



ANÁLISIS DE IMPACTO DEL DESBALANCE Y ACOMODO DE CARGAS PARA
USUARIOS DE LA EMPRESA CENTRALES ELÉCTRICAS DEL NORTE DE SANTANDER

PEDRO JOSÉ DUARTE CHINCHILLA

Autor

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero eléctrico

PH.D. ANTONIO GAN ACOSTA

Director

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
PAMPLONA, NORTE DE SANTANDER

2021

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a DIOS por todas sus bendiciones, agradezco a todas las personas que me han apoyado a lo largo de mi proceso de formación, principalmente a mis padres José y Fabiola, quienes han sido mi gran apoyo incondicional en todas las etapas de crecimiento personal, a mis hermanos Angie y Andrés quienes estuvieron presentes impulsándome a ser mejor cada día, por ello, hacen parte de mi sueño de ser ingeniero que hoy se hace realidad, debo manifestar que este triunfo no es solo personal sino de toda mi familia que de una u otra forma siempre estuvieron presentes para apoyarme, de igual manera reconozco que la responsabilidad y la constancia para llevar a cabo el estudio fueron herramientas de vital importancia para poder cumplir con todas las metas y objetivos planeados en este proyecto.

Manifiesto gratitud infinita por el apoyo recibido durante mi periodo de formación académica a mi alma mater la Universidad de Pamplona y a todos los docentes del programa de ingeniería eléctrica, es transcendental agradecer la enseñanza de aquellos que desempeñaron su función como educadores permitiendo fortalecer mis conocimientos, habilidades y destrezas, cabe resaltar al docente Antonio Gan quien me ayudó en el proceso investigativo y coopero durante el desarrollo del estudio como asesor, por su valiosa colaboración y enseñanza para llevar a cabo el estudio y cumplir satisfactoriamente con los propósitos planteados.

Contenido

Introducción	vii
Capítulo 1. Marco legal: Desbalance y acomodo de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica	1
1.1 Justificación	1
1.1.1 Antecedentes	1
1.2 Problema	7
1.3 Objetivos	7
1.3.1 Objetivo General	7
1.3.2 Objetivos específicos	8
1.4 Acotaciones	8
1.5 Contexto	8
1.6 Legislación	12
Capítulo 2. Marco Teórico: Estudio del arte sobre desbalance y acomodo de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica	15
2.1 Calidad de energía eléctrica	16
2.2 El desbalance de voltaje en instalaciones eléctricas	16
2.3 Un sistema eléctrico de potencia	17
2.4 Concepto de potencia y energía	18
2.5 Teoría General “Unificadora” de la potencia eléctrica	19
2.6 Potencia activa	21
2.7 Potencia reactiva	21
2.8 Potencia aparente	22
2.9 Factor Potencia	22
2.10 Demanda de energía eléctrica	23
2.11 Demanda promedio	24
2.12 Demanda máxima diversificada	24
2.13 Características de los sistemas eléctricos	27
2.14 Afectaciones a la demanda y consumo de energía eléctrica	29

2.15 Pérdidas técnicas en líneas aéreas	30
2.16 Cargas eléctricas	32
2.17 Desbalance de cargas	35
Capítulo 3. Marco Metodológico: Impacto del desbalance y acomodo de cargas para usuarios CENS.....	36
3.1 Campo de Información	36
3.2 Técnicas de recolección de información	42
3.3 Definición de los circuitos bajo estudio para el acomodo de carga.....	44
3.4 Impactos técnicos, económicos y ambientales de desbalance por acomodo de carga de los circuitos definidos.....	49
3.4.1 Impacto técnico.....	49
3.4.2 Impacto económico.....	64
3.4.3 Impacto ambiental	72
3.5 Sugerencias para el consumo inteligente de energía de los usuarios objeto de estudio.	75
3.5.1 Uso racional y eficiente del consumo de energía en condiciones de calor	76
3.5.2 Recomendaciones generales de eficiencia energética en el hogar.....	80
3.6 Resultados.....	84
3.7 Conclusiones	85
3.8 Recomendaciones.....	87
3.9 Referencias	89

Lista de tablas

Tabla 1. Comparación entre unidades de vivienda residenciales (CNPV) y el conteo de conexiones de energía (maestro de facturación) desagregado por estrato.	10
Tabla 2. Clases de carga según tarifa	25
Tabla 3. Descripción de variables	26
Tabla 4. Constantes de la curva de demanda máxima diversificada.....	31
Tabla 5. Principales causas de las descargas Efecto Corona.....	32
Tabla 6. Transformadores trifásicos a analizar	38
Tabla 7. Transformadores monofásicos a analizar.....	40
Tabla 8. Circuitos monofásicos desbalanceados	45
Tabla 9. Circuitos trifásicos desbalanceados.....	46
Tabla 10. Clases de carga según tarifa	52
Tabla 11. Identificación la clase de carga	53
Tabla 12. Modelado de demandas de potencia circuito 1T00378.....	56
Tabla 13. Modelado de demandas de potencia circuito 1T06969.....	58
Tabla 14. Modelado de demandas de potencia circuito 1T07033.....	60
Tabla 15. Tarifas de energía para mercado regulado CENS noviembre de 2021.	64
Tabla 16. Precio de bolsa nacional y contratos regulados de generación de energía eléctrica en Colombia.	66
Tabla 17. Comparación de precios en ajuste de contratos regulados de demanda real e ideal del circuito 1T00378.	67
Tabla 18. Comparación de precios en ajuste de contratos regulados de demanda real e ideal del circuito 1T06969.	68
Tabla 19. Comparación de precios en ajuste de contratos regulados de demanda real e ideal del circuito 1T07033	70
Tabla 20. Recomendaciones de ahorro de energía en los hogares	81

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación geográfica del departamento de Norte de Santander	9
Figura 2. Área de impacto CENS Grupo EPM	11
Figura 3. Esquema de un sistema de suministro eléctrico.....	28
Figura 4. Descripción de tarifas por el suministro de energía a nivel nacional 2020	35
Figura 5. Analizar de red instalado en transformador	42
Figura 6. Analizador de redes eléctricas portátil.....	43
Figura 7. Porcentaje de desbalance en circuitos monofásicos estudiados.....	45
Figura 8. Porcentaje de desbalance en circuitos trifásicos estudiados	46
Figura 9. Modelo de curvas de demanda por para usuarios de estratos 1 y 2.	47
Figura 10. Curvas de demanda para usuarios de estrato 3.	47
Figura 11. Curvas de demanda para usuarios de estrato 4.	48
Figura 12. Curvas de demanda para usuarios de estrato 5	48
Figura 13. Comportamiento de la demanda de energía de SIN por tipo de día.	50
Figura 14. Curva de demanda promedio en Colombia.....	51
Figura 15. Precio de consumo de energía en la bolsa nacional.	51
Figura 16. Curvas de demanda real y demanda ideal del circuito 1T00378.	54
Figura 17. Curvas de demanda real y demanda ideal del circuito 1T06969.	57
Figura 18. Curvas de demanda real y demanda ideal del circuito 1T07033.	59
Figura 19. Precio transacciones (\$/kWh) - Resolución horaria	65
Figura 20. Residuos de aceite mineral dieléctrico por fallas en transformador de baja tensión. ...	74
Figura 21. Temperatura mínima y máxima promedio de Cúcuta por meses	77
Figura 22. Temperatura promedio por hora Cúcuta.....	78
Figura 23. Etiqueta de eficiencia energética	83

Introducción

El presente trabajo pretende mitigar el impacto técnico, económico y ambiental que genera el desbalance y acomodo de cargas en ciertos circuitos de las redes de distribución de los usuarios de la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander pertenecientes al área metropolitana de la ciudad de Cúcuta, con el fin de realizar una identificación de las causas y afectaciones que produce el desbalance, se realizará un análisis del régimen de trabajo de los circuitos, se pretende de igual forma analizar los parámetros de calidad tales como pérdidas de energía y caídas de tensión en los circuitos, que pueden ser intolerables tanto para los usuarios como para la empresa.

Este estudio planea mejorar a través de un estudio de análisis técnicos, económicos y ambientales el acomodo de carga de los circuitos para mitigar su capacidad para suministrar de manera eficiente la demanda de carga de los usuarios ante las nuevas condiciones de operación del sistema, se pretende evaluar la capacidad de demanda de carga de los circuitos, estudiar el impacto económico que pueda solucionar una reducción de pérdidas técnicas de operación, evaluar el impacto ambiental y social que se genera al plantear mejoras en el acomodo de cargas, éste análisis se realiza por medio de la aplicación de conocimientos básicos adquiridos en áreas formación tales como sistemas de distribución, suministro eléctrico y calidad de la energía, con éste análisis de impacto y acomodo de carga se pretende lograr un ahorro sustancial por el concepto de pérdidas de operación de las redes de distribución estudiadas que permita mejorar la prestación del servicio de energía eléctrica de la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander.

Capítulo 1. Desbalance y acomodo de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica

1.1 Justificación

Debido a que en el estudio de los sistemas de distribución siempre se pretende obtener una alta confiabilidad y seguridad en el sistema, es de vital importancia analizar los desbalances y acomodo de carga entre los circuitos de las líneas de distribución, este acomodo radica en organizar o redistribuir las cargas de manera que el sistema esté más equilibrado, con el objetivo de reducir la influencia de las corrientes de secuencia negativa que provocan caídas de tensión de secuencia negativa en la tensión de alimentación, por medio de este análisis se pretende realizar una serie de propuestas de mejoras en la operación de los circuitos de las redes de distribución a estudiar de la empresa CENS S.A. E.S.P., además se pretende alcanzar con este análisis la obtención de información clara de factores técnicos, económicos y ambientales a la hora de realizar un estudio de desbalance y acomodo de carga, aportar soluciones pertinentes y recomendaciones necesarias, para facilitar y garantizar un buen servicio de energía eléctrica para los usuarios de la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander.

1.1.1 Antecedentes

En el análisis de los antecedentes históricos del desbalance de cargas eléctricas se pudieron encontrar diversos estudios adelantados desde el año 2007 a 2020, en los cuales se hace referencia al efecto producido por el desbalance de cargas eléctricas en los sistemas de distribución de la energía, la estimación de demanda en sistemas eléctricos de baja tensión en condiciones de

desbalance, la optimización del balance de las cargas en los sistemas de distribución de energía, el análisis y distribución de las cargas derivadas de las subestaciones de energía, métodos computacionales para el análisis y optimización de sistemas de suministros eléctrico en presencia de desbalance y armónicos, el comportamiento de los voltajes de corrientes debido a desbalances de líneas en un sistema eléctrico de potencia con cargas no lineales, además del desbalance de la tensión y sus efectos en la distribución a nivel industrial.

(Zapata & Gómez C, 2006) En su estudio de casos sobre la valoración de confiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica, explica que la variación en las tasas de fallas de los puntos de carga y los índices SAIFI Y ASIFI, dependen del grado de desbalance existente en el sistema. Por ello, resalta la importancia que los estudios realizados sean de confiabilidad y se incorporen las características reales de los sistemas que se están analizando. Es decir, que el modelo del sistema sea realmente el que se pretende capturar. Además, explica que, si dicha valoración se realiza sobre un sistema de distribución desbalanceado suponiendo que no lo está, el resultado obtenido será engañoso ya se muestra una situación relativamente mejor de lo que es afectando el análisis.

Por otro lado, (Borges, González, & León, 2007) en su análisis de la estimación de demandas en sistemas eléctricos de baja tensión bajo condiciones de desbalance, establecen que dichos desbalances a nivel industrial, suele darse como resultado de la presencia de una fuente de tensiones simétricas en la entrada, de esta forma alimentan un sistema trifásico. Es decir, que la circulación de corrientes de diferente valor por fase, provoca las caídas desiguales de tensión en las fases y por ende, en los receptores. Igualmente, coinciden en que los efectos de las asimetrías en los sistemas eléctricos pueden ocasionar aumento de las pérdidas de potencia y energía eléctrica,

umentando el costo de la misma; incrementar el calentamiento de los elementos de la red eléctrica de manera innecesaria; aumento de las caídas de tensión causados por las corrientes no activas de asimetría; la limitación de la capacidad de los componentes del sistemas; el incremento de posibilidad de averías y encarecimiento de los costos de inversión, así como los costos externos de la generación eléctrica.

En cuanto a la medición de las cargas, (Brea, 2009) formula un modelo para la optimización del balance de cargas en los sistemas de distribución de energía eléctrica. Este retoma el modelo matemático alterno propuesto por Zhu et al. (1998), que permite la identificación óptima de los sistemas de distribución eléctrica trifásica. En el transcurso del estudio de casos realizados se pudo determinar que este modelo matemático es adecuado en virtud de las propiedades de convexidad, permitiendo identificar al menos un óptimo local, solucionando el problema globalmente.

En su estudio sobre el planteamiento de nuevos métodos computacionales para el análisis y optimización de sistemas de suministro eléctrico en presencia de desbalance y armónicos, (Pérez A, 2015) establece como la reconfiguración de las redes eléctricas de distribución busca obtener ventajas técnicas y económicas, explicando que los circuitos de distribución primaria cubanos se encuentran desbalanceados por el empleo de ramales bifásicos y monofásicos, además de uso de bancos asimétricos de transformadores o transformadores monofásicos de distribución. En este estudio experimental, se desarrolló un Algoritmo Cíclico con el uso de un Algoritmo Genético Simple (SGA) modificado que permitió un ahorro anual de 306 MWh en solo dos circuitos, minimizando las pérdidas de potencia del sistema. Igualmente, establece que se obtienen grandes beneficios económicos mediante la mejoría del factor de potencia en los consumidores y que la instalación de bancos capacitores, permite reducir perdidas de energía y caídas de tensión.

Posteriormente, desarrolló una formulación nueva optimizada con el algoritmo NSGA-II, que, aplicada a sistemas eléctricos de distribución industrial y del sector terciario, permite cumplir las restricciones de calidad de la energía y de estrés máximo de los capacitores.

(González V, Huerta V, & Sellschopp, 2016) En su estudio experimental del comportamiento de las armónicas de voltaje y corrientes afectado por los desbalances en las líneas de un sistema eléctrico con cargas no lineales, establecen que los índices de distorsión armónica de los voltajes y corriente trifásicos presentan una tendencia creciente a medida que el desbalance aumenta. Igualmente, describe como en condiciones de desbalance surgen armónicas que anteriormente no existían y no se respeta la relación entre la secuencia-armónica. Los resultados obtenidos reflejaron que los índices trifásicos de distorsión totales del voltaje y la corriente se elevan de manera considerable, al verse sometidos a diferentes grados de desbalances por el abatimiento de la alta tensión.

(López B & Ventura G, 2019) En su tesis titulada “Estudio del desbalance de tensiones y sus efectores en la calidad del producto técnico para sistemas de distribución a nivel industrial” determinan que en los casos que se operan equipos trifásicos bajo condiciones de tensiones desbalanceadas, generalmente funcionan inadecuadamente siendo propensos a daños y la reducción de su vida útil. Por otro lado, explican que un nivel excesivamente alto de desequilibrio en las tensiones puede impactar seriamente en la conexión de las redes de motores de inducción, afectando significativamente el estator y rotor. Esto a su vez, influyen en que los sistemas de protección operen, ocasionando pérdidas en la producción y eficiencia de las zonas industriales. Además, explica que este experimento no se ha estudiado solo con motores, sino que además se ha llevado a cabo en transformadores, conductores eléctricos y cargas monofásicas, comprendiendo

que surgen reacciones en cadena que, al ocasionar un desbalance en las tensiones, deriva en la generación de armónicos y flicker que dañan equipos frecuentemente.

(Bedoya, Arango L, & Carvajal Q, 2017) realizan un aporte significativo al estudiar la distribución de cargas afectadas por el desbalance, llevan a cabo el análisis de un caso de estudio donde se encuentra un sistema de distribución compuesto por cuatro plantas hidráulicas de 720 kW con salida trifásica equilibrada, dos plantas solares fotovoltaicas de 300 kW con salida trifásica equilibrada y una de 100 kW monofásica. Aunque los desequilibrios han sido imperceptibles, se definieron valores mayores con el fin visualizar el comportamiento de las tensiones y corrientes en el sistema. Al llevar a cabo el experimento, se percibió que el agregar una mayor cantidad de cargas ocasiona un nivel menor de desbalances. Además, se comprendió que, aunque las cargas se encuentren altamente desequilibradas, se pueden presentar desbalances muy bajos en los tramos de la red, destacando que entre más lejos se encuentren dichas cargas menor será el desbalance presentado. Sin embargo, la existencia de cargas monofásicas o desequilibradas ocasiona la afectación significativa de la calidad en la potencia de los puntos cercanos, desbalance y aumento de costos por penalizaciones, aumento de seguridad en el sistema y fallos de equipos.

Finalmente, (Carrillo O, 2020) en su tesis de grado titulada “Impacto del desbalance de cargas en líneas de distribución de energía eléctrica, explica que los circuitos eléctricos de baja tensión son diseñados en base a una proyección de la demanda de carga y dado que esta es definida por las necesidades de los usuarios, son susceptibles a los desbalances de corrientes entre fases. Este tipo de circuito se diferencia del industrial, ya que en este no se pueden definir o conocer las cargas reales a instalar. Carrillo establece que en su caso de estudio el factor directamente relacionado con las pérdidas económicas es la poca atención, registros y estudios sobre desbalance

por parte de los operadores de red. En este caso, el impacto económico resultado del desbalance en líneas de baja tensión es de aproximadamente cinco mil millones de pesos anuales. Mientras que el impacto ambiental derivado de las fallas en transformadores ocasionadas por las variaciones eléctricas y que hacen uso de aceite dieléctrico mineral, aumentan significativamente la contaminación a largo plazo generando gases tóxicos que afectan la salud humana, así como la fauna y flora del ambiente en que actúan.

Vera, Arsenio “Propuesta para acomodo de carga en los circuitos de distribución primaria de la ciudad de Holguín”, (2014). Este documento presentado como una tesis muestra información detallada del análisis de un acomodo de carga para 22 circuitos de la ciudad de Holguín en Cuba, donde su objetivo principal es reestructurar los circuitos para mejorar la capacidad y suministrar de manera eficiente la carga ante las nuevas condiciones de operación, con dicho estudio se logra el balance entre las cargas de los circuitos estudiados además se incrementó la disponibilidad en transferencia de carga entre circuitos y finalmente logra disminuir en 1.8 % las pérdidas técnicas, con lo que se recuperan 4613.8 MWh/año.

Rodríguez, Elena “Análisis del desequilibrio en redes de distribución de baja tensión”, (2015). Este documento que se presenta como una tesis analiza el desequilibrio sufrido en una red de baja tensión de distribución, se estudia de manera generalizada y teórica los desequilibrios que puede llegar a sufrir una red de distribución, analizan también el continuo cambio de cargas presentes en la red, partiendo de una red real y estudiando cuatro escenarios distintos: El primer escenario, suponiendo un caso ideal trifásico, en el segundo escenario, realizan un reparto equilibrado entre fases, intentando que todas las fases tengan la misma potencia demandada, en el tercer escenario, dan un paso más en el desequilibrio de la red suponiendo que todas las cargas que

se encuentren alimentadas desde la fase C, se pasan a la fase A y un cuarto escenario, es el caso más desequilibrado posible, donde todas las cargas que se alimentasen desde la fase B pasan a la fase A, quedando todas las cargas monofásicas existentes en la red alimentadas desde A. Luego de analizar los distintos escenarios por medio del software ETAP modelan todo el análisis de la red para analizar los diferentes desbalances planteados, luego proceden a realizar una serie de propuestas de mejoras en la operación de redes de distribución estudiadas.

1.2 Problema

El desbalance de cargas en un sistema de distribución de energía eléctrica, constituye ser uno de los tantos problemas que suele afectar negativamente la confiabilidad y calidad de las redes de distribución de energía, estos problemas afectan directamente a los usuarios y a la empresa, ya que el desbalance de cargas causa incremento en las pérdidas de energía en ciertas líneas de las redes de distribución, caídas de tensión que pueden afectar directamente a los usuarios, afectaciones del factor de potencia del sistema, problemas y daños en equipos de operación como los transformadores de las redes de distribución debido al calentamiento, entre otras, todas estas problemáticas se ven reflejadas también en un impacto económico negativo tanto para los usuarios como para la empresa prestadora del servicio.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Analizar impacto de desbalance por acomodo de cargas para usuarios de la empresa Centrales Eléctricas del Norte de Santander.

1.3.2 Objetivos específicos

Definir los circuitos bajo estudio para el acomodo de carga.

Determinar los impactos técnicos, económicos y ambientales de desbalance por acomodo de carga de los circuitos definidos.

Definir Sugerencias para el consumo inteligente de energía de los usuarios objeto de estudio.

1.4 Acotaciones

En el análisis se pretende obtener un modelo o aproximación del comportamiento de la demanda de energía de los diferentes usuarios de los circuitos objeto de estudio, se seleccionan 8 circuitos que presentan mayor desbalance de los 96 circuitos totales de la muestra, además se pretende obtener un modelo del comportamiento de la demanda de energía por estratificación socio-económica lo cual se limita a la clasificación de la clase de carga según su estratificación socio-económica según lo estipula CENS de los diferentes usuarios de los circuitos desbalanceados analizados, cabe aclarar que los usuarios que serán objeto de estudio se limita a las redes de distribución de energía eléctrica de baja tensión, para la realización de este proyecto no se tiene en cuenta las pérdidas no técnicas de los sistemas de distribución.

1.5 Contexto

La empresa Centrales Eléctricas de Norte de Santander (CENS), actúa en el área de

influencia de los municipios de Norte de Santander, Sur del Cesar y Sur de Bolívar. Debido a que el foco de estudio de este proyecto se basa en el departamento Norte de Santander, es necesaria una descripción técnica del área de interés y posteriormente, de la empresa prestadora de servicios del servicio público con el fin de comprender el contexto en que se desarrollará el análisis.

El departamento de Norte de Santander, se encuentra ubicado en la zona nororiental del país, limitando con el vecino país de Venezuela en zona de frontera. Localizado geográficamente entre los $06^{\circ}56'42''$ y $09^{\circ}19'01''$ de latitud norte y los $72^{\circ}01'13''$ y $73^{\circ}38'25''$ de longitud oeste. Cuenta con una extensión de 22.130 Km^2 , que equivalen a 1,91% del territorio nacional. Igualmente, forma parte de la región andina que, junto con los departamentos de Antioquia, Boyacá, Caldas, Cundinamarca, Huila, Santander, Quindío, Risaralda y Tolima, constituyen el área más densamente poblada (70%) del país. (Gobernación de Norte de Santander, 2020)



Figura 1. Ubicación geográfica del departamento de Norte de Santander
Fuente: Tomado de Información General Norte de Santander

Según el último Censo Nacional de Población y Vivienda, la población proyectada para el año 2020 fue de 1.620.318 habitantes, reflejando un incremento de 14% con respecto a las anteriores proyecciones. Ubicándose como el noveno departamento con mayor densidad

poblacional de Colombia con 74,32 habitantes/Km² y representando un 3,6% de la población total del país. En cuanto al suministro de electricidad denota un crecimiento del 78% de la generación, captación y distribución de energía en el departamento. (Gobernación de Norte de Santander, 2019)

En Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) en su informe para el año 2018, establece que 95,7% de las viviendas del departamento Norte de Santander cuenta con la cobertura del servicio de energía eléctrica. Por otro lado, se informa que de 389.715 viviendas ocupadas y 95.079 presentaron otro tipo de ocupación, 366.437 declararon pertenecer a un estrato socioeconómico (1, 2, 3, 4, 5, 6). Por otro lado, el Maestro de Facturación de Energía reportó 407.240 conexiones residenciales existentes. Dichas conexiones se encuentran discriminadas en la tabla a continuación, según el estrato socioeconómico. (DANE, 2019).

Tabla 1. Comparación entre unidades de vivienda residenciales (CNPV) y el conteo de conexiones de energía (maestro de facturación) desagregado por estrato.

	Unidades de vivienda CNPV con energía eléctrica	Maestro de facturación energía eléctrica SSPD	Diferencia
Estrato 1	39,55	30,09	9,5
Estrato 2	42,68	47,64	-5,0
Estrato 3	12,50	15,33	-2,8
Estrato 4	4,40	5,73	-1,3
Estrato 5	0,74	1,06	-0,3
Estrato 6	0,13	0,15	0,0
	100	100	

Fuente: Tomado de Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 (DANE, 2019)

Los datos presentados anteriormente, reflejan la alta demanda del servicio de energía eléctrica que se debe suplir en el departamento. Sin embargo, la única entidad encargada del suministro de este es Centrales Eléctricas de Norte de Santander, perteneciente al grupo EPM.

Esta empresa, fundada como sociedad anónima el 16 de octubre de 1952 y convertida en filial del grupo EPM desde el 19 de marzo de 2009, es la encargada de prestar el suministro de energía eléctrica a 48 municipios pertenecientes a los departamentos anteriormente mencionados. Además de suministrar energía, sirve como operador del sistema de alumbrado público y servicios conexos especializados. (CENS Grupo EPM, 2020)

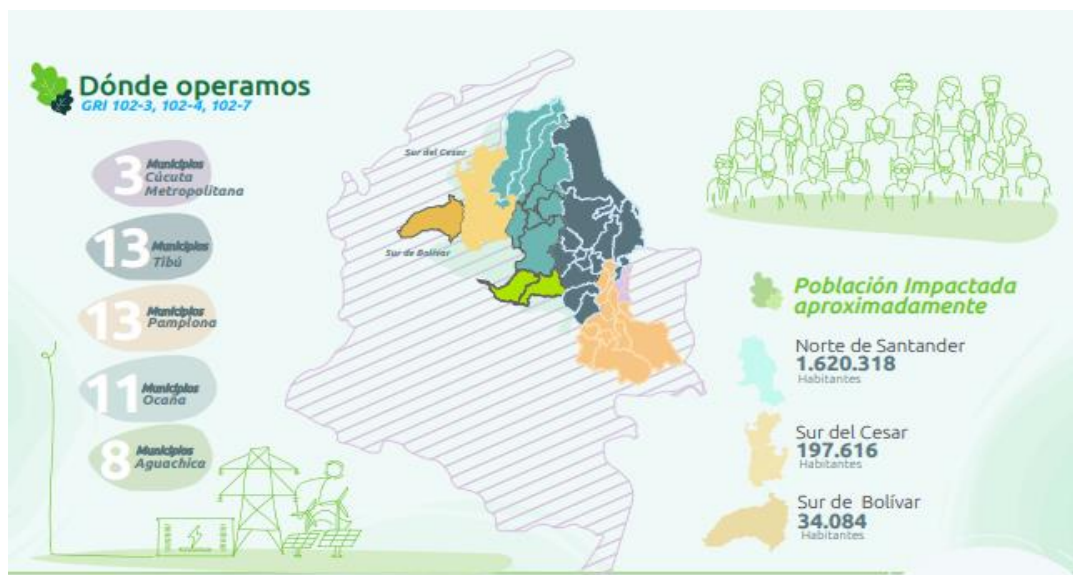


Figura 2. Área de impacto CENS Grupo EPM
Fuente: Tomado de Informe de Sostenibilidad (CENS Grupo EPM, 2020)

En la gráfica anterior, se encuentra la distribución del suministro de energía entre las principales cabeceras municipales que son Cúcuta y su área metropolitana, Tibú, Pamplona y Ocaña, en los cuales Centrales Eléctricas de Norte de Santander favorece a un total de 1.620.318 habitantes.

Actualmente, la empresa cuenta con una capacidad total de distribución de 1.028,78 MVA, 26.959,49 Km de redes de transmisión y distribución, 21.860 transformadores de distribución,

1.275,75 MVA en potencia de transformación instaladas; todo repartido en 41 subestaciones de energía y 62 transformadores de potencia en el área de impacto. Igualmente, cuenta con un total de 555.672 clientes atendidos, de los cuales 476.625 (99,82%) pertenecen al área urbana y 79.047 (72,47%) al área rural, ofreciendo una cobertura del 94,51% del total de viviendas existentes en los 48 municipios, mediante la compra de 1.512 GWh y venta de 1.277 GWh durante el año 2020. (CENS Grupo EPM, 2020).

1.6 Legislación

Esta sección comprende el marco normativo vigente referente a la prestación y suministro del servicio de energía eléctrica por el cual se deben regir cada una de las instituciones públicas o privadas que se dediquen a esta actividad dentro del territorio colombiano.

Como referencia inicial, se cuenta con la **Norma Técnica Colombiana- NTC 2050**, que establece el Código Eléctrico Colombiano establecido por ICONTEC y que, en su primera actualización, establece las disposiciones consideradas necesarias para salvaguardar la práctica seguridad de actividades que estén relacionadas con actividades eléctricas. Además, contiene el reglamento técnico referente a las instalaciones empleadas para la utilización de la energía eléctrica, incluidas aquellas utilizadas por las prestadoras del servicio. (MinEnergía, 2020)

Por otro lado, el **Decreto 2820 de 2010** por medio del cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993, en la cual se especifican las disposiciones que determinan el otorgamiento de licencias ambientales y que en Artículo 8 de la misma ley, establece la cesión o negación de licencias ambientales para proyectos, obras o actividades relacionadas con la construcción y

operación de centrales generadoras de energía eléctrica con capacidad instalada igual o superior a 100 MW. Igualmente, define la otorgación o negación de manera privativa para proyectos o actividades relacionados con el tendido de líneas eléctricas de transmisión del Sistema Nacional de Interconexión Eléctrica, compuesto por los diferentes módulos de conexión o subestaciones de energía, proyectado a operar en tensiones iguales o superiores a 220 kV. (Presidencia de la República, 2010)

La **Resolución 5018 de 2019**, por medio de la cual se expiden los lineamientos de seguridad y salud en el trabajo para actividades relacionadas con los procesos de generación de energía a través de fuentes convencionales y no convencionales de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica, dirigido a las empresas prestadoras o empleadoras del Sistema Eléctrico Colombiano. Qué en su Artículo 5° indica los métodos definidos para el trabajo sin tensión eléctrica, en el Artículo 6° métodos de trabajo con tensión eléctrica, el Artículo 7° indica el perfil ocupacional que deben cumplir las personas habilitadas para llevar a cabo dichas tareas y en el Artículo 8° se establecen las medidas de prevención en trabajos con tensión. (MinTrabajo, 2019)

La **Ley 142 de 1994**, por medio de la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios y se dictan otras disposiciones. Qué en su Artículo 7°, numeral 1 especifica la competencia de los departamentos para permitir la ejecución de actividades de transmisión de energía eléctrica, por parte de empresas oficiales, mixtas o privadas dentro de su territorio. (MinEnergía, 1994)

La **Ley 143 de 1994**, en la que se establece el régimen para la generación, interconexión,

transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica dentro del territorio colombiano, se conceden autorizaciones y se dictan otras disposiciones reglamentarias en materia energética. Que en su Artículo 5°, explica que dichas actividades tienen como fin la satisfacción de necesidades colectivas permanentemente y en Artículo 6°, define la eficiencia, calidad, continuidad, adaptabilidad, neutralidad, solidaridad y equidad como principios fundamentales para las actividades relacionadas con la prestación del dicho servicio. (MinEnergía, 1994)

Capítulo 2. Marco Teórico: Estudio del arte sobre desbalance y acomodo de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica

Este aspecto se basa en la agrupación de una serie de conceptos que por su relevancia en el área de estudio, deben ser definidos y comprendidos con el objeto de llegar a una apreciación más amplia de la información contenida en el desarrollo de este proyecto, algunos de esos términos se encuentran descritos a continuación.

Para comprender los demás términos relacionados con esta investigación, es necesario tener una concepción básica de lo que significa **electricidad**. Según Córdova (2009, p. 4), citado por (Abreu, Ochoa, & Zabaleta, 2015);

Es una forma invisible de energía que se produce como resultado de la existencia de unas diminutas partículas llamadas “electrones libres” en los átomos de ciertos materiales o sustancias. Estas partículas, al desplazarse a través de la materia, constituyen lo que denominamos corriente eléctrica (Abreu, Ochoa, & Zabaleta, 2015).

Por otro lado, la **corriente** para Donate (2011, p. 13) citado por (Abreu, Ochoa, & Zabaleta, 2015) es “la cantidad de carga que circula por un conductor en la unidad de tiempo”.

En ese sentido, se comprende a la **corriente eléctrica** como el fenómeno físico causado por el desplazamiento de una carga (ion o electrón). Cuya intensidad hace referencia a la cantidad de carga que transita por un conductor en una unidad de tiempo. (BBEMG Dictionary, 2021)

2.1 Calidad de energía eléctrica.

Es un indicador que define el nivel de adecuación de la instalación para soportar y garantizar un buen funcionamiento en base a sus cargas. Dicha calidad se puede ver afectada por una perturbación a la tensión, corriente o frecuencia de las redes eléctricas. (Grupo Energos, 2020)

Según la norma IEEE 1159 de 1995, “El termino se refiere a una amplia variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente eléctricas, en un tiempo dado y en una ubicación dada en el sistema de potencia” (IECOR, 2020).

La norma IEC 61000-4-30 lo define como “las características de la electricidad en un punto dado de la red eléctrica, evaluadas en relación con un conjunto de parámetros técnicos de referencia” (IECOR, 2020).

2.2 El desbalance de voltaje en instalaciones eléctricas

Es un indicador por medio del cual se identifican las diferencias entre tensiones de un sistema trifásico. Este desbalance es reflejado en porcentajes, siendo su valor ideal 0% pero también aceptable en un 3%. Generalmente, afecta a los equipos trifásicos que poseen motor, incrementando su temperatura y reduciendo su ciclo de vida útil, por lo que son susceptibles a otro tipo de fallas. Además, suele afectar a equipos monofásicos debido a las fluctuaciones frecuentes de voltaje. (GenTeca, 2020)

Por otro lado, una **carga balanceada (equilibrada)** se define como aquella en que las impedancias de las fases son iguales en magnitud y fase. En este caso, la conexión neutra puede ser eliminada sin que el circuito se vea afectado de ninguna manera. (L. Ferro, 2016)

2.3 Un sistema eléctrico de potencia

Se entiende como “el conjunto de centrales generadoras, líneas de transmisión y sistemas de distribución que operan como un todo. En operación normal, todas las máquinas del sistema operan en paralelo y la frecuencia en todo el SEP es constante” (Juárez C, 1995).

Por otro lado, en un sistema eléctrico se pueden presentar fluctuaciones de energía denominadas **armónicos**, que según (Carrasquilla B, 2017) quien cita a la Universidad Politécnica Salesiana;

Son tensiones o corrientes sinusoidales que poseen frecuencias que son múltiplos enteros de la frecuencia a la cual el sistema de alimentación está diseñado para operar. La forma de onda distorsionada puede ser descompuesta en una suma de la señal de frecuencia fundamental y sus múltiplos. La distorsión armónica se origina debido a las características no lineales de los equipos y cargas de un sistema de potencia (Carrasquilla B, 2017).

Además, explica que normalmente el sistema eléctrico de los aparatos y equipo, así como sus clientes operan a 60 Hertz, con una tensión y corriente senoidal. Sin embargo, se pueden presente

fluctuaciones eléctricas que modifiquen la frecuencia a un valor diferente de 50 o 60 Hz, generando las distorsiones periódicas de la onda de tensión y/o corrientes estables en un sistema eléctrico, que recibe el nombre de armónico.

Otro término que es clave comprender, es la **potencia eléctrica** que según (Andrés B, 2020), es entendida como;

Un parámetro que indica la cantidad de energía eléctrica transferida de una fuente generadora a un elemento consumidor por unidad de tiempo. En nuestro hogar determina la cantidad de aparatos eléctricos que podemos conectar a la red de manera simultánea. Calcular la potencia eléctrica que se necesita para un hogar o una empresa permitirá saber qué cantidad de energía es necesario contratar, lo que contribuirá a reducir la factura de la luz, o cuántos dispositivos pueden estar conectados a la vez (Andrés B, 2020).

Igualmente, explica que dicha potencia puede ser calculada teniendo en cuenta la carga o tensión eléctrica, que presenta una diferencia de potencia durante un tiempo limitado, que recibe el nombre de intensidad. El resultado de esta operación, se da en Vatios y se obtiene del producto entre la tensión (V) y la intensidad (A).

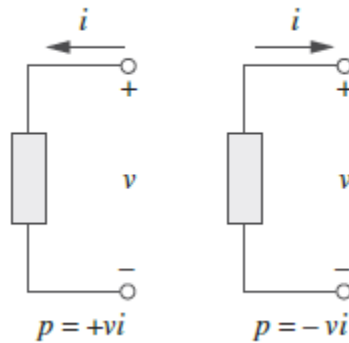
2.4 Concepto de potencia y energía.

Para comprender la relación existente entre potencia-energía y tensión-corriente, es

necesario recordar los fundamentos físicos en los que se explica la potencia como la variación en Watts entre el tiempo de entrega y/o absorción de energía, la cual se explica mediante la siguiente expresión;

$$p \triangleq \frac{dw}{dt} \quad (1)$$

En la cual la potencia es representada por p , la energía al darse en Watts es simbolizada por w , y t es el tiempo de las variaciones dadas en segundos. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que la dirección de la corriente y la polaridad de las tensiones ejercen un rol fundamental para valorar la potencia. Por tal motivo, se debe prestar atención a la relación entre corriente y tensión expresada en la siguiente figura, donde la polaridad de la tensión y la dirección de la corriente debe ser ajustada para que potencia sea positiva, lo que es conocido como convención pasiva de signos.



2.5 Teoría General “Unificadora” de la potencia eléctrica.

En la mayoría de los estudios universitarios, se ha procedido a incluir de manera generalizada los circuitos monofásicos y trifásicos dentro de la teoría de corriente alterna propuesta por Steinmetz en 1897. Sin embargo, en esta teoría las potencias definidas cuantifican los

fenómenos energéticos existentes, sin representar flujos de energía del mismo tipo. La transferencia de energía se ve alterada por las ineficiencias del sistema cuando estas proceden de los generadores de energía, por lo que se obtienen variaciones residuales. De esta forma, las potencias eléctricas se describen en base a las siguientes expresiones:

$$S = \sqrt{\left(V_{1da}^2 + V_{1dr}^2 + V_{li}^2 + V_{lh}^2 + \sum_{n \neq 1}^{\infty} V_n^2 \right) \left(I_{1da}^2 + I_{1dr}^2 + I_{li}^2 + I_{lh}^2 + \sum_{m \neq 1}^{\infty} I_m^2 \right)} \quad (2)$$

$$P_E = 3 \cdot V_{1da} \cdot I_{1da} \quad (3)$$

$$Q = 3 \sqrt{V_{1dr}^2 I_{1dr}^2 + \sum_{\substack{j \neq k \\ j, k = a, r}} V_{1dj}^2 I_{1dk}^2} \quad (4)$$

$$A = 3 \sqrt{\sum_{x=t, h} V_{1x}^2 I_{1x}^2 + \sum_{\substack{y \neq z \\ y, z = d, h}} V_{1y}^2 I_{1z}^2} \quad (5)$$

$$D = 3 \sqrt{\sum_{\substack{n=m \\ n \neq 1}}^{\infty} V_n^2 \cdot I_m^2 + \sum_{\substack{n \neq m}}^{\infty} V_n^2 \cdot I_m^2} \quad (6)$$

Estas potencias a su vez se caracterizan por su representación en flujos de energía que le dan significado físico a las expresiones anteriormente formuladas, además son conservativas y pueden ser simplificadas para adecuarse a sistemas trifásicos.

Para comprender el estudio de la potencia en sistemas monofásicos, se debe definir cada uno de los conceptos asociados a la estructura de potencia eléctrica desde los fenómenos que ocurren en la transferencia de energía hasta la formulación de las expresiones que los cuantifica. Al llegar a los sistemas trifásicos, se extienden las analogías hasta encontrar potencias activas, reactivas y aparentes (Donderis, et al., 1970).

2.6 Potencia activa.

Para determinar la potencia activa en redes monofásicas se debe promediar la potencia instantánea de todos los medidores, como lo muestra la siguiente ecuación:

$$P_a = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} v_n i_n \quad (7)$$

Esta energía se activa similarmente, salvo que no se divide entre el número de muestras de tensión y corriente (N). Por otro lado, la corriente de alguno de ellos se anula cuando se implementa dicha conexión en sistemas trifásicos de tres hilos, lo que permite estimar la potencia del sistema al conectar los dos medidores monofásicos con las tensiones correspondientes (González, et al., 2009).

2.7 Potencia reactiva.

Dicho cálculo puede ser realizado de tres formas distintas, ya que en ocasiones se procede a retrasar la señal de la tensión con respecto a la frecuencia emitida por el sistema a razón de $\pi/2$ radianes y luego se evalúa el promedio del producto resultante con la señal existente en la corriente. Para otros casos, dicho desplazamiento se realiza integrando la señal de tensión o en base a las potencias aparente y activa.

La forma más empleada para analizar la potencia reactiva es la siguiente:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (8)$$

Ya que esta permite estimarla teniendo en cuenta los elementos inductivos y/o capacitivos, sino también los efectos armónicos del sistema eléctrico. Pero en cada uno de los casos la totalidad de la potencia reactiva en redes trifásicas se obtiene de la suma de cada una de las fases (González, et al., 2009).

2.8 Potencia aparente.

Durante la estimación de la potencia aparente, se procede a multiplicar los valores eficaces de tensión y corriente relativos a cada fase. La potencia total trifásica se calcula al hacer una sumatoria de las potencias aparentes de las fases estudiadas. Sin embargo, en varios casos esta se obtiene basados en las estimaciones realizadas de las energías activa y reactiva.

$$S_a = V_{RMSa} I_{RMSa} \quad (9)$$

La potencia aparente recibe ese nombre porque esta debería ser producto de la relación entre el voltaje y la corriente, sin embargo, esta es medida en Volt-Amperes (VA) para poder diferenciarla de la real medida en Watts (González, et al., 2009).

2.9 Factor Potencia.

Este hace referencia al coseno de la diferencia existente entre la tensión y la corriente de la

fase, o el coseno del ángulo de la impedancia de carga. Para determinar dicho factor, existen dos ecuaciones distintas, que varían entre la suma de las potencias estimadas por fase o el producto resultante de la potencia activa y aparente. En el primer caso, se procede a sumar las potencias de tres sistemáticas monofásicos con el fin de determinar las potencias de uno trifásico, aunque se tomen como un sistema unificado. Mientras que en para su cálculo a partir de los valores de las potencias aparente y activa, se emplea la siguiente ecuación;

$$FP = \cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{Q}{P} \right) \right) \quad (10)$$

En este caso la suma de las potencias por cada fase no será igual siempre a la potencia total del sistema, ya que se presentan efectos armónicos en las tensión y corrientes, además de las cargas desbalanceadas que se han conectado a la red trifásica. Igualmente, se puede medir la potencia y energía en sistemas trifásicos solo cuando las condiciones del mismo son ideales, es decir, al presentarse una tensión de suministro simétrica, inexistencia de armónicos en el sistema y una carga balanceada (González, et al., 2009).

2.10 Demanda de energía eléctrica.

La demanda se concibe como la intensidad de corriente o potencia de un sistema eléctrico durante un periodo de tiempo determinado, en que este absorbe carga para funcionar. Este periodo de tiempo recibe el nombre de intervalo de demanda y es una variable necesaria para determinar el valor de la misma (Espina, 2017).

2.11 Demanda promedio.

Esta se define como el promedio de la potencia que ha sido demanda durante un periodo de tiempo equivalente a un día, mes o año y puede ser obtenida al conocerse el consumo total del periodo junto con el tiempo total en horas del mismo (Luna, 2011).

$$DEMANDA PROMEDIO = \frac{CONSUMO EN EL PERÍODO}{NÚMERO DE HORAS DEL PERIODO} \quad (11)$$

En caso tal, de que solo se cuente con la carga diaria se puede hacer la sumatoria de las lecturas por periodos y dividir las entre la cantidad de lecturas totales realizadas, tal como lo explica la siguiente ecuación.

$$DEMANDA PROMEDIO = \frac{VALORES DE LAS LECTURAS TOMADAS}{NÚMERO DE LECTURAS} \quad (12)$$

2.12 Demanda máxima diversificada.

La diversidad entre las demandas puede ser definida como la relación existente entre la suma de varias demandas máximas y la demanda máxima de total de cargas, refiriéndose este a dos o más cargas que pertenecen a un sistema de distribución. Si se tiene conocimiento de las demandas individuales de un grupo de cargas y el factor de diversidad, se podrá determinar la cantidad de energía demandada por un grupo de usuarios que adquieren su servicio de un transformador (Luna, 2011).

Por su parte, la empresa CENS adopta las consideraciones y metodología empleada para estimar la demanda diversificada expuestas por el modelo de transformación lineal con función

inversa en su *Norma Técnica: Curvas de demanda diversificada (RA8-009)* de EPM, el cual se describe por medio de la siguiente ecuación;

$$Y = B_0 + \frac{B_1}{X} \quad (13)$$

Sin embargo, para poder aplicar este modelo se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

El dominio de la variable independiente de X debe ser $\neq 0$ o > 0 .

El valor del término B_0 debe ser mayor o igual a 0.

Los valores empleados por X para determinar Y, deben ser número enteros positivos.

En consecuencia, se procede a clasificar los tipos de carga según las tarifas CENS, en la que se permite calcular las capacidades de los transformadores, acometidas o alimentados de energía para edificaciones de índole multifamiliar o para un grupo determinado de viviendas como se describe a continuación.

Tabla 2. *Clases de carga según tarifa*

Clase de carga según tarifa UNAL	Tarifa CENS
GR1	Residencial E1-E2
GR2	Residencial E3-E4
GR3	Residencial E5-E6
CO	Comercial
MO	Para todos aquellos transformadores de distribución que no tienen claramente definida una clasificación de consumo (MEZCLA)

Nota: Tomado de parámetros de diseño CENS (2020)

En tal caso, para hacer el cálculo de la ecuación se debe interpretar la variable independiente X, como el número de instalaciones que tiene un transformador de distribución y la variable

dependiente Y como el valor de la potencia activa.

En ese sentido, para poder determinar la demanda máxima diversificada en kVa, que se tomará como base para la selección del transformador y las redes de distribución, se hace uso de las ecuaciones relacionadas en la siguiente tabla.

Tabla 3. *Descripción de variables*

Clase de carga	DD por usuario
GR1	$Y = 0,226 + \frac{8,377}{X}$
GR2	$Y = 0,221 + \frac{14,672}{X}$
GR3	$Y = 0,843 + \frac{3,547}{X}$

Nota: Tomado de parámetros de diseño CENS (2020)

El calculo de la demanda máxima diversificada será:

$$DD_{Total} = X * Y \quad (14)$$

Donde:

- X=Número de instalaciones que tendrá el transformador de distribución.
- Y=Potencia activa.

2.13 Características de los sistemas eléctricos

Un sistema eléctrico es el conjunto de elementos que constituyen un circuito a una tensión nominal definida. Dichos sistemas se clasifican según el nivel de tensión, utilizando el siguiente orden:

Baja tensión, sistemas de hasta 1.000 V

Media tensión, sistemas de hasta 1000V, aunque en ocasiones se consideran valores de hasta 57,5 kV diferenciado por la tecnología empleada entre la primera y la segunda.

Alta tensión, sistemas entre 57,5 kV y 230 kV.

Muy alta tensión, superan los 230 kV.

La denominación de alta tensión, también puede variar según la normatividad aplicada por el país. En siguiente figura se demuestra la composición de un sistema de suministros eléctricos convencional.

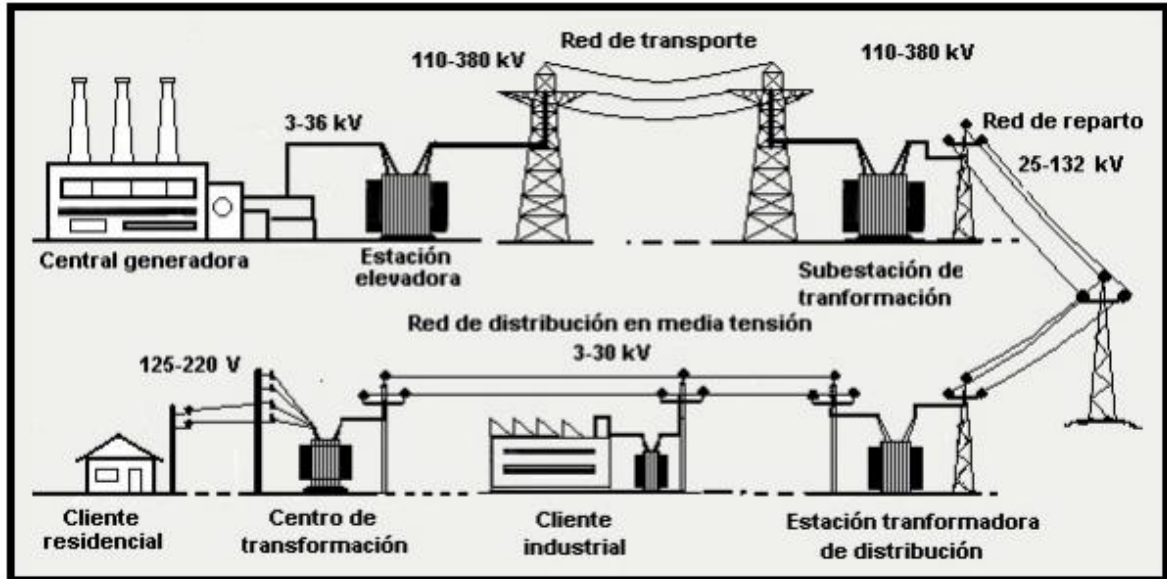


Figura 3. Esquema de un sistema de suministro eléctrico

Fuente: Tomado de Propuesta para acomodo de carga en los circuitos de distribución primaria en la ciudad de Holguín (Vera P, 2014)

Generación de energía. Este proceso se da a través de alternadores con tensiones entre 3 y kV de corriente alterna, encontradas en centrales generadoras. Las centrales generadoras a su vez, pueden ser de tipo hidráulico, térmico, nuclear u otro sistema menos empleado como la energía solar, eólica, de biomasa, entre otros.

Subestación de transmisión. Empleada para elevar la tensión desde el valor de generación hasta el necesario para ser transportador a grandes distancias, que son normalmente emplazadas en las cercanías de la central o dentro de la misma. Por otro lado, la red de transmisión, funciona como transporte de potencias mediante la interconexión de redes mallas.

Red de subtransmisión. Son redes que parte de la subestación de transmisión y reparte la energía mediante anillos que rodean los centros de consumo, para finalmente llegar a subestaciones de distribución.

Subestaciones de distribución primaria. Funcionan como transformadoras de tensión desde el nivel entregado por la red de subtransmisión hasta la distribución primaria de media tensión, encontradas normalmente en los anillos de forma intercalada.

Red de distribución primaria. Se caracterizan por tener un alto porcentaje mallado y cubrir la mayor parte del centro de consumo destinado a la distribución de energía a la población, centros industriales y demás usuarios. Además, unen a las subestaciones con los transformadores de distribución secundarios.

Transformadores de distribución secundaria. Sirven para reducción la tensión existente en la red de distribución primaria al nivel requerido por la de distribución secundaria de baja tensión, siendo emplazados en todas las áreas de consumo mediante los centros de gravedad.

Red de distribución secundaria. Se originan en los transformadores de distribución secundaria con el fin de alimentar distintos receptores, siendo el último enlace con el cliente o usuario final de energía eléctrica.

2.14 Afectaciones a la demanda y consumo de energía eléctrica

El servicio constante ofrecido a todos los consumidores, es normalmente el objetivo de los despachos. Sin embargo, frecuentemente se presentan afectaciones a las redes de energía ocasionadas según (Vera P, 2014) por;

Déficit de potencia activa y/o reactiva.

Limitación de transferencia en transmisión.

Avería en líneas locales y/o externas de transmisión.

Avería en líneas de subtransmisión y/o distribución primaria.

División del sistema y/o bajo voltaje local.

Fallas o sobrecarga existente en subestaciones radiales o radiales de transmisión.

Programación de vías libres en transmisión o subtransmisión externa y/o local.

2.15 Pérdidas técnicas en líneas aéreas

Se presentan debido a condiciones relacionadas con la instalación, el manejo y transporte de la energía eléctrica. Igualmente, las pérdidas de energía se dan a causa de una serie de fenómenos provocados por los parámetros establecidos en redes y subestaciones, materiales y equipos empleados, y por condiciones ambientales que influyen en la operación como la contaminación o la lluvia. Algunos de esos fenómenos son el efecto Corona, Joule, proximidad y el de las corrientes de circulación. Además las pérdidas se incrementan por la circulación de potencia reactiva en redes, líneas y susceptancias a tierra, que de manera conjunta afectan progresivamente las redes eléctricas.

Por otro lado, la magnitud de las pérdidas técnicas se da en base a la carga suministrada, dado que la magnitud es variable y la cantidad de energía suministrada en ciertas horas es superior, los resultados de pérdidas varían frecuentemente. Generalmente, los causantes de las pérdidas aéreas son explicados por el efecto Joule, la reactancia inductiva y el factor de potencia inductiva, que ocasionan la circulación de potencia reactiva por las redes energía y derivando en pérdidas. (Vera P, 2014)

Pérdidas por efecto Joule. Presentado cuando un conductor isotérmico es atravesado por una corriente eléctrica, generando calor. Se explica como la transferencia de energía al conductor ocasionado por el rozamiento. La ley de Joule explica “El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un conductor es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y el tiempo que dura la corriente” (Taco C, 2012).

$$Q=I^2 RT \text{ (Joules o kWh) (15)}$$

Por lo tanto, el desbalance de pérdidas por efecto Joule en un esquema trifásico será:

$$\sum Q = Q_a + Q_b + Q_c \text{ (16)}$$

Dichas pérdidas generalmente son observables debido al calentamiento de cables y/o bobinados de los transformadores de distribución.

Existe una pérdida de potencia ocasionada por la imantación del núcleo del transformador, conocida como pérdida por histéresis, debido a que esta solo sirve para magnetizarlo. Por otro lado, las corrientes Foucault generan pérdidas, producto de las corrientes inducidas que circulan por el conductor, existente en los equipos eléctricos con campo magnético variable. (Taco C, 2012)

Pérdidas por efecto Corona. Entendido como la descarga parcial ocurrida en un gas, presentada al momento de exceder el campo eléctrico de ruptura. Se denomina parcial, porque esta descarga se limita a una zona del dieléctrico sin perder totalmente sus propiedades aisladoras. Las descargas del efecto Corona genera luz, ruidos, ruidos auditivos, interferencias de radio y televisión, así como vibraciones mecánicas, liberación de ozono y productos químicos. Generalmente, las descargas se ven afectadas en intensidad y frecuencia por las condiciones ambientales, estado y/o campo eléctrico de la superficie del conductor, especificados en la siguiente tabla.

Tabla 4. Principales causas de las descargas Efecto Corona

Causa	Descripción
Campo eléctrico superficial del conductor	Dado en función de la configuración geométrica y parámetros de la línea; como la tensión, cantidad y diámetro de conductores por cada fase.
Condiciones medioambientales	Causado por los niveles de precipitación y humedad, densidad relativa del aire, temperatura y viento.
Estado superficial del conductor	Antigüedad de conductores, polución aérea e intensidad de la lluvia. Se ve suavizada con el paso del tiempo, generándose una capa de óxidos y grasas que evitan la acumulación de agua, mientras que para los conductores nuevos es más probable que se presente dicho efecto.

Fuente: Adaptado de Manifestaciones del efecto corona en líneas de transmisión de corriente alterna (Ortiz N, 1986)

Las pérdidas anuales de energía causadas por este efecto son relativamente escasos, sin embargo, se vuelven importantes durante épocas de mal tiempo y periodos perturbados como la lluvia pueden ocasionar que este fenómeno alcance ciento de Kw/Km, influyendo negativamente en el proceso de entrega de la energía. Otro causante de las descargas Corona es el viento iónico, este se da cuando se aplica gas a un campo eléctrico, ocasionando que los electrones libres se desplacen en sentido contrario al campo. De esta forma se da una colisión elástica con las moléculas y aumenta la velocidad de los electrones, sin embargo, este fenómeno tiene una intensidad relativamente baja. Por otro lado, la humedad originada por el vapor de agua a niveles altos, produce una supresión de avalanchas en los electrones y crea una mayor concentración de este vapor en el conductor, creando más puntos corona e incrementando significativamente las pérdidas. (Buenaventura R & Velásquez L, 2011)

2.16 Cargas eléctricas

Se conciben como el punto de partida para resolver un sinnúmero de problemas en las redes

de distribución. La determinación de cargas, es la primera fase del proyecto y ejecución de las redes de distribución de energía eléctrica, ya que de ella depende la selección y comprobación de los elementos empleados por calentamiento e índices económicos; el cálculo de las variaciones de voltajes durante la instalación eléctrica; la determinación de caídas de tensión; la selección de dispositivos óptimos para la compensación de potencia reactiva y el establecimiento de los sistemas de protección de las redes.

Los principales efectos económicos relacionados con la determinación acertada de cargas se relacionan con el capital invertido, los gastos anuales totales y específicos, gastos de los conductores y las pérdidas de energía en el sistema. Un aspecto clave, es que si se establece la existencia de una carga mayor de la que en realidad es, se incurre a una inversión mayor y pérdidas mayores de energía, debido al sobredimensionamiento del sistema. Pero si por el contrario, la carga es inferior a la que realmente existe, las pérdidas excesivas de energía y la reducción de la vida útil de los equipos será el resultado de una sobrecarga en el sistema.

Por otro lado, las cargas pueden clasificarse según la interrupción del servicio, por el tipo de usuario que adquiere la energía, por las tarifas aplicadas a los servicios, entre otros factores determinantes.

Clasificación de cargas según tipo de usuarios. Los usuarios pueden ser residenciales, caracterizados por tener conexiones de baja tensión, poca potencia y monofásicas. También puede ser comerciales, con conexiones trifásicas y potencias medianas; o cargas para conexiones industriales, caracterizadas por ser de alta tensión y conducir voltajes de entre 85 hasta 230 kW.

Clasificación de cargas según las tarifas aplicadas. Esta categoría se basa pensando en otorgar el mayor beneficio al usuario. Generalmente, se manejan tarifas diferentes según el país con el fin de favorecer a cada tipo de usuario anteriormente mencionado. Algunas tarifas son ofrecidas a bajos costos para promover el desarrollo económico o favorecer a los sectores más desprotegidos en la población. En primer lugar, se encuentra la energía destinada al riego de cultivos y de uso doméstico, denominadas de bajo consumo y tarifa. Sin embargo, estas tienden a alentar el uso ineficiente de dicho recurso. En algunas ocasiones, la eficiencia para bombas de riego solo llega a un 50% o 60%, debido a que los usuarios preferían consumir energía de manera excesiva que reparar o realizar mantenimiento a las bombas, ocasionando pérdidas considerables al proveedor del servicio. Por tal motivo, para las compañías dedicadas la distribución de energía eléctrica resulta más conveniente vender energía de alta tensión, resultando tener costos más bajos por la simplificación de las redes. (Juárez C, 1995)

Algunas de las tarifas definidas por las empresas prestadoras de servicios de energía eléctrica a nivel nacional para el año 2020, se encuentran referenciados en la siguiente gráfica, en la que se describen los valores promedios de tarifa (\$kW/h) y en cuya medición participaron 15 empresas de diferentes regiones del país.

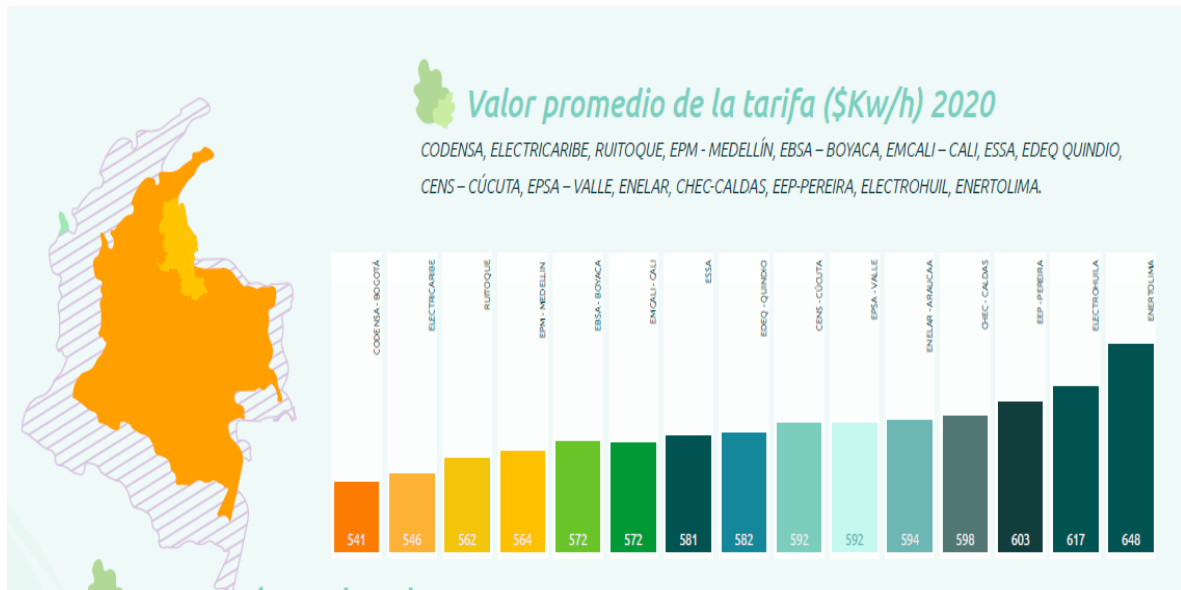


Figura 4. Descripción de tarifas por el suministro de energía a nivel nacional 2020

Fuente: Tomado de Informe de Sostenibilidad (CENS Grupo EPM, 2020)

2.17 Desbalance de cargas

Presentada en redes trifásicas, hace referencia al fenómeno ocurrido en los sistemas eléctricos cuando la tensión y ángulos entre fases son desiguales. La principal causa del desbalance de cargas en un sistema trifásico son las cargas monofásicas influyendo, debido a una distribución heterogénea principalmente de los consumidores de líneas de baja tensión monofásica. (Carrillo O, 2020)

Bajo lo contemplado en la norma internacional IEC 61000-4-30 de 2008 o la IEEE Std 1159 de 2009, este fenómeno puede ser cuantificado gracias a la relación existente entre la magnitud del componente con secuencia negativa y el de secuencia positiva, denominada *Factor de desbalance en Corriente (F_{din})*. Por otro lado, las cargas de un sistema de distribución son propensos a provocar la desigualdad de las corrientes de las diferentes fases, lo que provoca que estas se aparten de su

valor nominal, reflejado en un desbalance de tensiones. (Pascual, Maccarone, Albanese, & et. al, 2016)

El primer estudio realizado sobre sistemas de tensión, fue adelantado por Fortescue en 1918, cuando en su artículo “Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Network”, propuso descomponer un sistema trifásico desbalanceado en tres subsistemas de tensiones, cada uno compuesto de elementos de igual magnitud. Estos se denominan sistema de secuencia cero, uno (positiva) y dos (negativa). Fortescue determinó que el sistema de secuencia cero no produce ningún campo, por lo cual no es relevante en la conversión de potencia del motor. Se destaca el hecho de que los sistemas de secuencia uno y dos, presentan simetría rotacional de 120 grados, lo que permite obtener los resultados calculando una sola componente del sistema mientras se desplaza el otro en 120 o 240 grados. (López B & Ventura G, 2019)

Capítulo 3. Marco Metodológico: Impacto del desbalance y acomodo de cargas para usuarios CENS

3.1 Campo de Información

Tamayo (2003) citado de (Carrillo O, 2020) define la población como “la totalidad del fenómeno a estudiar en donde las unidades de población poseen una característica común, la cual se estudia y da origen a datos de información”. Estableciendo que según (Carrillo O, 2020) en su tesis de grado titulada “Impacto del desbalance de cargas en líneas de distribución de energía eléctrica” especifica que la cantidad total de circuitos de baja tensión para el área metropolitana de Cúcuta es de 6.149, se tomará este dato como población general.

Por otro lado, el muestreo probabilístico aplicado será por aleatorio simple explicado por (Otzen & Manterola, 2017) de la siguiente manera;

Garantiza que todos los individuos que componen la población blanco tienen la misma oportunidad de ser incluidos en la muestra. Esto significa que la probabilidad de selección de un sujeto a estudio “x” es independiente de la probabilidad que tienen el resto de los sujetos que integran forman parte de la población blanco. (Otzen & Manterola, 2017).

De esta forma, queda claro que cantidad e identificación de circuitos a evaluar será aleatoria, sin una selección previa y destacando que se definirán por grupos de circuitos en diferentes estaciones o subestaciones del área metropolitana.

En ese sentido, se seleccionarán 96 circuitos de baja tensión derivados del análisis de quejas y reclamos realizados por los usuarios en redes sociales entre los años 2019 y 2020, definiendo aquellos sectores donde mayor cantidad de fallas se presentaron. Con la ayuda de analizadores de red portátiles como los anteriormente enseñados, se harán la lectura de datos para describir y registrar la información de los parámetros de cada circuito. Entre los circuitos que serán tenidos en cuenta hay 74 circuitos trifásicos tetrafilar y 22 circuitos monofásicos trifilar, actualmente ubicados en los municipios de Los Patios, Cúcuta y Villa del Rosario pertenecientes a cargas residenciales y mixtas, excluyen los circuitos industriales de la investigación. Cada uno de los equipos analizados se encuentra referenciado en la tabla a continuación.

Tabla 5. Transformadores trifásicos a analizar

Código	Marca del transformador	KVA_
1T00002	SIEMENS	112,5
1T00096	MAGNETRON	225
1T00239	SIEMENS	150
1T00481	ABB	75
1T00627	STROMBERG	75
1T00629	MAGNETRON	45
1T00726	MAGNETRON	112,5
1T00957	ABB	45
1T01102	RYMEL	75
1T01180	CODELECTRICOS	75
1T01273	MAGNETRON	75
1T01289	TPL	112,5
1T01337	SIEMENS	45
1T01338	CDM	45
1T01339	RYMEL	30
1T01404	MAGNETRON	225
1T01405	MAGNETRON	75
1T01429	TPL	75
1T01477	MAGNETRON	112,5
1T01498	MAGNETRON	112,5
1T01568	CDM	225
1T01644	MAGNETRON	45
1T01646	CDM	75
1T01658	MAGNETRON	150

1T01825	SIEMENS	112,5
1T01826	WESTON	75
1T01827	FBM	30
1T01904	SIEMENS	100
1T01917	TPL	225
1T01922	SIEMENS	75
1T01952	MAGNETRON	150
1T01995	CDM	150
1T02028	SIEMENS	150
1T02044	MAGNETRON	150
1T02840	CDM	112,5
1T02841	MAGNETRON	112,5
1T02849	MAGNETRON	112,5
1T02852	MAGNETRON	112,5
1T02988	MAGNETRON	75
1T03009	MAGNETRON	75
1T03050	ABB	75
1T03064	CDM	112,5
1T03096	MAGNETRON	112,5
1T03138	TPL	225
1T03151	CODELECTRICOS	112,5
1T06921	SIEMENS	150
1T06947	MAGNETRON	112,5
1T06966	CDM	112,5
1T06969	TPL	112,5
1T07027	MAGNETRON	112,5
1T07033	RYMEL	150

1T07037	SIEMENS	112,5
1T07141	SIEMENS	45
1T07460	SIEMENS	75
1T07897	TPL	75
1T08024	MAGNETRON	112,5
1T08052	MAGNETRON	75
1T08924	SIEMENS	75
1T09249	TECNOELECTRO	112,5
1T09557	MAGNETRON	75
1T09593	SIEMENS	30
1T09895	MAGNETRON	112,5
1T09946	CDM	75
1T10374	CDM	112,5
1T10649	MAGNETRON	75
1T10753	MAGNETRON	75
1T10968	MAGNETRON	45
1T10985	MAGNETRON	45
1T10996	MAGNETRON	300
1T11069	SIEMENS	150
1T11385	CDM	75
1T11526	ABB	75
1T11953	MAGNETRON	75
1T12134	MAGNETRON	75

Tabla 6. Transformadores monofásicos a analizar

Código.	Marca del transformador	KVA_
1T00036	TPL	75
1T00378	RYMEL	75
1T00455	SIEMENS	75
1T00585	ABB	75
1T00595	SIEMENS	75
1T00628	MAGNETRON	75
1T00630	MAGNETRON	75
1T00631	SIEMENS	75
1T00632	ANDINA	75
1T00677	CDM	75
1T01000	SIEMENS	37,5
1T01022	SIEMENS-ABB	100
1T01055	MAGNETRON	50
1T02142	RYMEL	75
1T02269	MAGNETRON	75
1T02932	MAGNETRON	50
1T07131	SIEMENS	75
1T07208	ABB	50
1T07614	TPL	50
1T08004	SIEMENS	50
1T08008	MAGNETRON	75
1T09741	MAGNETRON	75

En las dos tablas anteriores, se observan la caracterización total de la población de circuitos que serán estudiados en la ejecución de la investigación. Con el objeto de poner el contexto al

interesado la siguiente figura muestra el proceso de medición necesario para obtener los datos en circuitos de distribución de baja tensión.



Figura 5. Analizar de red instalado en transformador

Fuente: Tomado de Impacto del desbalance de cargas en líneas de distribución de energía eléctrica (Carrillo O, 2020).

En la gráfica anterior, se puede observar como el equipo de medición empleado por la empresa CENS Grupo EPM se instala por el lado izquierdo de los transformadores protegiéndolo de la lluvia y el vapor de agua que posiblemente se presente, con ayuda de una caja dieléctrica e ignífuga.

3.2 Técnicas de recolección de información

Se tomará en cuenta la información recolectada, durante los procesos de medición de redes trifásicas en los cuales se apoyó el operador con un analizador de red como lo muestra las siguientes gráficas.



Figura 6. Analizador de redes eléctricas portátil

Fuente: Tomado de Catalogo Análisis de Calidad de Energía (METREL, 2021)

En la gráfica anterior se puede observar un analizador de redes eléctricas para energía trifásica portátil, cuyo uso permite al operador detectar anomalías en los armónicos, fasores y formas de onda durante las instalaciones. Su diseño permite grabación a largo plazo, facilitando la solución de problemas de calidad de energía en sistemas de distribución trifásica y monofásica. (METREL, 2021).

Es necesario realizar una serie de mediciones de control para posteriormente, analizar e interpretar los datos adquiridos en el desarrollo del trabajo de campo. Una medición es explicada por (Luque R, 2018) citado por (Carrillo O, 2020) como “la función de medir y corregir un proceso para evaluar metas o planes propuestos”.

Posterior a esa recolección de información se hará una valoración crítica que permita identificar las áreas donde mayor cantidad de desbalances en circuitos se presentan, para proceder a la identificación de los impactos sociales, económicos producto de dicho fenómeno.

3.3 Definición de los circuitos bajo estudio para el acomodo de carga.

Para el desarrollo del primer objetivo se tomó en cuenta información suministrada por la empresa CENS en base a las variaciones de las demandas de energía durante distintas horas del día y clasificándola por estrato socio-económico de los grupos de interés. En ese sentido, se parte del estudio realizado por Carrillo (2020), quien explica el operador de red hace seguimiento al desbalance de cargas en circuitos de media tensión y las pérdidas técnicas asociadas a tal problemática. Es decir, que el resultado de esta investigación permite evaluar las pérdidas causadas en el desbalance de los circuitos, que derivan en la generación fallas del servicio de energía de manera frecuente. Pero también, se le brinda atención a aquellos circuitos que han tenido que ser intervenidos de emergencia debido a fugas de aceite en los transformadores y que han sido objeto de estudio por parte de los operarios en base a los desequilibrios de corrientes evidenciados en sus fases.

En el proceso de muestreo se tuvo presente el 36% del total de circuitos que hacen parte de las redes eléctricas del área metropolitana de la ciudad de Cúcuta que presentan un desbalance de cargas superior al 10% por encima o debajo de las corrientes circulantes en sus fases. En cuánto a la afectación para circuitos de baja tensión en redes de distribución de energía, este problema no se presenta ya que su fluctuación depende de la demanda final de los usuarios del servicio. Al hacer la revisión bibliográfica, se aprecia la observación de Carvajal (2001) cuando comenta la mayor cantidad de casos de desbalance de circuitos eléctricos se presentan en conexiones de tipo monofásico en redes de distribución.

Como paso siguiente se seleccionaron cuatro (4) circuitos monofásicos y trifásicos que se

encontraban desbalanceados para su estudio, los cuales se encontraban en los barrios Doña Nidia, Chapinero, Los Alpes, Las Palmeras, La Victoria, San Miguel, Escobal y Paramo de Villa del Rosario. Además a partir, del Plan de Ordenamiento Territorial del municipio se puede describir la fluctuación en las demandas de corriente a distintas horas del día especificados por estratificación socio-económica de los usuarios.

Tabla 7. Circuitos monofásicos desbalanceados

Tipo CTO	Identificación del circuito	Potencia kVA	Número de Usuarios	Estrato Socio-económico
Monofásico	1T00378	75	68	2
	1T01022	100	173	2
	1T00628	75	71	1
	1T00585	75	69	2

Nota: Descripción de circuitos objeto de estudio. Elaboración propia.

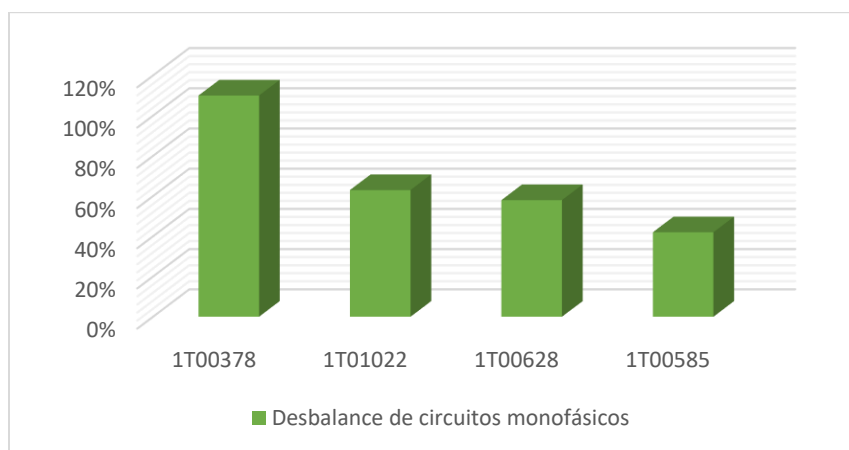


Figura 7. Porcentaje de desbalance en circuitos monofásicos estudiados

Nota. Elaboración propia.

En la tabla y gráficas presentadas anteriormente se puede percibir el porcentaje de desbalance correspondiente a los circuitos en estudio de tipo monofásico. Resaltando el hecho de que el circuito 1T00378 excede el 100% de los niveles de desbalance, afectando directamente a la

distribución de energía en redes de baja tensión que se componen generalmente de aluminio desnudo, por lo que se ven expuestos a elongación progresiva hasta que se choquen las fases entre si y como resultado se presente corto circuito. Esta problemática es de tal gravedad que los usuarios que reciben el servicio del transformador en cuestión pueden quedar sin servicio.

Tabla 8. *Circuitos trifásicos desbalanceados*

Tipo CTO	Identificación del circuito	Potencia kVA	Número de Usuarios	Estrato Socio-económico
Trifásico	1T08052	112,5	149	2
	1T06969	112,5	250	3
	1T07033	150	126	5
	1T02841	112,5	210	3

Nota: Descripción de circuitos objeto de estudio. Elaboración propia.

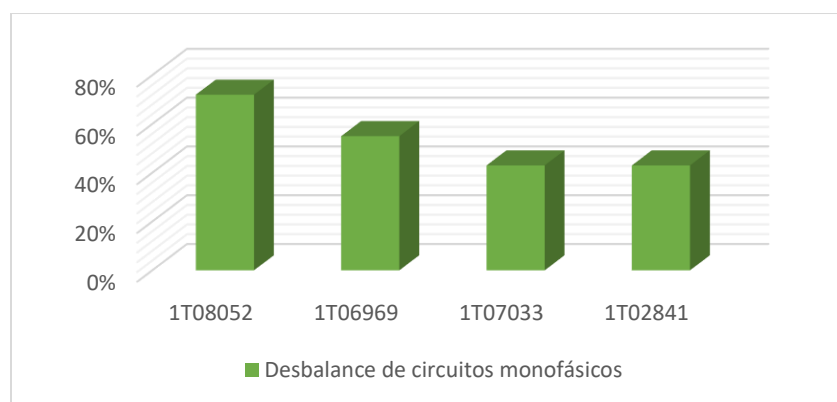


Figura 8. *Porcentaje de desbalance en circuitos trifásicos estudiados*

Nota. Elaboración propia.

Se hace referencia a los circuitos trifásicos que se seleccionaron por sus características de desbalance y que fueron producto de reportes por fallas en el servicio o por fugas de aceite en alguno de sus transformadores. Se percibe que el circuito 1T08052 es el que mayor porcentaje de desbalance presenta sin embargo, este no supera el 100% como sucedió con los circuitos monofásicos estudiados.

Después de la distinción hecha a cada uno de los circuitos monofásicos y trifásicos que serán objeto de estudio, se hace una relación del modelo del comportamiento de la demanda de energía para usuarios de los estratos socio-económicos 1 a 4.

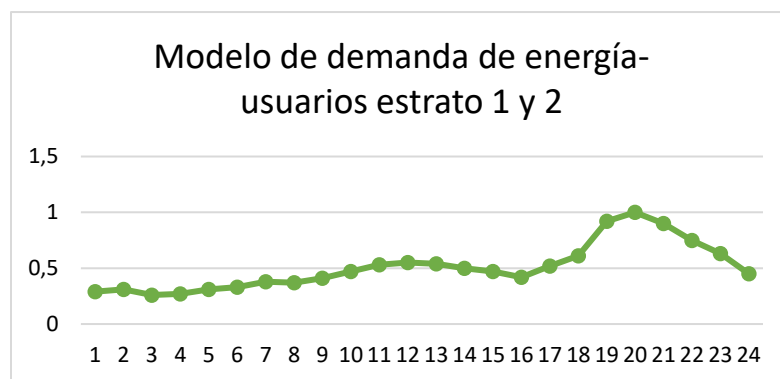


Figura 9. *Modelo de curvas de demanda por para usuarios de estratos 1 y 2.*

Nota. Elaboración propia en base a soportes de curvas de demanda ESSA.

En la figura anterior se pueden notar los diferentes picos en el consumo de energía para un usuario que se encuentra en los estratos 1 y 2, destacando que entre las 19 y 21 horas es donde un mayor porcentaje de energía demandan los usuarios. En ese sentido, la demanda promedio resultante de estudio realizado es de 0,507 durante el transcurso del día.

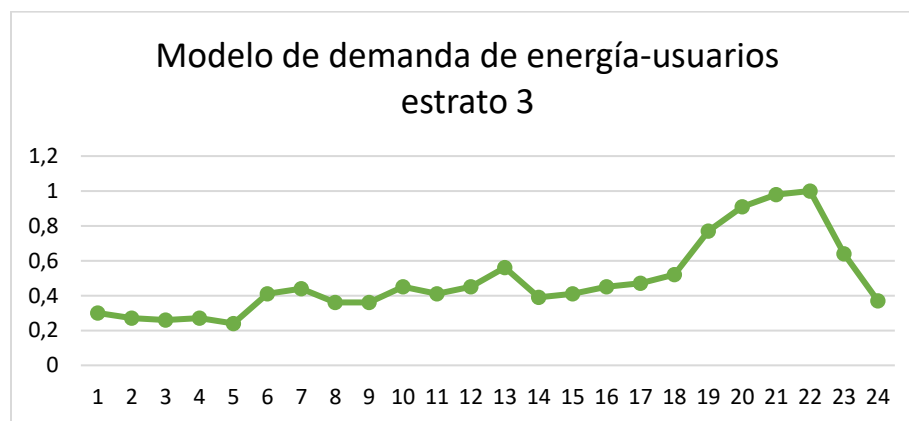


Figura 10. *Curvas de demanda para usuarios de estrato 3.*

Nota. Elaboración propia en base a soportes de curvas de demanda ESSA.

Mientras tanto, para aquellos usuarios de estrato 3, las horas en que el porcentaje de

demanda de energía de energía es mayor, se da entre las 19 a 22 horas, pero que en el resto del día no presenta picos relativamente elevados. En ese sentido, la demanda promedio resultante de estudio realizado es de 0,487 durante el transcurso del día.

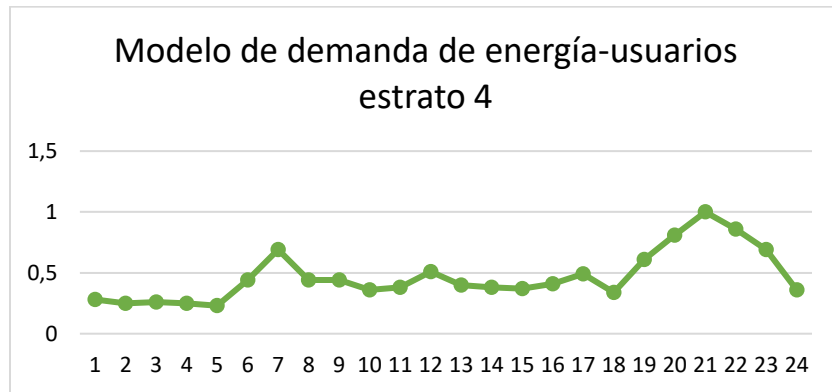


Figura 11. *Curvas de demanda para usuarios de estrato 4.*

Nota. Elaboración propia en base a soportes de curvas de demanda ESSA.

Por su parte, los usuarios estrato 4, presentaron picos significativos, pero con diferencias importantes incrementándose de 5 a 7 de la mañana y manteniéndose estable el resto de día, para posteriormente elevarse en alto porcentaje entre las 21 y 22 horas. En ese sentido, la demanda promedio resultante de estudio realizado es de 0,468 durante el transcurso del día.

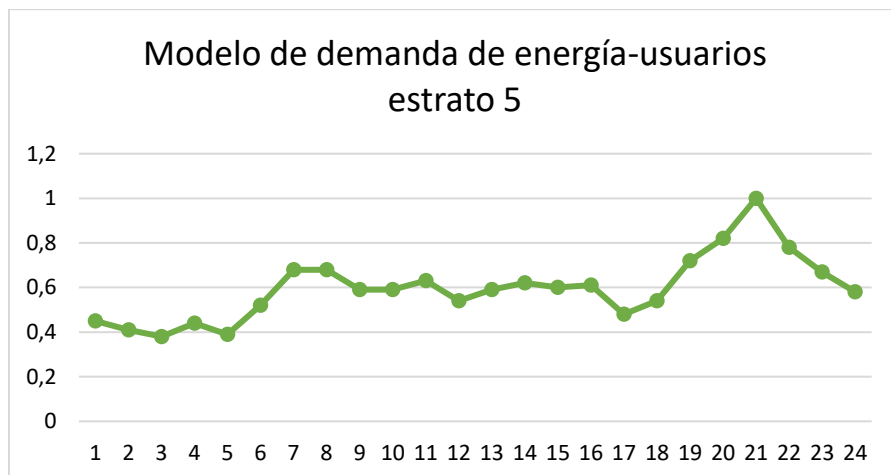


Figura 12. *Curvas de demanda para usuarios de estrato 5*

Nota. Elaboración propia en base a soportes de curvas de demanda ESSA.

Finalmente, aquellos cuya estratificación socio-económica es de 5, no presentaron picos importantes de demanda y se mantuvieron estables el resto de día, para incrementarse progresivamente desde las 18 y 21 horas. En ese sentido, la demanda promedio resultante de estudio realizado es de 0,596 durante el transcurso del día.

3.4 Impactos técnicos, económicos y ambientales de desbalance por acomodo de carga de los circuitos definidos

3.4.1 Impacto técnico

Para dar solución al segundo objetivo de la investigación, fue necesario hacer una valoración de los impactos técnicos y ambientales, así como las pérdidas económicas ocasionadas por el desbalance de cargas en los circuitos monofásico y trifásicos previamente definidos.

En este apartado se hace un análisis minucioso del funcionamiento de los componentes principales que hacen parte de los circuitos eléctricos de baja tensión en base a los picos de demanda establecidos anteriormente de los usuarios del servicio prestado por la empresa CENS. Igualmente, se hizo un control a los procedimientos llevados a cabo por los operarios de la empresa que ofrece el servicio, teniendo muy presente las condiciones en que se encuentran o instalan elementos relacionados con la estabilidad de las cargas con los transformadores de energía, los conductores de electricidad representados generalmente por cables de aluminio tipo ACSR, entre otros factores que pueden interferir con la buena prestación del servicio.

Para iniciar con el estudio de acomodo de cargas, se partió de observar el comportamiento

diario de la demanda de energía del sistema interconectado nacional SIN, esto se hizo con el fin de conocer el panorama actual del consumo de energía en Colombia y poder apreciar la variación que tiene el consumo respecto a la hora del día, esta información fue tomada de la empresa XM del grupo ISA que se encarga de aportar información en tiempo real del mercado de energía en Colombia.

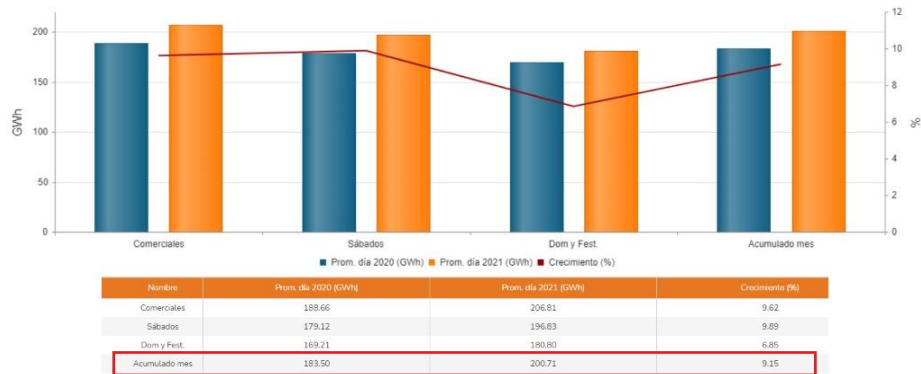


Figura 13. Comportamiento de la demanda de energía de SIN por tipo de día.

Fuente: Empresa XM

En la figura 13 tomada de XM se puede observar que el consumo promedio de energía diario en Colombia es de 200,71 GWh, al dividir este valor entre 24 se obtiene un factor de 8,363 GW que corresponde a un valor estimado del consumo promedio de energía por hora suponiendo que el consumo de energía fuese constante a cada hora.

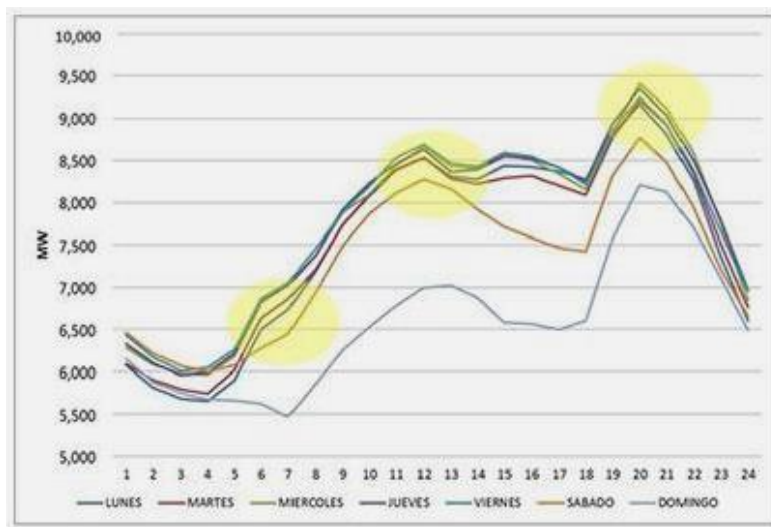


Figura 14. *Curva de demanda promedio en Colombia.*

Seguido a esto, como se puede observar en la gráfica de la figura 14, para un factor de consumo promedio de energía por hora de 8,363 GW suponiendo que el análisis se realiza un sábado, se cumple que dicho valor se encuentra en el horario de 10 AM a las 12 M aproximadamente a las 11 AM.

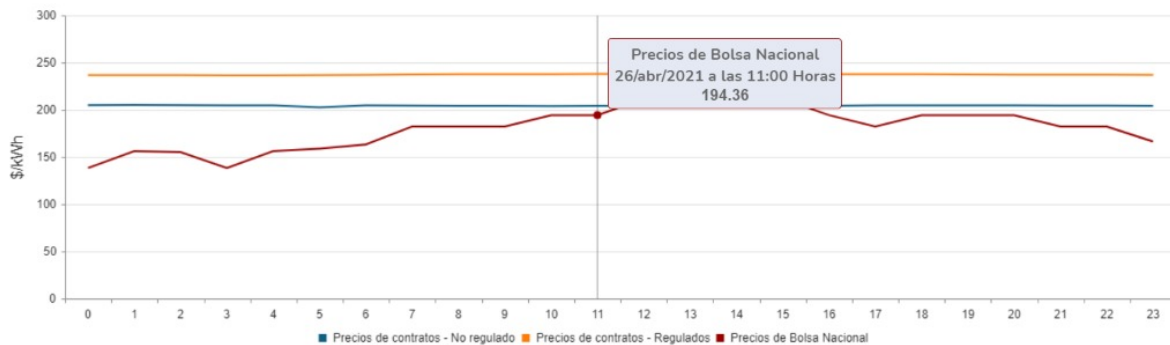


Figura 15. *Precio de consumo de energía en la bolsa nacional.*

En este horario establecido se evidencia que el precio de la energía en la bolsa es de \$194.36 como se observa en la Figura 15, Este planteamiento se realiza para comprender que si la demanda de energía fuese constante a lo largo del día y si se mantiene en dicho valor entonces no existirían picos altos de consumo de energía y el precio de bolsa no cambiaría tanto, además se puede percibir que el precio del consumo de energía para los usuarios regulados a las 11 AM es de \$238.25, si se logra que el precio de bolsa sea constante entonces se podría reducir el precio del consumo de usuarios regulados lo cual conllevaría a un ahorro sustancial de energía desde los generadores hasta a los usuarios.

Partiendo de esto, se procedió al estudio de acomodo de carga, lo cual hace referencia al ajuste en los picos de las curvas de demanda para observar que sucede si se reduce el consumo de potencia en los picos altos y se trasladan a horarios donde el consumo es menor, con el objetivo de

obtener una reducción de consumo energético para los usuarios y evaluar un nuevo panorama en la tarifa de energía con este estudio.

Para realizar el estudio de acomodo de carga es necesario analizar el cumplimiento de todos los parámetros establecidos en el manual CENS y como paso a seguir, se procedió a la definición del número de usuarios del servicio que se favorecen de los circuitos que han sido planteados anteriormente como objeto de estudio. Para utilizar el número de usuarios, se generó el cálculo de la demanda máxima diversificada, que según la Norma Técnica Colombiana (NTC) 2050 en su artículo 220-37 se puede medir la capacidad de un transformador, acometida o alimentador de viviendas multifamiliares o de un grupo determinado de viviendas siguiendo los lineamientos establecidos en las siguientes tablas, en este caso suministradas por la OR CENS Grupo EPM.

Cabe destacar que la metodología contenida en el presente apartado solo aplica para las viviendas o grupos de viviendas ubicados en los municipios de San José de Cúcuta, Villa del Rosario, El Zulia, Puerto Santander, San Cayetano y Los patios.

Tabla 9. *Clases de carga según tarifa*

Clase de carga según tarifa UNAL	Tarifa CENS
GR1	Residencial E1-E2
GR2	Residencial E3-E4
GR3	Residencial E5-E6
CO	Comercial
MO	Para todos aquellos transformadores de distribución que no tienen claramente definida una clasificación de consumo (MEZCLA)

Nota: Tomado de parámetros de diseño CENS (2020)

Se procedió a identificar la clase de carga a la que pertenece cada circuito analizado en el

objetivo anterior, partiendo del estrato socio-económico al que pertenece cada uno, obteniendo como resultado la siguiente tabla:

Tabla 10. *Identificación la clase de carga*

Tipo CTO	Identificación del circuito	Potencia kVA	Estrato	Número de Usuarios	Clase de carga según tarifa UNAL
Monofásico	1T00378	75	2	68	GR1
	1T01022	100	2	173	GR1
	1T00628	75	1	71	GR1
	1T00585	75	2	69	GR1
Trifásico	1T08052	112,5	2	149	GR1
	1T06969	112,5	3	250	GR2
	1T07033	150	5	126	GR3
	1T02841	112,5	3	210	GR2

Como se puede observar en la tabla, el 62.5% de los circuitos estudiados pertenecen a la clase GR1, el 25% a la clase GR2 y solo un circuito perteneciente al GR3 que equivale al 12,5% de los circuitos examinados, sabiendo que el comportamiento de la curva de demanda de potencia varía en cada nivel o estrato socio-económico, entonces para el análisis de acomodo de cargas se selecciona un circuito de cada clase y se realiza el modelamiento del comportamiento de la demanda real e ideal de energía del circuito seleccionado, a partir del análisis de dicho circuito se puede obtener información del comportamiento de los demás circuitos.

Se debe tener en cuenta que para aplicar el factor de diversificación a usuarios de manera grupal se toma en cuenta la demanda máxima, pero cuando se tiene la curva de consumo típica de los mismos no hay necesidad de llevar a cabo tal procedimiento porque la suma de las curvas se diversifica sola. Entonces, se procede a realizar cálculos por ambas partes: Asumir su potencia

máxima y diversificar si es necesario.

Por ejemplo: se tiene un TRF de 75kVA y entonces tenemos que asumir la cantidad de usuarios a partir de la diversificación, luego de esto y con la gráfica de consumo diaria, verificar las posibilidades de cambio de consumo: esto quiere decir que, dependiendo del tipo de usuario, mover la cargas (acomodo de carga) para evaluar una reducción del consumo de energía en horarios donde el precio de bolsa se incrementa, a partir de este análisis se pretende obtener una reducción de consumo energético para los usuarios y luego del impacto técnico se empieza a realizar el impacto económico y ambiental que se obtiene a partir de dicho análisis de acomodo de cargas.

Para comenzar el acomodo de carga de los circuitos estudiados, se debe partir de un ajuste en los picos de las curvas de demanda para observar lo que sucede si se reduce el consumo de potencia en los picos altos y se trasladan a horarios donde el consumo es menor, inicialmente se seleccionó para la clase de carga GR1 el circuito identificado como 1T00378 de 75kVA estratificación 2 que consta de 68 usuarios; Se realizó el modelo del comportamiento real de la demanda de energía y demanda ideal para el estudio.

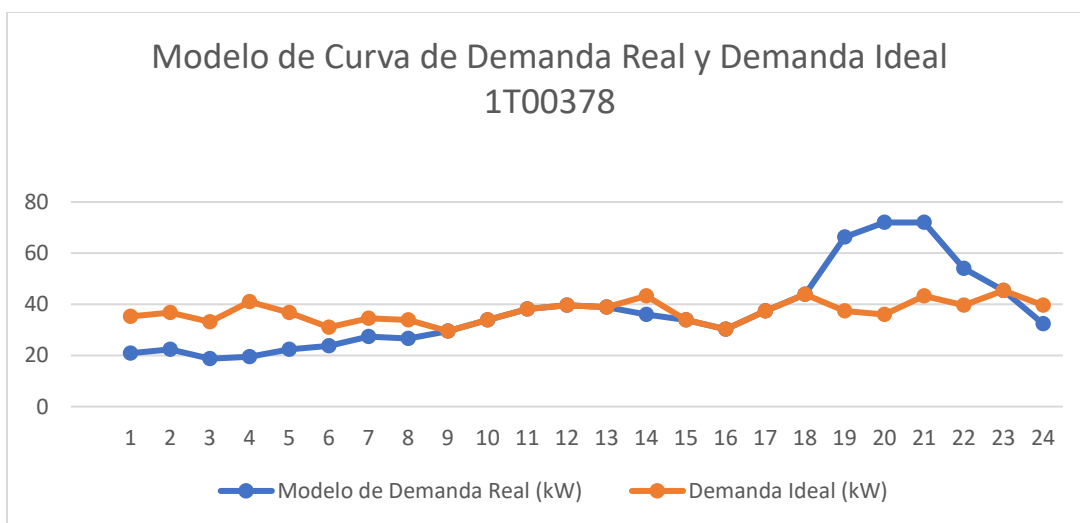


Figura 16. *Curvas de demanda real y demanda ideal del circuito 1T00378.*

Nota. Elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 16 hay un incremento de consumo de energía a partir de las 6PM, debido a que en este horario los usuarios de esta clase de carga GR1 utilizan diferentes electrodomésticos, cabe aclarar que debido a las condiciones climáticas de la ciudad de Cúcuta, la mayoría de los meses del año y más específicamente en el periodo de tiempo del medio se usa de forma masiva electrodomésticos de enfriamiento, para este tipo de usuarios se destacan ventiladores, algunos usuarios con aires acondicionados y otros electrodomésticos como televisores, licuadoras, lavadoras, bombillos y además se cargan las bombas de suministro de agua, también se debe tomar en cuenta que el consumo de energía dentro de los usuarios depende de la cantidad de electrodomésticos que tengan y el número total de personas que residan en el hogar. Por lo tanto, es necesario también analizar que este tipo de usuarios poseen aparatos demasiado antiguos lo cual genera un consumo de energía considerable.

Para poder reducir ese incremento de potencia se procedió a realizar una evaluación de cambio de los horarios de funcionamiento de cargas comunes y algunos electrodomésticos tales como las bombas de agua ya que por lo general estas se cargan en horas de la noche, si se procede a cargar a la 1AM 10 bombas de 10 casas distintas, luego a las 2AM otras 10 bombas y así sucesivamente en todo el horario que comprende desde la 1AM hasta las 5AM se podría reducir el consumo en horarios de 6PM a 11PM, además si por lo menos 30 usuarios utilizan la lavadora en horas que comprenden desde las 6AM a 8AM contribuyen a reducir el consumo comprendido de las 6PM a las 7PM, la iluminación también importante en este tipo de usuarios ya que si se reduce y se utiliza de manera racional el consumo de energía por iluminación se puede incrementar la demanda de energía en la noche al igual que el uso de los ventiladores.

Tabla 11. *Modelado de demandas de potencia circuito 1T00378.*

CIRCUITO 1T00378		
HORA	Modelo de Demanda Real (kW)	Demanda Ideal (kW)
1	20,88	35,28
2	22,32	36,72
3	18,72	33,12
4	19,44	41,04
5	22,32	36,72
6	23,76	30,96
7	27,36	34,56
8	26,64	33,84
9	29,52	29,52
10	33,84	33,84
11	38,16	38,16
12	39,6	39,6
13	38,88	38,88
14	36	43,2
15	33,84	33,84
16	30,24	30,24
17	37,44	37,44
18	43,92	43,92
19	66,24	37,44
20	72	36
21	72	43,2
22	54	39,6
23	45,36	45,36
24	32,4	39,6

Se seleccionó para la clase de carga GR2 el circuito identificado como 1T06969 de 115kVA estratificación 3 y consta de 250 usuarios, se realizó el modelo del comportamiento real de la demanda de energía y demanda ideal para el estudio.

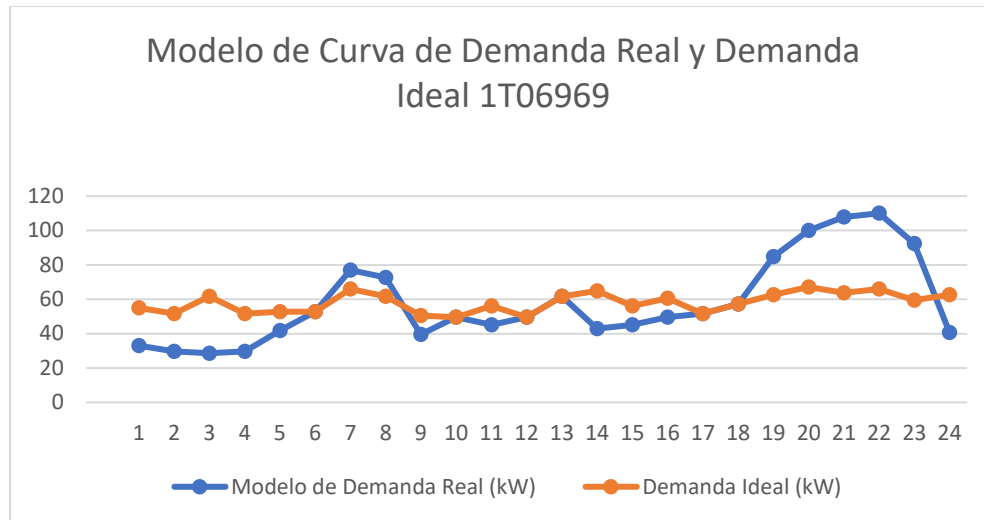


Figura 17. *Curvas de demanda real y demanda ideal del circuito 1T06969.*
 Nota. Elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 17 hay un incremento de consumo de energía a partir de las 6PM hasta las 11PM, debido a que en este horario la mayoría de los usuarios de esta clase de carga GR2 utilizan aire acondicionado, electrodomésticos que demandan un consumo de potencia considerable como estufas eléctricas, lavadoras, planchas de ropa, televisores, bombillas, entre otros.

En horarios comprendidos de 6AM a 8AM se observa un incremento de potencia debido a que algunos usuarios poseen estufas eléctricas y algunos electrodomésticos como hornos microondas, lavadoras de mayor capacidad, cabe resaltar que como no existe un control en la carga de las bombas de suministro de agua estas suelen conectarse en horarios de 8PM a 11PM y también horarios de 6AM a 8AM.

Para poder reducir estos incrementos en la gráfica de la demanda de potencia se procedió a evaluar de igual forma los horarios de funcionamiento de cargas comunes tales como las bombas de agua, si se procede a desplazar y se tuviera un control para cargar por partes el 64% de las bombas de agua de este circuito en todo el horario que comprende desde la 1AM hasta las 5AM se

podría reducir el consumo en horarios 6PM a 11PM, además también es necesario cargar el 36% de bombas de agua restantes en horarios de 2PM a 4PM porque los usuarios de GR2 a diferencia de los GR1 utilizan aires acondicionados en todo el transcurso de la noche y la madrugada, si se desplazan todas las bombas para horarios de la madrugada entonces se produce un incremento de demanda en ese horario y lo ideal sería mantener una demanda de energía constante, para que no se vea afectado el desbalance de energía, en aplicaciones reales es un poco complejo la idea de trasladar cargas para horarios de la madrugada ya que los usuarios disponen y adaptan su consumo de acuerdo a sus necesidades, pero suponiendo que por lo menos la mitad de los usuarios utilizaran electrodomésticos como la lavadora en horas que comprenden desde la 1AM a 5AM también podría reducir gradualmente el consumo de energía presente en la noche.

Tabla 12. *Modelado de demandas de potencia circuito 1T06969.*

CIRCUITO 1T06969		
HORA	Modelo de Demanda Real (kW)	Demanda Ideal (kW)
1	33	55
2	29,7	51,7
3	28,6	61,6
4	29,7	51,7
5	41,8	52,8
6	52,8	52,8
7	77	66
8	72,6	61,6
9	39,6	50,6
10	49,5	49,5
11	45,1	56,1
12	49,5	49,5
13	61,6	61,6
14	42,9	64,9
15	45,1	56,1
16	49,5	60,5

17	51,7	51,7
18	57,2	57,2
19	84,7	62,7
20	100,1	67,1
21	107,8	63,8
22	110	66
23	92,4	59,4
24	40,7	62,7

Para la clase de carga GR3 se seleccionó el único circuito con este tipo de carga, el circuito en mención es identificado como 1T07033 de 150kVA estratificación 5 que consta de 126 usuarios, se realizó la estimación del comportamiento real de la demanda de energía y demanda ideal para el estudio.

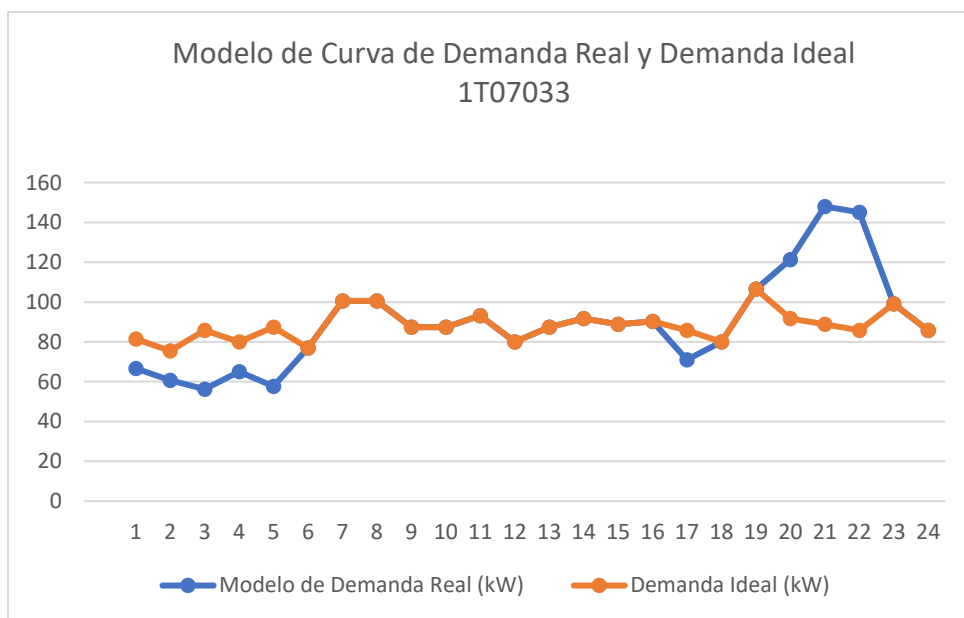


Figura 18. Curvas de demanda real y demanda ideal del circuito 1T07033.

Nota. Elaboración propia.

Como se puede observar en la gráfica de la figura 18 al igual que las gráficas anteriores el incremento de consumo de energía se da desde las 6PM hasta las 11PM llegando a su pico máximo a las 8PM, también se puede observar que estos usuarios consumen mucha más energía que los de clase de carga GR2 y esto debido a que tienen muchos más electrodomésticos que consumen una

mayor energía comparados a los electrodomésticos de los estratos socio-económicos 1-4, cabe mencionar algunos como: aires acondicionados, hornos eléctricos, estufas eléctricas, estufas de cuarzo, freidoras, lavadoras, televisores, ventiladores y también bombas de agua.

Para dar solución al incremento de la demanda de energía de los usuarios de clase de carga GR3 se trasladaron las cargas comunes para horarios de la madrugada entre la 1AM a 5AM, estas cargas son las bombas de agua alternadas a diferentes horas de la madrugada, se analizó también el uso de aires acondicionados a temperaturas donde el valor del kW disminuye, ya que en general los aires a 18°C consumen en promedio 1.46 kWh, a 21°C consumen 1,2kWh y a 24°C consumen 1kWh, entonces si se logra concientizar a los usuarios que regulando la temperatura del reóstato del aire se reduce el consumo de energía se puede acomodar las bombas de agua y de igual manera reduciendo el consumo de algunos electrodomésticos en horarios de 6PM a 11PM.

Tabla 13. *Modelado de demandas de potencia circuito 1T07033.*

CIRCUITO 1T07033		
HORA	Modelo de Demanda Real (kW)	Demanda Ideal (kW)
1	66,6	81,4
2	60,68	75,48
3	56,24	85,84
4	65,12	79,92
5	57,72	87,32
6	76,96	76,96
7	100,64	100,64
8	100,64	100,64
9	87,32	87,32
10	87,32	87,32
11	93,24	93,24
12	79,92	79,92
13	87,32	87,32

14	91,76	91,76
15	88,8	88,8
16	90,28	90,28
17	71,04	85,84
18	79,92	79,92
19	106,56	106,56
20	121,36	91,76
21	148	88,8
22	145,04	85,84
23	99,16	99,16
24	85,84	85,84

Para comprender la influencia de acomodo de cargas como impacto técnico, se procede a analizar los desbalances de carga del modelo de la demanda real y de la demanda ideal, partiendo que, para el cálculo del desbalance de cargas visto desde consumo de energía, se utiliza la fórmula 15:

$$Q = I^2 RT \text{ (J) (15)}$$

Donde I: Corriente eléctrica (A), R: Resistencia eléctrica (Ω) y T: Tiempo (s)

Para realizar dicho análisis se selecciona el circuito 1T00378, del objetivo anterior se conoce que es un circuito que presenta un desbalance del 100% lo cual hace que sea de vital importancia su estudio, este circuito consta de un transformador monofásico trifilar de 75kVA que suministra energía a 68 usuarios, al conocer la potencia nominal del transformador y sabiendo que la tensión de línea para transformadores monofásicos trifilares es 240v se procede a calcular la corriente nominal del devanado secundario del transformador.

$$I_{sec} = \frac{S \text{ (VA)}}{V_l} = \frac{75 \text{ kVA}}{240 \text{ v}} = 312,5 \text{ A (17)}$$

La corriente por fase sería 156.25 A, con esta corriente se procede a estimar el calibre del conductor que tiene la red de energía de baja tensión para ese circuito.

Tabla 310-16 Capacidad de corriente permisible en conductores aislados para 0 a 2.000 V nominales y 60°C a 90°C. No más de tres conductores portadores de corriente en una canalización, cable o tierra (directamente enterrados) y temperatura ambiente de 30°C.

Calibre mm ²	Temperatura nominal del conductor (ver Tabla 310-13)						Calibre AWG o kcmils
	60°C	75°C	90°C	60°C	75°C	90°C	
	TIPOS TW ^a , UF ^a	TIPOS FEPW ^a , RH ^a , RHW ^a , THHW ^a , THW ^a , THWN ^a , XHHW ^a , USE ^a , ZW ^a	TIPOS TBS, SA, SIS, FEP ^a , FEPB ^a , MI, RHH ^a , RHW-2, THHN ^a , THHW ^a , THWN-2, USE-2, XHH, XHHW ^a , XHHW-2, ZW-2	TIPOS TW ^a , UF ^a	TIPOS RH ^a , RHW ^a , THHW ^a , THW ^a , THWN ^a , XHHW ^a , USE ^a	TIPOS TBS, SA, SIS, THHN ^a , THHW ^a , THW-2, THWN-2, RHH ^a , RHW-2, USE-2, XHH, XHHW ^a , XHHW-2, ZW-2	
	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			
0,82	....	....	14	....	....	....	18
1,31	....	....	18	....	....	....	16
2,08	20 ^a	20 ^a	25	....	....	....	14
3,30	25 ^a	25 ^a	30 ^a	20 ^a	20 ^a	25 ^a	12
5,25	30	35 ^a	40 ^a	25	30 ^a	35 ^a	10
8,36	40	50	55	30	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	60	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	110	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,20	110	130	150	85	100	115	1
53,50	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0
126,67	215	255	290	170	205	230	250
152,01	240	285	320	190	230	255	300
177,34	260	310	350	210	250	280	350
202,68	280	335	380	225	270	305	400
253,35	320	380	430	260	310	350	500
304,02	355	420	475	285	340	385	600
354,69	385	460	520	310	375	420	700
380,02	400	475	535	320	385	435	750
405,36	410	490	555	330	395	450	800
455,03	435	520	585	355	425	480	900
506,70	455	545	615	375	445	500	1.000
633,38	495	590	665	405	485	545	1.250
760,05	520	625	705	435	520	585	1.500
886,73	545	650	735	455	545	615	1.750
1.013,40	560	665	750	470	560	630	2.000

Figura 19. Capacidad de corriente permisible en conductores aislados

Fuente: Retie

Como se puede observar en la figura 19, el conductor que cumple por regulación y por capacidad de corriente es el THWN-2 calibre 2/0 que soporta hasta 195 A, revisando sus especificaciones técnicas tiene una resistencia de 0,2608 Ω /km, solo para la aplicación del análisis se estima que la red de distribución de baja tensión de este circuito es de 1 kilometro, entonces la resistencia total del conductor sería $R=0,2608 \Omega$.

Como no se conoce la corriente real por fase vista desde el macromedidor de la red de baja tensión entonces se asume un valor aproximado de dicha corriente; también se estima que, de los 68 usuarios totales del circuito, 40 usuarios están conectados a la fase A y los 28 usuarios restantes en la fase B, además para aplicaciones teóricas del análisis se asume que todos los usuario

consumen una corriente de 4,6 A, entendiendo que en la vida real la corriente de cada usuario es distinta y que cada uno consume energía de manera distinta.

En el modelo de la demanda real visto anteriormente del circuito 1T00378 se tiene que las horas de 7 PM a 11 PM es donde se produce el máximo consumo de energía del día, este tiempo transcurrido total dado en segundos es $T=18000s$, suponiendo que todos los usuarios consumieran 4,6 A entonces la corriente reflejada en la fase A y la fase B serían:

$$I_a = 183,824 A \quad I_b = 128,667 A$$

Aplicando la fórmula 15 de desbalance de carga para el modelo de demanda real se tiene:

$$Q_a = I^2RT = (183,824)^2 * (0,2608\Omega) * (18000s) = 158,63MJ = 44.033 kWh$$

$$Q_b = I^2RT = (128,677)^2 * (0,2608\Omega) * (18000s) = 77,73MJ = 21,592 kWh$$

Con la fórmula 16 se obtiene que la sumatoria del desbalance del modelo de demanda real sería:

$$\sum Q = Q_a + Q_b = 65,655 kWh$$

Al comparar el consumo de energía del modelo de la demanda real y de la demanda ideal se puede apreciar que si se realiza el acomodo de ciertas cargas para horarios de la madrugada, el consumo de energía desde las 7PM a las 11PM se reduce un 30% respecto al modelo de demanda real, esto se vería reflejado como una reducción de la corriente de cada fase, sin importar que hayan más usuarios conectados en una fase que en otra, a partir de esto se asume que solo para la aplicación del análisis cada usuario consume una corriente de 3,21 A entonces con la estimación dada la corriente reflejada en la fase A y la fase B será:

$$I_a = 128,68 A \quad I_b = 90,076 A$$

Aplicando la fórmula de desbalance de carga para el modelo de demanda ideal se tiene:

$$Q_a = I^2RT = (128,68)^2 * (0,2608\Omega) * (18000s) = 77,732 MJ = 21,592 kWh$$

$$Q_b = I^2RT = (90,076)^2 * (0,2608\Omega) * (18000s) = 38,1MJ = 10,583 kWh$$

La sumatoria del desbalance del modelo de demanda ideal sería:

$$\sum Q = Q_a + Q_b = 32,175 kWh$$

Como se puede observar, si se logra acomodar las cargas, se podría reducir la corriente que debe suministrar el transformador ya que al acomodar las cargas para otros horarios se mejora el desbalance, se obtendría un sistema más equilibrado, además de esto se contribuye a reducir las pérdidas técnicas en las líneas de baja tensión de las redes de distribución, ya que al reducirse el consumo en horas de 7PM a 11PM se reduce la corriente y por consiguiente las pérdidas por efecto Joule, además se mejora el rendimiento y el tiempo de vida útil de los transformadores, ya que no trabajarían de manera saturada como normalmente lo hacen en horas de la noche y esto permite reducir las pérdidas por histéresis y pérdidas por corrientes parásitas o corrientes de Foucault.

3.4.2 Impacto económico

Para la realización del impacto económico del análisis inicialmente se tuvo en cuenta que el valor de las tarifas de energía de los usuarios regulados de CENS contienen unos componentes para conocer el costo unitario de pesos por kilovatio hora (\$/kWh) del servicio de energía eléctrica, estos componentes son: generación (G), transmisión (T), distribución (D), comercialización (Cv), pérdidas reconocidas (PR) y restricciones (R) la suma de estas seis componentes da el costo unitario de pesos por kilovatio hora (\$/kWh) del servicio de energía, cabe aclarar que estos valores varían cada mes y que la información de tarifas de mercado regulado fue tomada de tarifas de CENS del mes de noviembre del 2021.

Tabla 14. Tarifas de energía para mercado regulado CENS noviembre de 2021.

Componentes CU v	Precio
Generación (G)	\$ 228,34
Transmisión (T)	\$ 37,31
Distribución (Dt UN)	\$ 241,23
Comercialización (Cv)	\$ 64,74
Pérdidas reconocidas (PR)	\$ 58,77
Restricciones [R]	\$ 40,81
Costo unitario (CU v)	\$ 671,20

Fuente. Elaboración propia

Para el mes de noviembre de 2021 en CENS la tarifa de energía de los usuarios regulados es de \$671,2 tal como se puede evidenciar, este valor es dado a partir de la suma de los componentes del costo unitario.

El costo de generación (G) corresponde al costo de compra de energía por parte de la empresa y representa el costo de producción de energía y es independiente del sitio donde sea generada en Colombia.

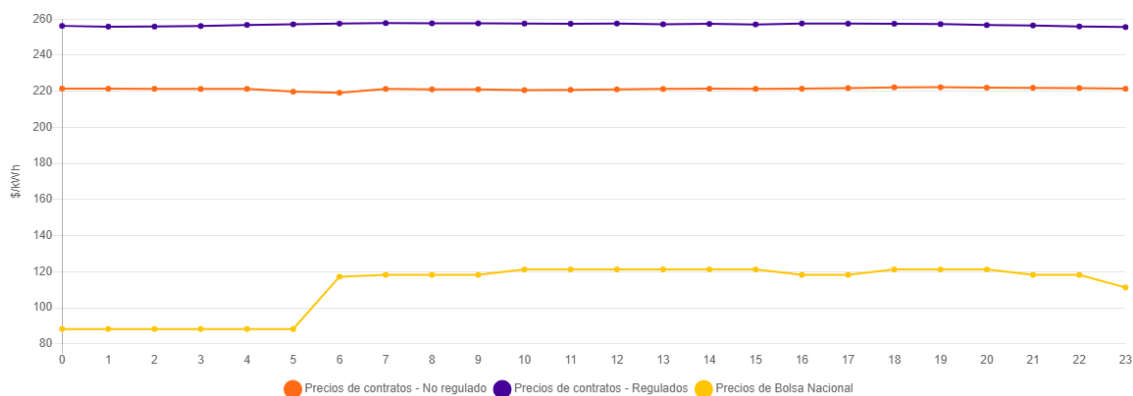


Figura 20. Precio transacciones (\$/kWh) - Resolución horaria

Fuente. Empresa XM

La gráfica anterior es tomada de la empresa XM del Grupo ISA que se especializa en la

gestión y evaluación del sistema en tiempo real y administración del mercado de energía, dando indicadores de precio de la generación de energía donde se puede evidenciar el precio de contratos regulados, precio de contratos no regulados, y el precio de bolsa nacional de energía eléctrica en Colombia.

Como se puede observar en la gráfica 19, el precio de bolsa nacional en los horarios de 12AM a 5AM es menor comparado con el precio de bolsa de las 6AM a las 11PM, pero el precio de contratos regulados se mantiene casi estable, si se lograra disminuir por lo menos en \$20 el valor por hora del precio de los usuarios regulados en horarios de 12AM a 5AM con la idea de incentivar a los usuarios a consumir energía en esos horarios entonces se podría estimar una reducción del costo de generación, ya que el precio de la energía en esos horarios de madrugada es más económico tanto para la empresa como para el usuario comparado con el precio que se cobra en horarios de 6AM a 11PM.

Tabla 15. *Precio de bolsa nacional y contratos regulados de generación de energía eléctrica en Colombia.*

HORA	Precio de Bolsa Nacional (\$/kWh)	Precios de contratos - Regulados (\$/kWh)
1	88,27	254,73
2	88,27	254,87
3	88,27	255,18
4	88,27	255,45
5	88,27	256,07
6	117,27	256,59
7	118,27	257,13
8	118,27	256,91
9	118,27	256,85
10	121,27	256,78
11	121,27	256,94
12	121,27	256,89
13	121,27	256,96

14	121,27	256,96
15	121,27	256,96
16	118,27	256,8
17	118,27	256,34
18	121,27	256,38
19	121,27	256,35
20	121,27	256,12
21	118,27	255,94
22	118,27	255,67
23	111,27	255,3
24	88,27	254,81

Fuente. Elaboración propia

Si se logra reducir por lo menos \$20 por hora el precio de los contratos regulados en los horarios de 12AM a 5AM, entonces para los usuarios de los circuitos estudiados anteriormente se obtendría lo siguiente:

Tabla 16. Comparación de precios en ajuste de contratos regulados de demanda real e ideal del circuito 1T00378.

CIRCUITO 1T00378							
Hora	Precios de generación contratos - Regulados (\$/kWh)	Ajuste del Precio de generación contratos Regulados (\$/kWh)	T+Dt UN+Cv+P R+R	Modelo de Demanda Real (kWh)	Modelo de Demanda Ideal (kWh)	Precio Contrato Regulado con el modelo de Demanda Real (\$/kWh)	Precio con ajuste Contratos Regulados y Demanda Ideal (\$/kWh)
1	\$ 254,73	\$ 234,73	\$ 442,86	20,88	35,28	\$ 24.610,98	\$ 23.905,38
2	\$ 254,87	\$ 234,87	\$ 442,86	22,32	36,72	\$ 25.620,65	\$ 24.886,25
3	\$ 255,18	\$ 235,18	\$ 442,86	18,72	33,12	\$ 23.119,08	\$ 22.456,68
4	\$ 255,45	\$ 235,45	\$ 442,86	19,44	41,04	\$ 28.658,64	\$ 27.837,84
5	\$ 256,07	\$ 236,07	\$ 442,86	22,32	36,72	\$ 25.664,71	\$ 24.930,31
6	\$ 256,59	\$ 256,59	\$ 442,86	23,76	30,96	\$ 21.654,97	\$ 21.654,97
7	\$ 257,13	\$ 257,13	\$ 442,86	27,36	34,56	\$ 24.191,65	\$ 24.191,65
8	\$ 256,91	\$ 256,91	\$ 442,86	26,64	33,84	\$ 23.680,22	\$ 23.680,22
9	\$ 256,85	\$ 256,85	\$ 442,86	29,52	29,52	\$ 20.655,44	\$ 20.655,44
10	\$ 256,78	\$ 256,78	\$ 442,86	33,84	33,84	\$ 23.675,82	\$ 23.675,82

11	\$ 256,94	\$ 256,94	\$ 442,86	38,16	38,16	\$ 26.704,37	\$ 26.704,37
12	\$ 256,89	\$ 256,89	\$ 442,86	39,6	39,6	\$ 27.710,10	\$ 27.710,10
13	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	38,88	38,88	\$ 27.209,00	\$ 27.209,00
14	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	36	43,2	\$ 30.232,22	\$ 30.232,22
15	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	33,84	33,84	\$ 23.681,91	\$ 23.681,91
16	\$ 256,80	\$ 256,80	\$ 442,86	30,24	30,24	\$ 21.157,72	\$ 21.157,72
17	\$ 256,34	\$ 256,34	\$ 442,86	37,44	37,44	\$ 26.178,05	\$ 26.178,05
18	\$ 256,38	\$ 256,38	\$ 442,86	43,92	43,92	\$ 30.710,62	\$ 30.710,62
19	\$ 256,35	\$ 256,35	\$ 442,86	66,24	37,44	\$ 26.178,42	\$ 26.178,42
20	\$ 256,12	\$ 256,12	\$ 442,86	72	36	\$ 25.163,28	\$ 25.163,28
21	\$ 255,94	\$ 255,94	\$ 442,86	72	43,2	\$ 30.188,16	\$ 30.188,16
22	\$ 255,67	\$ 255,67	\$ 442,86	54	39,6	\$ 27.661,79	\$ 27.661,79
23	\$ 255,30	\$ 255,30	\$ 442,86	45,36	45,36	\$ 31.668,54	\$ 31.668,54
24	\$ 254,81	\$ 234,81	\$ 442,86	32,4	39,6	\$ 27.627,73	\$ 26.835,73
					DIA	\$ 619.154,47	\$ 4.449,60
					MES	\$ 18.708.122,02	\$ 133.488,00
					AÑO	\$ 445.791.216,38	\$ 3.203.712,00

Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 16 que corresponde al circuito identificado como 1T00378 de 75kVA estratificación 2, de 68 usuarios, si se logra reducir el precio contratos regulados por concepto de generación (G) al consumir energía en los horarios de 12AM a 5AM se obtendría un ahorro diario de \$4.449,60 que al año sería de \$3.203.712 para ese solo circuito de estratificación 2.

Tabla 17. Comparación de precios en ajuste de contratos regulados de demanda real e ideal del circuito 1T06969.

CIRCUITO 1T06969							
Hora	Precios de generación contratos - Regulados (\$/kWh)	Ajuste del Precio de generación contratos Regulados (\$/kWh)	T+Dt UN+Cv +PR+R	Modelo de Demanda Real (kWh)	Modelo de Demanda Ideal (kWh)	Precio Contrato Regulado con el modelo de Demanda Real (\$/kWh)	Precio con ajuste Contratos Regulados y Demanda Ideal (\$/kWh)

1	\$ 254,73	\$ 234,73	\$ 442,86	33	55	\$ 23.020,47	\$ 37.267,45
2	\$ 254,87	\$ 234,87	\$ 442,86	29,7	51,7	\$ 20.722,58	\$ 35.038,64
3	\$ 255,18	\$ 235,18	\$ 442,86	28,6	61,6	\$ 19.963,94	\$ 41.767,26
4	\$ 255,45	\$ 235,45	\$ 442,86	29,7	51,7	\$ 20.739,81	\$ 35.068,63
5	\$ 256,07	\$ 236,07	\$ 442,86	41,8	52,8	\$ 29.215,27	\$ 35.847,50
6	\$ 256,59	\$ 256,59	\$ 442,86	52,8	52,8	\$ 36.930,96	\$ 36.930,96
7	\$ 257,13	\$ 257,13	\$ 442,86	77	66	\$ 53.899,23	\$ 46.199,34
8	\$ 256,91	\$ 256,91	\$ 442,86	72,6	61,6	\$ 50.803,30	\$ 43.105,83
9	\$ 256,85	\$ 256,85	\$ 442,86	39,6	50,6	\$ 27.708,52	\$ 35.405,33
10	\$ 256,78	\$ 256,78	\$ 442,86	49,5	49,5	\$ 34.632,18	\$ 34.632,18
11	\$ 256,94	\$ 256,94	\$ 442,86	45,1	56,1	\$ 31.560,98	\$ 39.258,78
12	\$ 256,89	\$ 256,89	\$ 442,86	49,5	49,5	\$ 34.637,63	\$ 34.637,63
13	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	61,6	61,6	\$ 43.108,91	\$ 43.108,91
14	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	42,9	64,9	\$ 30.022,28	\$ 45.418,32
15	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	45,1	56,1	\$ 31.561,88	\$ 39.259,90
16	\$ 256,80	\$ 256,80	\$ 442,86	49,5	60,5	\$ 34.633,17	\$ 42.329,43
17	\$ 256,34	\$ 256,34	\$ 442,86	51,7	51,7	\$ 36.148,64	\$ 36.148,64
18	\$ 256,38	\$ 256,38	\$ 442,86	57,2	57,2	\$ 39.996,53	\$ 39.996,53
19	\$ 256,35	\$ 256,35	\$ 442,86	84,7	62,7	\$ 59.223,09	\$ 43.840,47
20	\$ 256,12	\$ 256,12	\$ 442,86	100,1	67,1	\$ 69.967,90	\$ 46.901,56
21	\$ 255,94	\$ 255,94	\$ 442,86	107,8	63,8	\$ 75.330,64	\$ 44.583,44
22	\$ 255,67	\$ 255,67	\$ 442,86	110	66	\$ 76.838,30	\$ 46.102,98
23	\$ 255,30	\$ 255,30	\$ 442,86	92,4	59,4	\$ 64.509,98	\$ 41.470,70
24	\$ 254,81	\$ 234,81	\$ 442,86	40,7	62,7	\$ 28.395,17	\$ 42.489,91
				DÍA		\$ 973.571,36	\$ 966.810,32
				MES		\$ 29.207.140,71	\$ 29.004.309,51
				AÑO		\$ 700.971.377,04	\$ 696.103.428,24
							\$ 6.761,04
							\$ 202.831,20
							\$ 4.867.948,80

Fuente. Elaboración propia

Para el circuito identificado como 1T06969 de 115kVA estratificación 3 de 250 usuarios se lograría un ahorro diario de \$6.761,04 que equivaldría anualmente a \$4.867.948,80 y este ahorro sustancial se vería reflejado en el componente de costo de generación (G) en la tarifa de energía de

cada usuario si se estimara un ajuste a dicho costo de generación para cada usuario al consumir energía en horarios donde el precio de bolsa es menor.

Tabla 18. Comparación de precios en ajuste de contratos regulados de demanda real e ideal del circuito 1T07033

CIRCUITO 1T07033								
Hora	Precios de generación contratos - Regulados (\$/kWh)	Ajuste del Precio de generación contratos Regulados (\$/kWh)	T+Dt UN+Cv+PR+R	Modelo de Demanda Real (kWh)	Demanda Ideal (kWh)	Precio Contrato Regulado con el modelo de Demanda Real (\$/kWh)	Precio con ajuste Contratos Regulados y Demanda Ideal (\$/kWh)	
1	\$ 254,73	\$ 234,73	\$ 442,86	66,6	81,4	\$ 46.459,49	\$ 55.155,83	
2	\$ 254,87	\$ 234,87	\$ 442,86	60,68	75,48	\$ 42.338,26	\$ 51.155,06	
3	\$ 255,18	\$ 235,18	\$ 442,86	56,24	85,84	\$ 39.257,77	\$ 58.202,95	
4	\$ 255,45	\$ 235,45	\$ 442,86	65,12	79,92	\$ 45.473,95	\$ 54.210,54	
5	\$ 256,07	\$ 236,07	\$ 442,86	57,72	87,32	\$ 40.342,24	\$ 59.284,17	
6	\$ 256,59	\$ 256,59	\$ 442,86	76,96	76,96	\$ 53.829,67	\$ 53.829,67	
7	\$ 257,13	\$ 257,13	\$ 442,86	100,64	100,64	\$ 70.446,99	\$ 70.446,99	
8	\$ 256,91	\$ 256,91	\$ 442,86	100,64	100,64	\$ 70.424,85	\$ 70.424,85	
9	\$ 256,85	\$ 256,85	\$ 442,86	87,32	87,32	\$ 61.098,68	\$ 61.098,68	
10	\$ 256,78	\$ 256,78	\$ 442,86	87,32	87,32	\$ 61.092,56	\$ 61.092,56	
11	\$ 256,94	\$ 256,94	\$ 442,86	93,24	93,24	\$ 65.249,35	\$ 65.249,35	
12	\$ 256,89	\$ 256,89	\$ 442,86	79,92	79,92	\$ 55.924,02	\$ 55.924,02	
13	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	87,32	87,32	\$ 61.108,28	\$ 61.108,28	
14	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	91,76	91,76	\$ 64.215,48	\$ 64.215,48	
15	\$ 256,96	\$ 256,96	\$ 442,86	88,8	88,8	\$ 62.144,02	\$ 62.144,02	
16	\$ 256,80	\$ 256,80	\$ 442,86	90,28	90,28	\$ 63.165,30	\$ 63.165,30	
17	\$ 256,34	\$ 256,34	\$ 442,86	71,04	85,84	\$ 49.671,17	\$ 60.019,33	
18	\$ 256,38	\$ 256,38	\$ 442,86	79,92	79,92	\$ 55.883,26	\$ 55.883,26	
19	\$ 256,35	\$ 256,35	\$ 442,86	106,56	106,56	\$ 74.507,82	\$ 74.507,82	
20	\$ 256,12	\$ 256,12	\$ 442,86	121,36	91,76	\$ 84.828,21	\$ 64.138,40	
21	\$ 255,94	\$ 255,94	\$ 442,86	148	88,8	\$ 103.422,40	\$ 62.053,44	
22	\$ 255,67	\$ 255,67	\$ 442,86	145,04	85,84	\$ 101.314,79	\$ 59.961,82	
23	\$ 255,30	\$ 255,30	\$ 442,86	99,16	99,16	\$ 69.229,55	\$ 69.229,55	
24	\$ 254,81	\$ 234,81	\$ 442,86	85,84	85,84	\$ 59.887,99	\$ 58.171,19	
					DÍA	\$ 1.501.316,11	\$ 1.470.672,57	\$ 30.643,55
					MES	\$ 45.039.483,43	\$ 44.120.176,99	\$ 919.306,44
					AÑO	\$ 1.080.947.602,37	\$ 1.058.884.247,81	\$ 22.063.354,56

Fuente. Elaboración propia

Para el circuito analizado identificado como 1T07033 de 150kVA estratificación 5 que consta de 126 usuarios se lograría un ahorro diario de \$30.643,55 que al año serían \$22.063.354,56 en estos usuarios se refleja un ahorro mayor debido a que el consumo de energía de estos usuarios es mucho mayor al de los usuarios de estratificaciones más bajas además en la estimación de la demanda ideal se tuvo en cuenta una reducción del consumo de energía a partir del control del consumo de potencia de los aires acondicionados recordando que por lo general los aires a temperaturas de 18°C consumen en promedio 1.46 kWh, a temperaturas de 21°C consumen 1,2kWh y a temperaturas de 24°C consumen 1kWh, al reducir el consumo en horas de la noche que es donde realmente se consume más energía todos los usuarios, si se lograra incentivar el consumo de energía en horarios donde el precio de bolsa es menor entonces se podría regular el costo por concepto de generación para cada usuario y también concientizar a los usuarios del uso eficiente de la energía eléctrica.

En general los datos expuestos sirven de guía para pronosticar el efecto negativo que tiene el mal uso de la energía en los hogares, tal como lo expresa (Vargas , 2016) “por el solo hecho de dejar electrodomésticos y equipos electrónicos conectados (no prendidos) las 24 horas del día, se desperdicia el tres por ciento de toda la energía generada, es decir, todo lo que produce la represa de Betania (1.200 megavatios) durante un año”.

Los malos hábitos de consumo de energía es un factor determinante a la hora de medir el impacto económico, muchas familias no se percatan de apagar las luces cuando estas no se necesitan, así como dejar los electrodomésticos conectados si están en uso, las puertas abiertas cuando el aire acondicionado está funcionando y no menos importante el seguir usando

electrodomésticos demasiado antiguos. Desde esta perspectiva “se ha detectado que las neveras consumen casi el 50 por ciento de la demanda de energía en el hogar, en un país en el que se calculan que existen más de 12 millones de estos electrodomésticos” (Vargas , 2016).

Por lo tanto, si se cuantifica en pesos el valor de estos malos hábitos se puede llegar a la conclusión que el problema no está en el costo del valor del kilovatio hora que consumen las familias en estudio, si no la falta de conocimiento y conciencia en el uso de la energía es lo que genera un detrimento considerable en los ingresos de los hogares. Esto sumado al desconocimiento que las tarifas tienen un valor diferenciado según el horario de uso como se muestra en la tabla 15 donde desde las 0 horas a las 5 horas de la mañana el precio está alrededor de \$ 88,27, horario que podría ser utilizado para el consumo o realización de actividades que necesiten el consumo de energía en los hogares.

3.4.3 Impacto ambiental

Actualmente, las políticas de responsabilidad social de las empresas toman como objetivo fundamental y una sus dimensiones estratégicas para lograr sostenibilidad en el tiempo, la preservación del medio ambiente. Sin embargo, se dan alto índices de contaminación como resultado de los procesos productivos del hombre, con miras a la satisfacción de sus necesidades sociales, físicas y económicas. De ahí, que la contaminación del medio ambiente abarque a todos los ecosistemas y organismos del planeta, por lo que el hecho de reducir la huella de residuos de este tipo es un compromiso que debe ser adoptado por toda organización.

En este caso, se buscará describir el impacto ambiental resultante de los procesos energéticos en los que se hace uso aceites minerales con el fin de reducir y/o evitar el desgaste y la fricción dentro de los transformadores de energía pertenecientes a las redes de distribución de baja tensión del área metropolitana de Cúcuta. Este fluido dieléctrico ha tomado relevancia en el mercado, siendo el más usado debido a su capacidad de disipar el calor generado durante las operaciones energéticas que se dan en los múltiples elementos eléctricos del sistema. Sin embargo, presenta varios limitantes al momento de emplearlo como aislante térmico, de los cuales resalta los bajos niveles de biodegradación y punto de inflamación, estas características facilitan la contaminación por derrame o la propensión a incendios y accidentes laborales.

Un transformador de energía es una máquina eléctrica que se compone de diferentes elementos como el núcleo, los devanados, las válvulas y los radiadores, entre otros que requieren de un sistema de aislamiento a base de aceite o papel. En ese sentido, se destacan cuatro (4) factores principales por los cuales dicho aislamiento a base de aceite mineral se ve afectado: el calor, contaminación externa, el oxígeno y la humedad. En ese sentido, se tiene conocimiento de que el 90% del deterioro presentado en la celulosa del transformador tiene su origen en causas térmicas, en función del tiempo tales como la temperatura y resequedad del aislamiento. Las altas temperaturas ocasionan un envejecimiento de la celulosa aislante de manera acelerada, despolimerizando el papel o destruyéndolo totalmente, además los materiales ácidos, el agua y la emisión de gases como CO y CO₂ son otro efecto resultante de este fenómeno (Núñez & Bermúdez, 2009).

Referente a este tipo de aceite, es un derivado del petróleo que para su extracción es necesario generar contaminación, deforestación y reducción de la biodiversidad existente en un

ambiente predeterminado. Pese a que durante su fabricación se emplean algunos aditivos significativamente tóxicos como los antioxidantes DBPC, DBP y BHT, que normalmente se agregan en un porcentaje de 0,3 parte por millón (ppm), en la fase de transporte o ensamblaje de los transformadores no ocasionan un impacto grande al medio ambiente. Es más adelante, cuando en su operación normal, se expone a temperaturas altas y las fallas eléctricas o térmicas frecuentes, ocasiona la generación de gases contaminantes como el hidrogeno, etano, etileno, metano, acetileno, monóxido y dióxido de carbono. Posteriormente, cuando el transformador cumple su ciclo de vida útil, es donde se presenta el mayor impacto ambiental, ya que este se convierte en un residuo peligroso y de difícil desecho. En esta etapa los aceites minerales empleados, pueden contaminar el suelo, el agua o el aire mismo; por tal motivo se debe hacer un monitoreo constante y llevar a cabo el traslado del equipo a una bodega especial en la cual el grado de contaminación del transformador sea evaluado y determinar su disposición final (Rebolledo, 2014).

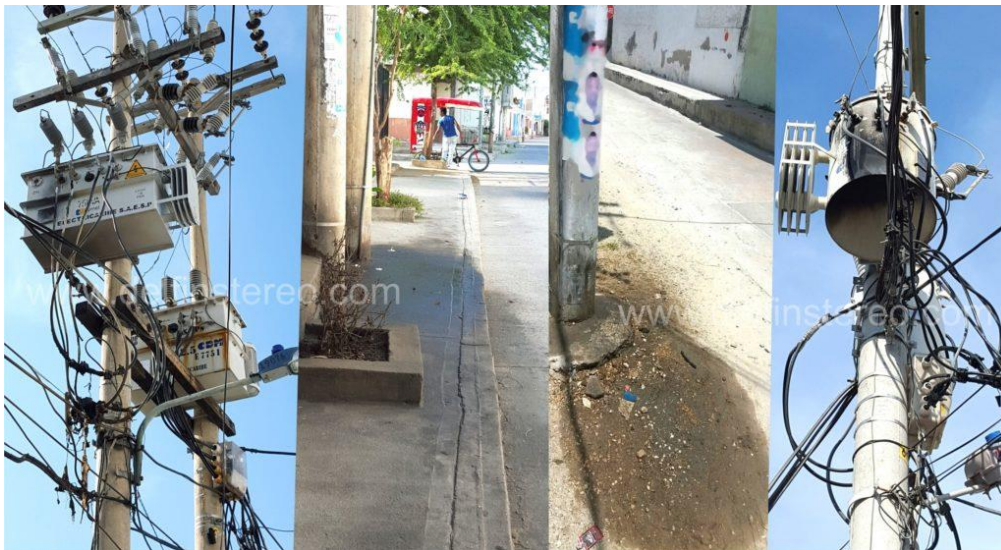


Figura 21. *Residuos de aceite mineral dieléctrico por fallas en transformador de baja tensión.*
Nota. Tomado de (Carrillo O, 2020).

En la figura anterior, se aprecia la contaminación al suelo que se origina como producto de las fallas que presentó un transformador y que gracias al recalentamiento resultante genera gases

tóxicos que afectan la salud humana y el efecto invernadero a largo plazo.

En ese sentido, las acciones de reducción del impacto ambiental propuestas por la empresa CENS perteneciente al grupo EPM para el año 2021, se encuentran referenciadas en su Informe de Sostenibilidad 2020. En este documento se explican las acciones que la empresa toma con respecto a la determinación de aspectos e impactos ambientales frente al derrame o fuga de residuos y/o sustancias peligrosas como el aceite dieléctrico con o sin PCB's, así como también la emisión de gases contaminantes; que mediante la aplicación de los estándares establecidos por la ISO 140001 de 2015 se estiman los efectos ambientales ocasionados en los procesos de almacenamiento, mantenimiento y disposición final. Pero que además, incluye controles operativos dentro de su hoja de ruta para cumplir con certeza los requisitos de preservación y desempeño ambiental de la organización (CENS, 2021).

Finalmente, se hace una apreciación con respecto a los aceites minerales empleados en los transformadores de energía impactan negativamente en el medio ambiente y afectan a largo plazo la salud humana, por ello el Grupo EPM al cual pertenece la empresa CENS ha tomado la decisión de aportar a la reducción de la contaminación medioambiental a través de la reestructuración progresiva de los transformadores energía, con el empleo de aceite vegetal como aislante ya que este posee características biodegradables y atóxicas; lo que reduce las probabilidades de contaminar el suelo, agua o aire al presentarse una falla por desbalance de cargas en algún circuito.

3.5 Sugerencias para el consumo inteligente de energía de los usuarios objeto de estudio.

Para la realización de este objetivo se debe aclarar que el balance ideal de cargas es

técnicamente improbable de conseguir, debido a que los sistemas eléctricos de distribución trabajan a demanda de carga estipulado por el consumo de energía de cada usuario, las sugerencias de configuración son dadas partiendo desde el punto de vista de la eficiencia de la energía eléctrica.

Son muchos los factores que intervienen en la regulación del consumo de energía y que, además, condicionan la capacidad de las redes de distribución para satisfacer las demandas totales de los usuarios del servicio. Es por ello que con el fin de reducir el impacto generado por el incremento de consumo de energía derivados de las variaciones de la demanda durante ciertas horas del día y contribuir al ahorro de energía desde los hogares, se ha diseñado una serie de recomendaciones para que los usuarios objeto de estudio y pertenecientes a los estratos 1, 2, 3 y 5 de la población de Cúcuta puedan hacer un uso eficiente de la energía desde sus hogares, además hay que tener en cuenta aspectos como las variaciones de temperatura para regular su consumo en ciertas épocas del año.

Igualmente, se hace énfasis a lo visto en el impacto ambiental, en que el consumo de energía tiene una incidencia considerable en las emisiones de CO₂ y por ello, las acciones que contribuyan al ahorro de energía son fundamentales para reducirlas. Se puede hacer una inferencia sobre las ideas de los consumidores sobre el gasto de energía de los equipos que usa en su hogar y/o la participación de estos en el consumo total de la red de energía eléctrica a la que pertenecen.

3.5.1 Uso racional y eficiente del consumo de energía en condiciones de calor

El incremento de la temperatura es un factor que afecta directamente el aumento del

consumo de energía y con mayor razón en una ciudad como San José de Cúcuta donde la temperatura media anual se sitúa entre los 22° C a 33° C. Por lo cual, el empleo de equipos como ventiladores y aires acondicionados produce que se incremente la demanda del servicio.

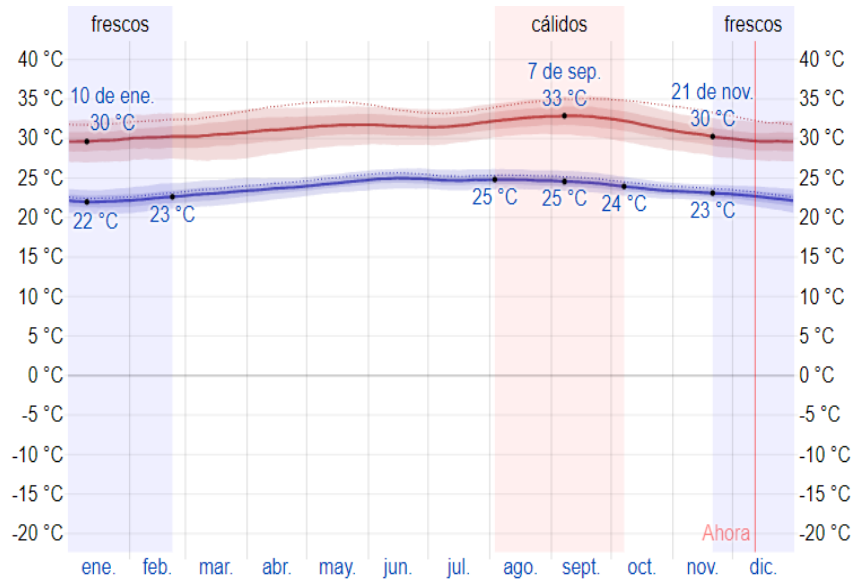


Figura 22. Temperatura mínima y máxima promedio de Cúcuta por meses

Nota: Tomado de Weatherspark (2021)

En la anterior figura se representa la temperatura máxima con una línea roja y la mínima con una azul, en ella se puede apreciar un incremento significativo que da inicio desde el mes de abril hasta finales de octubre cuando la temperatura máxima logra alcanzar los 33° C. Por otro lado, la siguiente figura representa las condiciones diarias de temperatura en la ciudad y las horas en que el incremento de temperatura hace más probable el uso de los equipos refrescantes en el hogar.

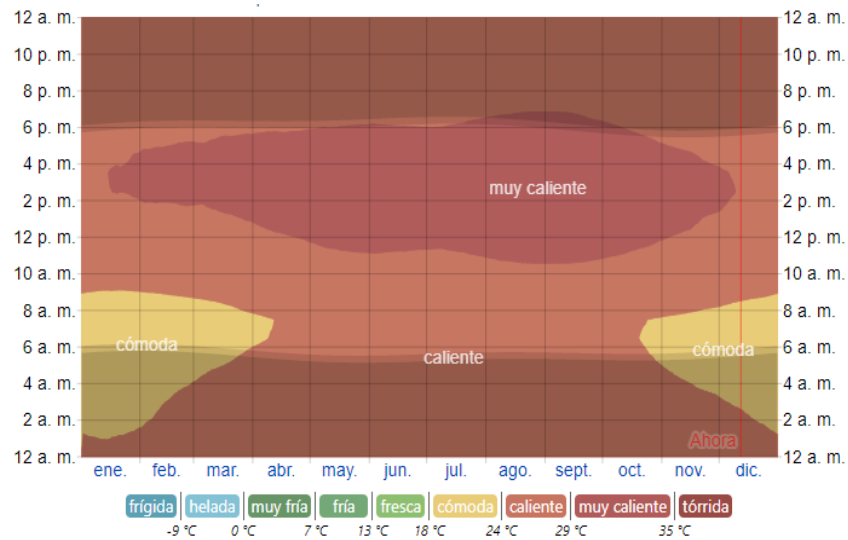


Figura 23. Temperatura promedio por hora Cúcuta

Nota: Tomado de Weatherspark (2021)

En la gráfica anterior se puede percibir que existen pocos periodos de tiempo durante el año en que las condiciones climatológicas son consideradas como cómodas y se dan en los dos meses iniciales y finales del año, dentro de los periodos de tiempo en que las personas generalmente están descansando, es decir, entre 2 a.m. y 8 a.m. Por el contrario, la mayoría del año la temperatura es caliente o muy caliente, incrementando en alto grado entre las 11 a.m. y las 6 p.m. Al comparar las series de la demanda de energía eléctrica se pudo establecer que estos cambios obedecen a las variaciones e incremento de temperatura, por tal motivo al evaluar las características climatológicas de la ciudad se pudo establecer que en la mayoría de los meses del año y más específicamente en el periodo de tiempo del medio se usa de forma masiva los aires acondicionados y los electrodomésticos de enfriamiento. El hecho es que el cambio climático, cuando se miden las variaciones de la temperatura media del aire, influye en la generación de cambios importantes en la demanda de energía.

En ese sentido, para contribuir a la eficiencia energética en tiempo donde las temperaturas son muy elevadas o sencillamente en las horas del día que se caracterizan por ello, los usuarios del

servicio pueden ventilar adecuadamente los espacios del hogar a través de la creación de corrientes de aire que refresquen la vivienda. Igualmente, se entiende que los equipos como los aires acondicionados consume mayor cantidad de energía cuando deben trabajar más para refrescar un determinado lugar, por ello en condiciones de calor excesivo este gastará un mayor periodo de tiempo para enfriar el ambiente deseado.

Recomendaciones para el uso del aire acondicionado. La climatización de los ambientes debe estar regulada, ya que su uso inadecuado incide en el incremento de la demanda energética y por ende influye en el comportamiento de las redes eléctricas. Por ello se recomienda lo siguiente:

Dar preferencia a equipos climatizadores que sean eficientes energéticamente, es decir, que posean la etiqueta Clase “A” y que, además, posean temporizadores para controlar su uso.

El equipo que se seleccione debe ser acorde a las especificaciones y dimensiones del espacio que se desea climatizar para evitar consumo adicional.

Los aires acondicionados deben protegerse externamente de los rayos del sol, pero sin bloquear la ventilación del mismo puesto que esto ocasione sobrecalentamiento y una elevación en el trabajo requerido para refrescar un ambiente.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que por cada grado de temperatura que se baja en un acondicionador de aire aumenta en un 7% el consumo de energía, por lo que en los meses de verano se recomienda tener el termostato en solo 24°C, temperatura suficiente para brindar comodidad al usuario.

El exceso de mugre en los filtros de ventilación del aire acondicionado también puede

perjudicar la circulación del aire lo que puede ocasionar que se reduzca o aumente su consumo hasta en un 10%, por tal motivo se recomienda hacer mantenimiento por lo menos dos veces al año.

Claro está, es preferible que para ventilar un espacio se empleen ventiladores que consumen menor cantidad de energía que los aires acondicionados.

Es necesario recalcar que las diferencias entre un aire acondicionado de clase A es una disminución del 20% en el consumo de energía con respecto a uno clase D o que posea características técnicas similares. En cuando al equipo de clase D de 10.000 a 12.000 BTU el consumo anual es de cerca de 520 kWh, mientras que uno con las mismas características clase A consume 430 kWh/año. Pero esto no solo impacta en el ahorro de 90 kWh de energía por año, sino que también las emisiones de gases invernadero CO₂ disminuye a razón de 48 kg CO₂.

Comportamiento de la climatización de los ambientes. Se recomienda a los usuarios del servicio de energía mantener los mecanismos de ventilación natural como puertas y ventanas cerrados mientras se esté haciendo uso de los aires acondicionados. Por otro lado, las viviendas que estén ubicadas en lugares donde la luz del solar impacta directamente requieren de mayor tiempo y energía para climatizarse, por lo tanto, es recomendable emplear colores claros en las cortinas para evitar que el espacio se caliente en exceso durante el día. Durante la noche cuando la temperatura es menor, es importante permitir el flujo de aire por cada uno de los espacios de la vivienda con el objeto de refrescarla de forma natural y no apoyándose en el equipo eléctrico.

3.5.2 Recomendaciones generales de eficiencia energética en el hogar

Se debe tomar en cuenta que el consumo energético dentro de los hogares depende de la

cantidad de equipos eléctricos con que se cuente y el número total de personas que residan en el lugar. Por lo tanto, es necesario que estos aparatos se compren pensando en un menor consumo o se renueven los mismos, dejando de lados los equipos que no son sostenibles o simplemente están demasiado antiguos. Dado que no se puede limitar, controlar o reducir a ciencia cierta el consumo de energía de cada uno de los miembros del hogar, se les debe sensibilizar y concientizar sobre la importancia de hacer un uso correcto de los dispositivos y equipos electrónicos.

Se debe tener en cuenta que el consumo de energía de un hogar está sujeto a dos variables, los kW que hace referencia a la potencia de los electrodomésticos y por otro lado, el tiempo durante el que se hace uso de los mismos. Por eso, es necesario que al comprar un equipo se tengan en cuenta la cantidad de vatios de potencia que necesita el mismo para funcionar. A continuación, se referencian una serie de recomendaciones para el desarrollo de actividades en un espacio o con un electrodoméstico que permitirán contribuir a la eficiencia energética del hogar.

Tabla 19. Recomendaciones de ahorro de energía en los hogares

Equipo o espacio	Recomendaciones
Estufa o cocina eléctrica	<p>Se debe cocinar con poca agua, es recomendable con las ollas tapadas y que sean del mismo tamaño de la parrilla donde se preparan los alimentos.</p> <p>Los hornos de menores dimensiones consumen una cantidad menor de energía.</p> <p>Se recomienda cocinar varios platos al mismo tiempo cuando se haga uso del horno microondas con el fin de evitar abrir la puerta del equipo innecesariamente.</p>
Nevera o refrigerador	<p>El electrodoméstico debe estar ubicado en un lugar con buena ventilación, a una distancia prudente de la pared y fuentes de calor.</p> <p>Los empaques de las puertas deben permanecer en buenas condiciones.</p> <p>Se debe evitar abrir las puertas innecesariamente.</p> <p>Es recomendable que los alimentos recién cocidos se dejen a</p>

	temperatura ambiente hasta que se refresquen y poder ingresarlos a la nevera.
Baño o sanitario	Se recomienda no utilizar extensiones o tomas múltiples, así como instalar tomas de corriente con características técnicas especiales para espacios húmedos.
Iluminación	Aprovechar la luz natural en lo sumo posible. Las paredes y techos deben estar pintadas de colores que contribuyan a la iluminación de los espacios. Emplear bombillas ahorradoras de energía. Realizar limpieza de lámparas y bombillas de manera frecuente.
Lavadora	Se recomienda sacar el máximo provecho de la capacidad total del equipo, puesto que su consumo eléctrico representa entre el 2% a 5% del total de la vivienda. El filtro se debe limpiar con regularidad.
Plancha	Dado que este electrodoméstico necesita de una cantidad considerable de energía, no se debe dejar conectada sin utilizar y se recomienda planchar la mayor cantidad de ropa en un mismo momento.

Nota: Elaboración propia en base a las recomendaciones de eficiencia energética EPM (2020).

Luminarias. Es importante destacar que, aunque los bombillos ahorradores de energía suelen tener un alto costo, estos aportan beneficios a largo plazo puesto que el consumo de energía es significativamente menor y su duración es mucho mayor que un bombillo tradicional. El consumo normal de un bombillo ahorrador de 20 W con respecto a uno tradicional de 100 W, es de una quinta parte. Igualmente, el desarrollo de la tecnología ha favorecido a la eficiencia energética, ya que a través de la invención de las bombillas LED se puede ahorrar más del 85% del consumo normal de energía de la vivienda.

Además, es indispensable recordar que la transformación de energía eléctrica por calor, como hacen algunos electrodomésticos entre ellos los secadores y las planchas de pesos genera un consumo mayor. Es recomendable que su uso sea moderado, puesto que estos dos equipos consumen hasta 1,2 kWh cuando se emplean.

Lavadoras. Estos equipos representan un porcentaje alto del consumo total del hogar, por lo cual es pertinente tener en cuenta una serie de recomendaciones durante la adquisición y uso del mismo.

Al momento de comprar una lavadora, se debe procurar que esté demarcado por su eficiencia energética y eficacia de lavado, los cual se representa con la letra “A”.

Figura 24. Etiqueta de eficiencia energética

ENERGÍA		LAVADORA DE ROPA	
Marca: Modelo: Tipo de producto:		ABCD ABC 123 Automática	
<p>Más eficiente</p> <p>A</p> <p>B</p> <p>C</p> <p>D</p> <p>E</p> <p>F</p> <p>G</p> <p>Menos eficiente</p>	EFICACIA DE LAVADO	EFICIENCIA ENERGÉTICA	
		C	A
	CONSUMO DE ENERGÍA (kwh/ciclo)	X,Y,Z	
	Eficacia de centrifugado <small>A: mejor G: peor</small>	A B CDEFG	
	Consumo de agua (L/ciclo)	X,Y,Z	
	Capacidad de lavado (kg)	X,Y,Z	
	Duración del programa (min)	X,Y,Z	
<p>IMPORTANTE</p> <p>El consumo real varía dependiendo de las condiciones de uso del artefacto y su localización. La Etiqueta debe permanecer en el producto y sólo puede ser retirada por el consumidor final. Ensayo realizado con el programa declarado por el fabricante como "Programa de algodón de 20°C" y con toma de agua fría de la red de suministro de los laboratorios a 20°C. Ensayos basados en el protocolo PEN 1-06-2 de la Superintendencia de Electricidad y Combustibles.</p>			

Nota: Tomado del Manual de especificaciones técnicas para el diseño de la etiqueta de eficiencia energética Para lavadoras de ropa. Fuente: WTO (2015).

Las categorías de eficiencia energética relacionadas en la figura anterior, en las que se clasifican desde la clase A hasta la G, siendo las clases A y B las más recomendables. Por otro lado, otro factor que se debe tener en cuenta al momento de comprar un electrodoméstico de lavado de ropa, es la eficiencia de los ciclos de lavado. En ese sentido, se debe procurar que los ciclos de lavado del equipo sean económicos y cortos, garantizando el ahorro de energía y una velocidad de centrifugado alta.

3.6 Resultados

- Se cumplieron los objetivos planteados al inicio del trabajo.
- Se realizó un aporte para un plan de mejoramiento de los sistemas de distribución de energía.
- Intervención de circuitos objeto de estudio para el mejoramiento de la calidad del servicio.
- Definición del impacto técnico para mejoras en la operación y control de pérdidas.
- Aporte de alternativas para los usuarios para reducción del costo del servicio de energía eléctrica.
- Aporte para el control de residuos sólidos y líquidos en cumplimiento de la gestión ambiental de la empresa.
- Aporte de recomendaciones para el uso racional y eficiente de la energía eléctrica.
- Impacto técnico.
- Impacto económico.
- Impacto ambiental.

Conclusiones

Los desbalances de cargas de los circuitos de redes de baja tensión ocasionan impactos negativos en la economía de los usuarios, ya que los sistemas desbalanceado presentan un mayor número de pérdidas técnicas reconocidas que se ven reflejados en el cobro de la factura de energía.

El acomodo de cargas contribuye de manera óptima a disminuir el desbalance y reducir pérdidas técnicas, puesto que al ajustar el consumo de energía en diferentes horarios se obtiene un sistema más equilibrado.

El ajuste de las tarifas por horario facilita el acomodo de cargas, ya que al evaluar el precio de generación que se cobra a partir del precio de bolsa, se puede evidenciar que el precio de bolsa es más económico de madrugada que el resto del día y si se establece una reducción en la tarifa de contrato regulado en la madrugada se obtiene un ahorro considerable, lo que incentiva el consumo energético en esos horarios.

El impacto económico de un acomodo de cargas puede ser significativo, puesto que se obtuvo un ahorro anual de \$30.135.015,36 para solo tres (3) de los seis mil ciento cuarenta y nueve (6149) circuitos totales de las redes de distribución del área metropolitana de Cúcuta.

Los malos hábitos de consumo de energía inciden en los impactos técnicos y económicos del servicio, al proponer recomendaciones para el uso eficiente de la energía se permite impactar en la sostenibilidad económica y ambiental de los usuarios.

El desbalance de cargas genera un impacto ambiental negativo afectando el suelo, aire y la salud de los mismos usuarios, el derrame de aceites minerales y la emisión de gases tóxicos son los causantes de dichas afectaciones debido a que estos fluidos contienen altos niveles de biodegradación y un alto punto de inflamación, por lo que no son amigables con el medio ambiente.

Cada una de las recomendaciones realizadas en el desarrollo de este proyecto permiten no solo impactar en la sostenibilidad económica y ambiental de los usuarios, sino que también influyen en un control moderado del consumo de energía que deben suplir las redes y circuitos eléctricos de la zona, lo que en última instancia afecta positivamente en la reducción de los costos que tiene que asumir la empresa de distribución del servicio CENS relacionados con el mantenimiento preventivo y correctivo por las fallas producidas por el desbalance de carga y variaciones excesivas de la demanda y de igual manera un impacto económico y ambiental positivo para los usuarios de la empresa.

Recomendaciones

Dado que el desbalance de cargas es un problema que compromete la calidad de los servicios de energía, se recomienda al operador de red realizar un monitoreo periódico y un análisis del impacto real del mismo, puesto que las acciones desarrolladas para evaluar dicho fenómeno no son lo suficientemente claras y eficientes. Por otro lado, se recomienda la implementación que ya se viene realizando por cada una de las filiales del grupo EPM de los aceites dieléctricos minerales por los de origen vegetal, con el fin de mejorar las condiciones de trabajo de los equipos distribuidores y reducir la huella contaminante de estos.

Se recomienda seguir realizando este tipo de estudios, ya que el acomodo de cargas en los circuitos de las redes de distribución podría ser una alternativa en búsqueda del mejoramiento de operación y control de pérdidas de energía en las redes de distribución, ya que se pudo evidenciar que con los modelos de demanda ideal se tiene un impacto técnico, económico y ambiental positivos tanto para la empresa prestadora del servicio como para los usuarios.

Por otro lado, se hace énfasis en la capacidad residencial de aumentar su consumo energético, lo que se puede lograr a través de la optimización de las instalaciones y un uso responsable del servicio. Tomando en cuenta que las variaciones de las demandas de energía dependen de la cantidad de personas y equipos que componen un hogar, es necesario que la empresa haga una sensibilización sobre la importancia económica y ambiental de la eficiencia energética.

De acuerdo con el análisis desarrollado, se puede inferir que, para la realización de investigaciones posteriores, se debe describir y establecer la relevancia del clima en la demanda del servicio eléctrico, ya que factores como las variaciones de temperatura y la humedad del ambiente intervienen en el incremento o disminución de la demanda. Además, se recomienda

desarrollar un modelo econométrico que incluya variables como la laboralidad o estacionalidad producto de los periodos de temporada vacacional.

Se recomienda al operador de red realizar un monitoreo periódico y un análisis del impacto real del mismo, puesto que las acciones desarrolladas para evaluar dicho fenómeno no son los suficientemente claras y eficientes.

De acuerdo con el análisis desarrollado, se puede inferir que, para la realización de investigaciones posteriores, se debe describir y establecer la relevancia del clima en la demanda del servicio eléctrico.

Se recomienda la implementación aceites dieléctricos de origen vegetal en vez de los de aceite mineral, con el fin de mejorar las condiciones de trabajo de los equipos distribuidores y reducir la huella contaminante de estos.

Es necesario que la empresa haga una sensibilización sobre la importancia económica y ambiental de la eficiencia energética ya que la demanda de energía vista en el modelo real en horarios de la noche se ve afectada también por el mal uso de los electrodomésticos y la manera ineficiente de como se consume la energía por parte de los usuarios.

Referencias

- Abreu, A., Ochoa, G., & Zabaleta, S. (2015). *Repositorio Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín*. Obtenido de Sistema de medición y control de potencia eléctrica con registro histórico de eventos de consumo en hogares de Maracaibo:
<http://virtual.urbe.edu/tesispub/0100477/cap02.pdf>
- Andrés B, T. (2020). *BBVA: Sostenibilidad*. Obtenido de ¿Qué es y como calcular la potencia eléctrica?: <https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-y-como-calcular-la-potencia-electrica/>
- BBEMG Dictionary. (2021). *Scientific Committees*. Obtenido de Corriente eléctrica: Definición:
https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/artificial-light/es/glosario/abc/corriente.htm
- Bedoya, D. E., Arango L, C., & Carvajal Q, S. X. (2017). *Repositorio Universidad Nacional*. Obtenido de Análisis técnico-económico de los efectos del desbalance en redes de distribución con inclusión masiva de generación distribuida:
<https://revistas.unal.edu.co/index.php/SICEL/article/download/63740/66173/384489>
- Borges, D., González, A., & León, V. (2007). Estimación de la demanda en sistemas eléctricos de baja tensión en condiciones de desbalance. *Energética*, 28(3), 07-14. Obtenido de Estimación de la demanda en sistemas eléctricos de baja tensión en condiciones de desbalance: <https://www.redalyc.org/pdf/3291/329127738002.pdf>
- Brea, E. (2009). Optimización de balance de cargas en sistemas de distribución de energía eléctrica. *Faculta de Ingeniería Universidad Central de Venezuela*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652009000300005
- Buenaventura R, J. L., & Velásquez L, M. F. (2011). *Repositorio Escuela Superior Politécnica*

del Litoral. Obtenido de Pérdidas por efecto corona en la línea de transmisión de 500 kV Quito-Guayaquil: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/21322/1/D-91506.pdf>

Carrasquilla B, S. (2017). *Repositorio Universidad Tecnológica de Pereira*. Obtenido de Análisis de armónicos en redes residenciales:
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8979/T621.38223%20C313.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Carrillo O, A. F. (2020). *Repositorio Universidad Antonio Nariño*. Obtenido de Impacto del desbalance de cargas en líneas de distribución de energía eléctrica:
<http://186.28.225.13/bitstream/123456789/2577/1/2020AlexisFernandoCarrilloOsorio.pdf>

CENS. (2021). *Centrales Eléctricas de Norte de Santander*. Obtenido de Informe de Sostenibilidad 2020: Gestión con el medio ambiente:
<https://sostenibilidadcens.com/21/gestion-con-el-medio-ambiente/>

CENS Grupo EPM. (2020). *CENS*. Obtenido de Informe de sostenibilidad:
https://www.cens.com.co/Portals/0/informe_disponibilidad/Informe_de_Sostenibilidad_CENS_2020.pdf?ver=2021-04-20-102046-333

DANE. (06 de Agosto de 2019). *Departamento Administrativo Nacional de Estadística*. Obtenido de Resultados Censo Nacional de Población y Vivienda 2018 :
<https://www.dane.gov.co/files/censo2018/informacion-tecnica/presentaciones-territorio/190806-CNPV-presentacion-Norte-de-Santander.pdf>

Efimarket. (2020). *Efimarket*. Obtenido de Catálogo técnico de medida y control eléctrico:
<https://www.efimarket.com/media/pdf/AR6-catalogo-tecnico.pdf>

GenTeca. (2020). *GenTeca*. Obtenido de Desbalance de voltaje en instalaciones eléctricas:
<http://www.genteca.com.ve/desbalance-de-voltaje-en-instalaciones-electricas.a.aspx>

Gobernación de Norte de Santander. (2019). *Norte de Santander*. Obtenido de Plan de Desarrollo 2020-2023: http://www.nortedesantander.gov.co/portals/0/pdd_2020-2023_plan_de_desarrollo.pdf

Gobernación de Norte de Santander. (2020). *Norte de Santander*. Obtenido de Información General Norte de Santander: http://www.nortedesantander.gov.co/Gobernaci%C3%B3n/Nuestro-Departamento/Informaci%C3%B3n-General-Norte-de-Santander#item6_1

González V, L. A., Huerta V, F., & Sellschopp, F. S. (2016). Comportamiento de las armónicas de voltaje y corrientes debido a desbalances de líneas en un sistema eléctrico de potencia con cargas no lineales. *Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo*, 1(2). Obtenido de <http://revistacid.itslerdo.edu.mx/coninci2016/CID%2013.%20Comportamiento%20de%20las%20Arm%C3%B3nicas%20de%20Voltaje%20y%20Corrientes,%20Debido%20a%20Desbalances%20de%20L%C3%ADneas%20en%20un%20Sistema%20El%C3%A9ctrico%20de%20Potencia%20con%20Cargas%2>

Grupo Energos. (2020). Obtenido de ¿Qué es calidad de energía eléctrica?: <https://www.grupoenergoss.com/calidad-energia#:~:text=La%20Calidad%20de%20Energ%C3%ADa%20El%C3%A9ctrica,la%20corriente%20o%20a%20la%20frecuencia.>

Hernández Sampieri, R. (1997). *Metodología de la Investigación*. Naucalpan, Estado de México: McGraw-Hill Interamericana de México.

IECOR. (2020). *IECOR*. Obtenido de Calidad de energía eléctrica: Fundamentos: <https://www.iecor.com/calidad-de-energia-electrica/>

Juárez C, J. D. (1995). *Sistemas de distribución de energía eléctrica*. México, D.F.: Sans Serif Editores. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/48392416.pdf>

L. Ferro, G. L. (2016). *Universidad de Mar del Plata: Facultad de Ingeniería*. Obtenido de

Sistemás trifásicos:

http://www3.fi.mdp.edu.ar/dtoelectrica/files/electrotecnia/e_im_8_circuitos_trifasicos.pdf

López B, J. R., & Ventura G, E. N. (2019). *Repositorio Universidad de El Salvador*. Obtenido de

Estudio de desbalance de tensiones y sus efectos en la calidad del producto técnico para sistemas de distribución a nivel industrial:

<http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/19500/1/Estudio%20del%20desbalance%20de%20tensiones%20y%20sus%20efectos%20en%20la%20calidad%20del%20producto%20t%C3%A9cnico%20para%20Sistemas%20de%20Distribuci%C3%B3n%20a%20Nivel%20Industrial.pdf>

Luque R, F. J. (2018). *Control y verificación de productos fabricados*. Málaga: IC Editorial.

METREL. (2021). *METREL*. Obtenido de MI 2898 Power Master:

<https://www.metrel.es/es/shop/PQA/mi-2892.html>

MinEnergía. (11 de julio de 1994). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de Ley 142 de 1994:

<https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/670382/LEY142DE1994.pdf/68f0c21d-fd78-4242-b812-a6ce94730bf1>

MinEnergía. (11 de julio de 1994). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de Ley 143 de 1994:

https://www.minenergia.gov.co/documents/10180/667537/Ley_143_1994.pdf

MinEnergía. (01 de junio de 2020). *Ministerio de Minas y Energía*. Obtenido de Comunicado

Norma Técnica Colombiana 2050:

<https://www.minenergia.gov.co/documents/10192/24202796/COMUNICACION+NORMA+NTC+2050+2-2020-008751.pdf>

MinTrabajo. (22 de noviembre de 2019). *Ministerio de Trabajo*. Obtenido de Resolución 5018 de

2019: https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_mtra_5018_2019.htm

- Núñez, J., & Bermúdez, G. (2009). *Escuela Superior Politécnica del Litoral*. Obtenido de Guía para el mantenimiento de transformadores de potencia:
<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/231/1/370.pdf>
- Ortiz N, L. (1986). Manifestaciones del efecto corona en líneas de transmisión de corriente alterna. *Contribuciones Científicas y Tecnológicas*(73). Obtenido de
<https://www.revistas.usach.cl/ojs/index.php/contribuciones/article/view/2362/2179>
- Otzen, T., & Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *International Journal of Morphology*, 35(1), 227-232. Obtenido de Técnicas de muestreo sobre una población de estudio: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijmorphol/v35n1/art37.pdf>
- Pascual, H. O., Maccarone, J. L., Albanese, A. A., & et. al. (2016). *Repositorio Universidad Tecnológica Nacional de Córdoba*. Obtenido de Cuantificación del desbalance admisible en corrientes, para redes de distribución eléctrica de baja tensión:
<https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/2403/Cuantificaci%C3%B3n%20del%20desbalance%20admisibile%20en%20corrientes%2C%20para%20redes%20de%20distribuci%C3%B3n%20el%C3%A9ctrica%20de%20baja%20tensi%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=Un%20s>
- Pérez A, I. (2015). Métodos computaciones para el análisis y optimización de sistemas de suministro eléctrico en presencia de desbalance y armónicos. *Academia de Ciencias de Cuba*, 5(3). Obtenido de <http://revistaccuba.sld.cu/index.php/revacc/article/view/243/243>
- Presidencia de la República. (2010). *Función Pública*. Obtenido de Decreto 2820 de 2010:
<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=45524>
- Rebolledo, G. (2014). *Universidad Autónoma de Occidente*. Obtenido de Evaluación de la viabilidad técnica y económica de la utilización de aceite dieléctrico vegetal como sustituyente del aceite dieléctrico mineral en transformadores de distribución nuevos y

usados en las empresas municipales de Cali:

<https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/5819/T03826.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Taco C, V. G. (2012). *Universidad Politécnica Salesiana Ecuador*. Obtenido de Análisis en los primarios de distribución de las subestaciones: No.02, No.10, No.12, No.32 y No.53 pertenecientes a la Empresa Eléctrica Quito S.A. para reducir pérdidas:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1898/2/01%20Perdidas%20en%20distribucion.pdf>

Vera P, A. (2014). Obtenido de Propuesta para acomodo de carga en los circuitos de distribución primaria de la ciudad de Holguín:

<https://nive.ismm.edu.cu/bitstream/handle/123456789/2341/VeraPupo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Zapata, C. J., & Gómez C, O. (2006). Obtenido de Efecto del desbalance en las cargas sobre la valoración de confiabilidad de un sistema de distribución de energía eléctrica:

<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n25/n25a6.pdf>