario. De éstas, 80% obtuvo financiamiento del Estado para la adquisición de cocinas de inducción. Aseguramiento de la eficiencia energética en los sectores Público y Residencial del Ecuador (SECURE). Ejecutado por el MEER desde 2015, esta iniciativa busca incrementar la participación de aparatos eléctricos eficientes en los sectores Residencial y Público mediante la promoción y difusión del Distintivo de Máxima Eficiencia Energética (DMEE), instrumento a través del cual se reconocen los equipos que, por medio de pruebas de laboratorio, presenten los mejores niveles de eficiencia energética. (EP, 2017)

Programa para la renovación de equipos de consumo energético ineficiente. El Proyecto N.º 1 Sustitución de Refrigeradoras, ejecutado en el periodo 2012-2016, contempló la sustitución de electrodomésticos ineficientes (de alto consumo energético), por equipos nuevos y eficientes fabricados en el país. 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). En ejecución a partir de agosto de 2014, este programa tiene como objetivo sustituir el uso de GLP por electricidad para la cocción de alimentos y el calentamiento (EP, 2017).

La escasez de energía y los altos precios actuales en la importación de energía eléctrica, hacen que sea muy importante utilizar la energía de manera correcta, dado que la actual crisis energética mundial genera altos precios y escasez que perjudica a la economía de consumidores, así como también a la economía de los países enteros, nunca ha sido más importante utilizar la energía de manera más inteligente. Debemos hacerlo mediante simples cambios de comportamiento y hábitos para consumir menos energía en nuestras actividades diarias. (IEA, 2020)

La eficiencia energética puede permitir mayores ingresos disponibles al reducir las facturas de energía y otros costos en beneficio de las personas y los hogares. Un menor consumo de energía se traduce en facturas de energía más bajas, lo que significa que los hogares gastan

menos de sus ingresos disponibles en pagos de planillas de energía eléctrica. En muchos países, los ciudadanos han evitado cientos de dólares en sus facturas debido a las mejoras que han realizado sobre la eficiencia energética en las últimas décadas, y los ahorros suelen ser mayores en países con políticas de eficiencia energética establecidas desde hace mucho tiempo en donde esto ha ayudado al desarrollo sostenible de las personas (IEA I. E., 2019).

Material y métodos

Reestructuración del sistema eléctrico residencial

La presente investigación se realizó mediante la aplicación del método deductivo, a través de un análisis aplicado a los datos obtenidos en función del consumo energético de la vivienda, para esto se consideró aspectos como la construcción de la vivienda, número de habitantes, rango de edades, ocupaciones, los cuales influyen de uno u otra forma en el consumo diario de energía eléctrica.

Como primer dato obtenido en la primera visita técnica se constató el tiempo de construcción de la vivienda, la cual fue construida en el año de 1979. Mediante la técnica de observación se pudo constatar el mal estado que se encuentran las instalaciones eléctricas, en donde los conductores eléctricos son de distintos calibres, no poseen ningún tipo de protección, debido a que en la vivienda no existe caja de distribución, lo cual es un requerimiento de las viviendas, como lo menciona la normativa de construcción de instalaciones eléctricas residenciales vigentes en todo el territorio nacional. La NEC es de cumplimiento obligatorio a nivel nacional y debe ser considerada en todos los procesos constructivos, como lo indica la Disposición General Décimo Quinta del Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD). Se constituye en una normativa que busca la calidad de vida de los ecuatorianos y aporta en la construcción de una cultura de seguridad y prevención. (Vivienda, 2018)

Como segundo problema encontrado en las instalaciones se observó, que al paso del conductor principal que proviene del medidor de energía eléctrica, presenta derivaciones en algunos sentidos, por lo cual es necesario diseñar un sistema de circuitos eléctricos que vayan acorde a las necesidades de cada área dentro de la misma, con esto se puede controlar de mejor manera las cargas existentes, debido a que existen varios artefactos eléctricos que no funcionan eficientemente, por lo cual se presume que dichas instalaciones han sido realizadas por personas que no tienen conocimientos básicos en el campo eléctrico, debido a que los conductores no son los apropiados para algunos casos. Los conductores tienen la finalidad de transportar la energía eléctrica en función de su aplicación final, los mismos que se registrarán según su diseño a las normativas nacionales e internacionales, siendo los de baja tensión hasta 750V. (Cable, 2020)

Para conocer de mejor manera las necesidades internas de la residencia se presenta la tabla 1, la misma que detalla un cálculo de la potencia existente dentro del domicilio, la cual ayudará al diseño de los nuevos circuitos eléctricos que se implementarán dentro de la residencia.

Tabla 1
Cálculo de potencia máxima del domicilio.

Elemento	cantidad	Potencia W c/u	Potencial total en W
Focos	22	20	440
Refrigerador	1	900	900
Licuada	1	300	300
Televisor	4	250	750
Lavadora	1	500	500
Plancha	1	1200	1200
Batidora	1	300	300
Ducha	1	5000	5000
Equipo de sonido	2	250	500
Microondas	1	800	800
Cargador de celular	5	5	25
Lámparas	3	9	27
Potencia Total			10742 watts

Fuente. Elaborado por los autores

Una vez identificado los principales problemas se procedió a realizar un análisis a la red del domicilio, mediante un analizador de energía, de esta manera se puede conocer un poco más sobre el comportamiento y consumo de la energía dentro del mismo.

Tabla 2
Consumo de hora pico máximo diario.

Fecha	Hora	U1(ProAct) [V]	U2 (ProAct) [V]	I1(ProAct) [A]	I2(ProAct) [A]
16/11/2023	19:00:00	124.61	121.98	3.98	0.08
16/11/2023	20:00:00	125.72	123.72	4.76	0.052
17/11/2023	19:00:00	125.03	124.26	3.331	0.056
17/11/2023	20:00:00	126	124.25	4.848	0.056
18/11/2023	19:00:00	124.77	123.66	3.038	0.045
18/11/2023	20:00:00	125.12	123.18	3.328	0.062
19/11/2023	19:00:00	126.37	124.77	3.128	0.05
19/11/2023	20:00:00	126.78	124.86	2.378	0.058
20/11/2023	19:00:00	126.07	124.45	3.415	0.049
20/11/2023	20:00:00	126.28	124.44	3.317	0.052
21/11/2023	19:00:00	124.89	123.05	4.447	0.052
21/11/2023	20:00:00	125.47	123.49	3.849	0.045

Fuente. Elaborado por los autores

En la tabla 2 se muestra el registro de 6 días, donde se observa las horas de mayor consumo en voltajes y corrientes, siendo los valores más altos entre 3 y 4 amperios, además se analizó que la hora máximo de consumo pico se encuentra en el horario de 19h00 a 20h00, de ésta tabla se logra evidenciar el desfase que se genera en la instalación, por lo cual se evidencia



el déficit de consumo eléctrico, resultado de no tener un equilibrio entre las dos fases, además se constató el desbalance de consumo entre líneas, debido a que solo una línea está siendo utilizada y esto genera una sobrecarga en una sola fase. El consumo promedio por mes de energía eléctrica de los hogares ecuatorianos a nivel nacional es mayor a 138 kW/h en el área rural, en tanto que en el área urbana registra el consumo más alto con 155 kW/h. (Censos, 2021)

Tabla 3
Consumo de corrientes más altas registradas.

Fecha	Hora	U1(ProAct) [V]	U2 (ProAct) [V]	I1(ProAct) [A]	I2(ProAct) [A]
16/11/2023	07:20:00	124.88	123.07	7.478	0.075
16/11/2023	16:10:00	124.14	122.09	6.87	0.053
17/11/2023	13:10:00	125.05	123.56	6.527	0.06
17/11/2023	13:30:00	125.31	123.08	7.816	0.082
17/11/2023	16:10:00	125.12	123.97	6.861	0.078
17/11/2023	22:00:00	126.85	124.81	7.649	0.059
18/11/2023	19:20:00	124.52	123.79	6.94	0.059
19/11/2023	10:20:00	122.76	121.25	9.826	0.083
19/11/2023	21:20:00	126.52	124.95	6.171	0.052
19/11/2023	21:30:00	126.61	124.54	10.9	0.069
20/11/2023	15:30:00	126.44	124.86	7.928	0.062
21/11/2023	12:40:00	126.52	125.48	6.755	0.07

Fuente. Elaborado por los autores

La tabla 3, muestra un problema mayor al anterior, donde se observa que en horas diferentes, marcan rangos de consumo de energía fuera de lo habitual sobrepasando los 5 Amperes llegando hasta un consumo de 10.9 A, siendo el consumo más alto en horas de la noche donde generalmente los habitantes descansan, por lo que no existe mayor consumo, dando a notar que existen los llamados puntos calientes o fugas de energía en las distintas instalaciones generados por múltiples factores, como el área de la ducha en primera instancia, ya que los puntos calientes dentro de una instalación eléctrica, se debe al calentamiento por efecto joule. (INDUNOVA, 2020)

Tabla 4
Factor de potencia, en horas y fechas según tabla 3

P1+(Pro Act) [kW]	P2+(Pro Act) [kW]	Ptot+(Pro Act) [kW]	Setot+(Pro Act) [kVA]	S1+(Pro Act) [kVA]	S2+(Pro Act) [kVA]	PF1ind+(Pro Act) []	PF2ind+(Pro Act) []
0.218	0.001	0.219	0.328	0.322	0.006	0.68	0.19
0.488	0.001	0.489	0.605	0.598	0.006	0.82	0.17
0.335	0.002	0.337	0.423	0.416	0.007	0.81	0.35
0.105	0.002	0.107	0.152	0.144	0.008	0.73	0.27
0.346	0.002	0.348	0.435	0.428	0.007	0.81	0.35
0.28	0.001	0.281	0.385	0.379	0.006	0.74	0.22
0.32	0.002	0.322	0.416	0.409	0.007	0.78	0.31

0.246	0.003	0.249	0.303	0.296	0.007	0.83	0.45
0.315	0.002	0.317	0.433	0.427	0.006	0.74	0.29
0.329	0.001	0.33	0.425	0.419	0.006	0.79	0.08
0.455	0	0.455	0.562	0.555	0.006	0.82	0.01
0.365	0.001	0.366	0.488	0.483	0.006	0.75	0.25

Fuente. Elaborado por los autores

En la tabla 4, se obtiene el factor de potencia que marcan las columnas PF1 y PF2 siendo la prueba más viable sobre el desperdicio de energía que existe, ya que el valor promedio de factor de potencia es 0.73, cuyo valor está fuera del rango establecido en la normativa de eficiencia energética del Ecuador, cabe recalcar que el factor de potencia en la línea numero dos es aún menor con un promedio de 0.3, en dicha línea no existe mayor consumo de energía por lo cual es más visible la problemática que representa las actuales instalaciones, donde requieren de un cambio.

Tabla 5

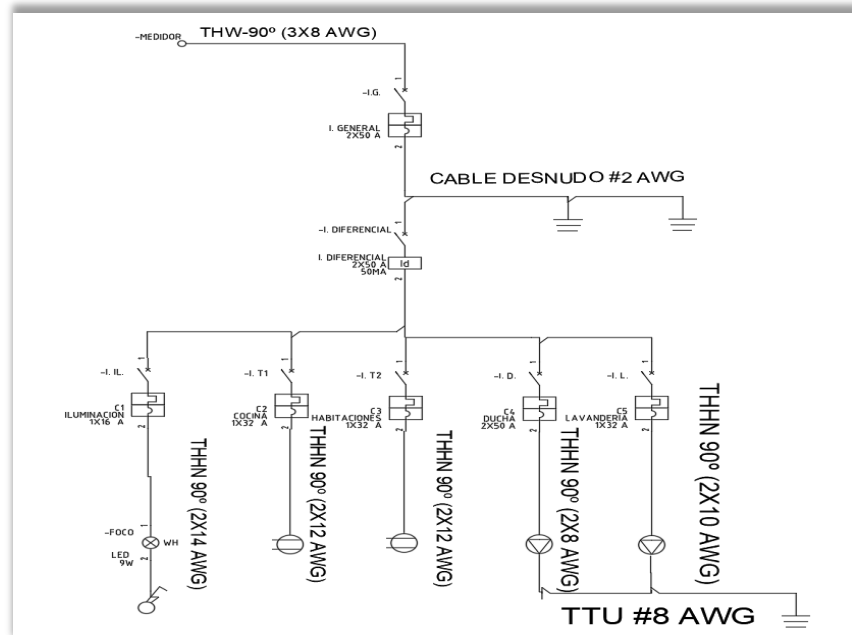
Capacidad de amperaje según calibre AWG.

Calibre del conductor AWG	14	12	10	8	6
Capacidad máxima del interruptor en amperios	15/16	20	30/32	40	50

Fuente: (NEC,2018)

Con estas problemáticas identificadas se procedió a la conexión de los distintos circuitos diseñados, tanto para iluminación como para los circuitos de fuerza, en donde se utilizó las diferentes protecciones tanto generales como derivadas, así también de un diferencial que garantice la seguridad de personas y electrodomésticos. Para el cableado de los circuitos de iluminación se utilizó cable AWG #14, para la conexión del circuito especial se utilizó un conductor de calibre AWG #8, para el circuito del área de lavandería se utilizó calibre #10 AWG para mitigar la caída de tensión, debido a que se encuentra a mayor distancia de la fuente todo esto guiados por la NEC.

Figura 1
Diagrama Unifilar



Fuente. Elaborado por los autores

Todas las instalaciones realizadas se reformo con tuberías y canaletas acordes a las necesidades que se fueron presentando al momento de cablear los circuitos diseñados al igual que la utilización de cajetines de paso como los redondos en puntos de iluminación, así como los rectangulares para los puntos de tomacorrientes, de esta manera se garantiza la vida útil de los conductores. Además, se implementó una puesta a tierra general con el fin de proteger las nuevas instalaciones para esto se utilizó 2 varillas copperweld de 1,80m con una separación mínima de 2,5 m, las mismas que están enterradas en un sitio acorde para la preparación del suelo, donde se acondicionó con tierra negra, carbón, y gel de acondicionamiento de suelo, suelda exotérmica y cable de calibre AWG #2 desnudo.

Al momento de la reestructuración del presente sistema eléctrico residencial, se puede analizar el beneficio económico ya sea a corto o largo plazo, siendo un claro ejemplo los beneficios obtenidos a partir del mejoramiento de la eficiencia energética, tales como:

- Reemplazo de luminarias de sodio por luminarias led, con un costo de \$150.
- Conductores eléctricos, reemplazados costo de \$250.
- Apliques y tuberías de conexión, \$130.
- Protecciones generales y derivadas incluidas descargues a tierra \$185.
- Mano de obra y materiales complementarios costo \$330.

Costo total invertido en la reestructuración \$1045 dólares americanos.

Ahorros a corto y largo plazo:

- Reducción promedio en factura eléctrica mensual entre un 20% - 27% (\$14 - \$17).
- Ahorro anual aproximado \$168 - \$204.
- Costo por mantenimientos o remplazos de electrodomésticos o derivados \$60.

Valor total aproximado de ahorro anual \$228 - \$264.

Beneficios adicionales

- Mayor eficiencia y rendimiento de equipos y sistema eléctrico.
- Contribución a la reducción de la huella de carbono.
- Incremento del valor predial de construcción.

Con estos valores aproximados, se calcula el tiempo de recuperación de inversión efectuada en la reestructuración del sistema eléctrico, para lo cual mediante la fórmula de retorno de la inversión (ROI) se considera un escenario promedio.

Ecuación 1

Cálculo del retorno de la inversión

$$ROI = \frac{(Ahorro\ Anual)}{(Costo\ Inversion)} \times 100$$

$$ROI = \frac{228}{1045} \times 100 = 21.81\%$$

Mediante estos datos muestra un tiempo aproximado de recuperación de la inversión total, en un promedio entre 5 a 6 años, mismos valores que se mantendrán por algunos años más, siendo un beneficio acumulativo positivo.

Resultados

Una vez realizada la repotenciación de las instalaciones eléctricas en la vivienda, se toma un segundo muestreo donde se puede observar los resultados de las siguientes variables mostradas en la Tabla 6.

Tabla 6

Picos de mayor consumo diario en mismas horas del primer muestreo.

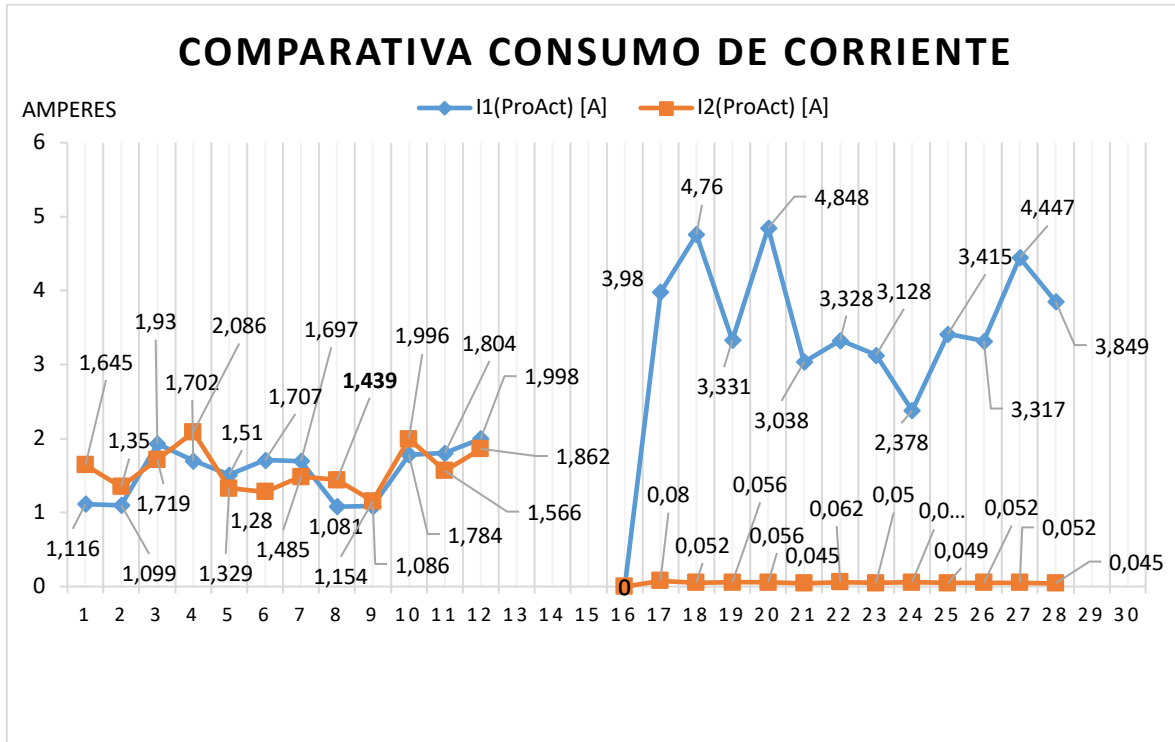
Fecha	Hora	U1(ProAct) [V]	U2(ProAct) [V]	I1(ProAct) [A]	I2(ProAct) [A]
19/02/2024	19:00:00	122.78	119.79	1.116	1.645
19/02/2024	20:00:00	123.58	121.1	1.099	1.35
20/02/2024	19:00:00	122.11	121.02	1.93	1.719
20/02/2024	20:00:00	122.27	118.64	1.702	2.086
21/02/2024	19:00:00	121.87	118.32	1.51	1.329
21/02/2024	20:00:00	123.06	122.4	1.707	1.28
22/02/2024	19:00:00	123.09	121.3	1.697	1.485
22/02/2024	20:00:00	122.5	121.38	1.081	1.439
23/02/2024	19:00:00	122.28	119.79	1.086	1.154
23/02/2024	20:00:00	122.67	121.37	1.784	1.996
24/02/2024	19:00:00	123.05	122.25	1.804	1.566
24/02/2024	20:00:00	123.47	123.49	1.998	1.862

En la Tabla 6 se observa un equilibrio y distribución de cargas en las columnas I1 e I2, con un promedio de consumo de 1.54 A y 1.48 A respectivamente. Esta distribución logró mejorar el rendimiento y la funcionalidad de los equipos conectados a la red, en comparación con los valores medidos en la Tabla 4. En un análisis preliminar con la tabla del primer muestreo, se identificaron valores en rangos menores, como lo demuestra la siguiente gráfica comparativa.

En dicha gráfica, se puede observar que, en el costado izquierdo, el consumo de corrientes se encuentra acorde al consumo existente y en valores casi iguales entre fases. En contraste, en la representación del lado derecho, se evidencia un desfase notable entre las líneas 1 y 2, lo cual indica una mejora en el aprovechamiento de la energía. Este equilibrio evita la sobrecarga en una sola fase y, por lo tanto, elimina el efecto Joule en los conductores, evitando el desperdicio de energía en forma de calor. Esta distribución resulta beneficiosa para el cumplimiento del aprovechamiento energético.

Figura 2

Consumo de corrientes mediciones 1 y 2



Fuente. Elaborado por los autores

Al obtener valores de picos máximos tanto en voltajes como en corrientes distintos a los obtenidos en el primer muestreo, se puede determinar que el consumo de la residencia está dentro de los rangos permitidos para entrar en el plan de la tarifa dignidad. Esto permite cancelar valores más económicos por kilovatio hora de consumo, tal como lo menciona la entidad reguladora, resultando en pagos menores comparados con meses anteriores. Además, mantener el consumo dentro de estos rangos prolonga la vida útil de todos los componentes del sistema eléctrico, lo cual reduce la preocupación por costos de mantenimiento o reparaciones.

Tabla 7

Factor de Potencia

P1+(ProAct) [kW]	P2+(ProAct) [kW]	Ptot+(ProAct) [kW]	Setot+(ProAct) [kVA]	S1+(ProAct) [kVA]	S2+(ProAct) [kVA]	PF1ind+(ProAct) []	PF2ind+(ProAct) []
0.225	0.183	0.408	0.4369	0.2399	0.197	0.94	0.93
0.125	0.119	0.244	0.259	0.135	0.124	0.93	0.96
0.208	0.112	0.32	0.348	0.223	0.125	0.93	0.90
0.097	0.222	0.319	0.349	0.106	0.243	0.92	0.91
0.214	0.241	0.455	0.502	0.238	0.264	0.90	0.91

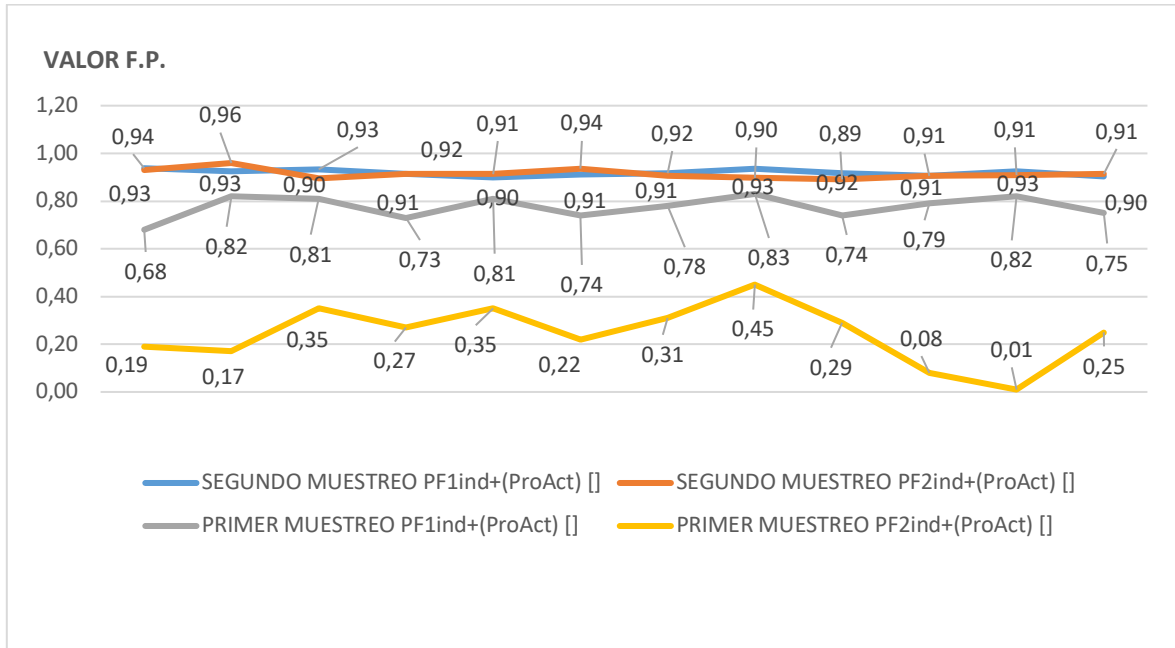
0.041	0.044	0.085	0.092	0.045	0.047	0.91	0.94
0.154	0.116	0.27	0.296	0.168	0.128	0.92	0.91
0.157	0.105	0.262	0.285	0.168	0.117	0.93	0.90
0.152	0.131	0.283	0.313	0.166	0.147	0.92	0.89
0.299	0.163	0.462	0.51	0.33	0.18	0.91	0.91
0.199	0.25	0.449	0.49	0.215	0.275	0.93	0.91
0.148	0.181	0.329	0.362	0.164	0.198	0.90	0.91

Fuente. Elaborado por los autores

La Tabla 7 muestra la corrección del factor de potencia obtenido, donde el valor para la línea uno es de 0.92 y para la línea dos es de 0.91, ambos dentro de los valores recomendados según la regulación ARCERNNR 001/2021. Para lograr una mejor eficiencia energética, fue necesario reemplazar la iluminación, cambiando de lámparas de sodio a luminarias LED. Además, se implementaron reguladores de voltaje para artefactos que utilizan motores, tales como licuadora, refrigerador y lavadora. Estas medidas permitieron mejorar las cargas inductivas y obtener un mejor factor de potencia, lo cual contribuye a una mayor eficiencia energética.

La mejora en la eficiencia energética ayuda a reducir el consumo eléctrico dentro de la vivienda, resultando en un menor costo mensual en las facturas. Esto beneficia económicamente al propietario, permitiendo recuperar los gastos invertidos en la reestructuración del sistema eléctrico. Según la normativa, los valores permitidos de consumo son hasta 110 kWh para empresas de la Sierra y hasta 130 kWh para empresas de la Costa, Amazonía e Insular. (Arce, 2022).

Figura 3
Factor de potencia

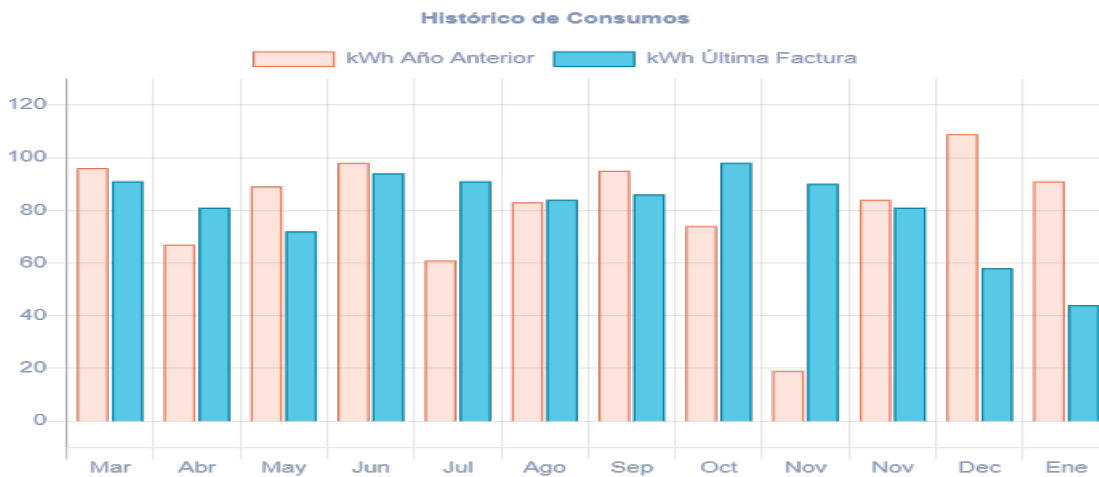


Fuente. Elaborado por los autores

En la figura 3, se puede analizar de manera detallada los cambios efectuados en el factor de potencia, comparando los valores iniciales con los actuales. La línea ploma indica la curvatura de la línea uno, la cual mostraba un consumo fuera de los rangos permitidos y establecidos. Este desajuste era perjudicial en diversos aspectos, como el desperdicio de energía y el mal funcionamiento de los electrodomésticos, que sufrían daños en sus componentes debido a este comportamiento inadecuado.

En la fase dos, la línea amarilla muestra un déficit notable en su rango inicial. Sin embargo, después de los cambios realizados, las líneas azules y tomate indican un factor de potencia aceptable y equilibrado. Estos ajustes garantizan un mejor aprovechamiento de la energía y mitigan los problemas anteriormente observados, asegurando una mayor eficiencia y reducción de los costos asociados al consumo eléctrico y al mantenimiento de los electrodomésticos.

Figura 4
Consumo eléctrico



Fuente. Elaborado por los autores

Dentro del historial obtenido a través del sistema de la empresa distribuidora, se observan diversos cambios en el consumo eléctrico medido en kWh, comparando el periodo de marzo del año anterior con marzo del año actual. Estos datos reflejan la eficiencia energética lograda. La diferencia de consumo es más notable en los meses de diciembre y enero, cuando se realizaron los cambios pertinentes, así como en otros meses como junio y agosto de años anteriores, específicamente del periodo 2022.

Estos registros indican que la problemática del desperdicio de energía ha estado presente durante varios meses, e incluso años atrás, afectando negativamente la calidad de vida. Este desperdicio se traduce en mayores gastos de lo normal, desproporcionados respecto a las actividades realizadas en la residencia. Además, el mal uso de la energía causaba daños en electrodomésticos, generando gastos inesperados adicionales para reparaciones y reemplazos.

Discusión

El presente análisis, enfocado en la eficiencia energética y el beneficio económico, demuestra claramente que el cumplimiento de los parámetros y normativas al realizar instalaciones eléctricas resulta beneficioso. Este cumplimiento no solo representa un ahorro económico al maximizar el aprovechamiento del consumo energético, sino que también garantiza una vida útil prolongada de los artefactos, mejorando la calidad de vida y asegurando la seguridad en el consumo de energía eléctrica.

Además de ser un ejemplo a seguir, este enfoque se proyecta hacia una mejor utilización de los recursos naturales, incluyendo la luz solar, promoviendo prácticas sostenibles y eficientes en el uso de la energía.

Conclusiones

La ejecución del análisis efectuado fue de gran ayuda ya que, al cumplir con las normativas de eficiencia energética vigentes en Ecuador, se logró identificar los problemas más comunes que presentaba la residencia. Esto permitió mejorar la calidad de vida de los habitantes y convertir la vivienda en un lugar con energía renovable y un mejor ambiente.

El sistema eléctrico implementado se diseñó acorde a las necesidades específicas del número de personas que habitan la residencia. Este enfoque fue crucial al realizar los respectivos circuitos eléctricos, asegurando que cumplieran con las necesidades básicas diarias.

Durante este proceso, se dio cumplimiento a las normativas vigentes de construcción eléctrica residencial en Ecuador, con el fin de garantizar el buen funcionamiento tanto de los elementos eléctricos como de los electrodomésticos. Esto asegura la seguridad y protección tanto para las personas como para los artefactos. Los cambios efectuados se reflejan claramente, proporcionando un aspecto y ambiente mejorados en la vivienda y, por ende, mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

La reestructuración del sistema eléctrico residencial, representa una inversión inicial significativa, misma que mediante los ahorros tanto energéticos como económicos sean a corto o largo plazo conjuntamente con los múltiples beneficios adicionales mejorando la calidad de vida y disminución a la contaminación ambiental, implementando tecnologías modernas, hacen que esta inversión sea altamente recomendable y sirva de ejemplo para la mancomunidad.

Referencias bibliográficas

- Abad Oerdoñez, D. A. (2019). *Análisis de escenarios de eficiencia energética en el sector residencial del canton Cuenca utilizando el modelo LEAP*. Cuenca.
- Álvarez Burbano, J. A. (2022). *Diagnóstico de la situación de eficiencia energética en el Ecuador y propuestas de nuevas medidas e indicadores*. Quito: Quito : EPN, 2022.
- ArceRNNR. (2015). *Ley Organica del Servicio Publico de Energia Electrica*. Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/02/6.-LOSPEE-Registro-Oficial-Suplemento-418-16-enero-2015.pdf>

- ArceRNNR. (2020). *Estadística*. Obtenido de <https://www.controlrecursosyenergia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2021/09/Estadistica-2020-baja.pdf>
- ArceRNNR. (2022). *Proyección de los montos de los subsidios otorgados por el estado ecuatoriano*. Quito.
- Cable, T. (10 de marzo de 2020). *Tipos de Cables Eléctricos y sus Características*. Obtenido de <https://www.topcable.com/blog-electric-cable/tipos-de-cables-electricos/>
- CELEC. (2018). *Plan maestro de electricidad*. Obtenido de <https://www.celec.gob.ec/transelectric/plan-maestro-de-electricidad-2012-2022/>
- Censos, I. N. (2021). *ecuador en cifras*. Obtenido de <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/entradas-y-salidas-internacionales/>
- EP, C. (18 de septiembre de 2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética*. Obtenido de https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2017/09/1.PLAN_NACIONAL_EFICIENCIA_ENERGETICAmaq ueta-final-digital.pdf
- IEA, A. I. (2020). *Ahorro de energia*. Obtenido de <https://www.iea.org/>
- IEA, I. E. (2019). *Múltiples beneficios de la eficiencia energética*. Obtenido de <https://www.iea.org/reports/multiple-benefits-of-energy-efficiency/household-savings>
- INDUNOVA. (2020). *Termografía ¿cuales son las causas que originan puntos calientes en un sistema electrico?*. Obtenido de <https://indunova.es/termografia-cuales-son-las-causas-que-originan-puntos-calientes-en-un-sistema-electrico/>
- Minas, M. d. (2018). *Plan Maestro de Electricidad*. Obtenido de recursos y energias: <https://www.recursosyenergia.gob.ec/plan-maestro-de-electricidad/>
- Vivienda, M. d. (16 de marzo de 2018). *NEC-SB: Instalaciones Electricas*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SB-Instalaciones-Electricas.pdf>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

N/A

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.

