



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BAJA TENSIÓN DE LA
RED DE DISTRIBUCIÓN RURAL Y SUS EFECTOS EN LOS PRODUCTORES DE
CAFÉ DE LA ALDEA FERIA, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS**

Manuel Daniel Milian de León

Asesorado por el Ing. Jorge Gilberto González Padilla

Guatemala, mayo de 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BAJA TENSIÓN DE LA
RED DE DISTRIBUCIÓN RURAL Y SUS EFECTOS EN LOS PRODUCTORES DE
CAFÉ DE LA ALDEA FERIA, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MANUEL DANIEL MILIAN DE LEÓN

ASESORADO POR EL ING. JORGE GILBERTO GONZÁLEZ PADILLA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

GUATEMALA, MAYO DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Oscar Humberto Galicia Nuñez
VOCAL V	Br. Carlos Enrique Gómez Donis
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Armando Gálvez Castillo
EXAMINADOR	Ing. Julio Rolando Barrios Archila
EXAMINADOR	Ing. Jorge Gilberto González Padilla
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BAJA TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN RURAL Y SUS EFECTOS EN LOS PRODUCTORES DE CAFÉ DE LA ALDEA FERIA, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, con fecha 29 de julio de 2014.



Manuel Daniel Milian de León

Guatemala, 17 de octubre de 2016

Ingeniero
Otto Fernando Andrino González
Coordinador Área de Electrotecnia
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estimado Ingeniero:

Reciba un atento saludo de mi parte, la razón de la presente es para comunicarle que he revisado y asesorado el trabajo de graduación desarrollado por el estudiante **Manuel Daniel Milián De León** con número de carné **1999-11773**, titulado **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BAJA TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN RURAL Y SUS EFECTOS EN LOS PRODUCTORES DE CAFÉ DE LA ALDEA FERIA, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS** y luego de haber realizado las revisiones y correcciones correspondientes, he encontrado que el mismo ha sido concluido satisfactoriamente, por lo que procedo a notificar por este medio su aprobación final.

Atentamente,

Jorge Gilberto González Padilla
INGENIERO ELECTRICISTA
No. DE COLEGIADO 9055

Jorge Gilberto González Padilla
Ingeniero Electricista
Colegiado: 9055



FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 21.2018.
13 DE MARZO 2018.

Señor Director
Ing. Otto Fernando Andrino González
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

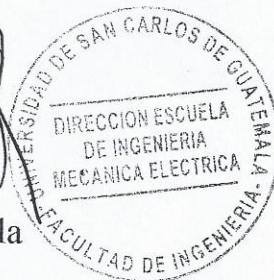
Señor Director:

Me permito dar aprobación al trabajo de Graduación titulado:
**MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BAJA
TENSION DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN RURAL Y SUS
EFECTOS EN LOS PRODUCTORES DE CAFÉ DE LA ALDEA
FERIA, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS**, del
estudiante; Manuel Daniel Milián De León, que cumple con los requisitos
establecidos para tal fin.

Sin otro particular, aprovecho la oportunidad para saludarle.

Atentamente,
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Ing. Julio Rolando Barrios Archila
Coordinador de Electrotécnia

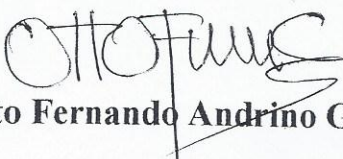




FACULTAD DE INGENIERIA

REF. EIME 21.2018.

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen el Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Área, al trabajo de Graduación del estudiante; **MANUEL DANIEL MILIÁN DE LEÓN** titulado: **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BAJA TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN RURAL Y SUS EFECTOS EN LOS PRODUCTORES DE CAFÉ DE LA ALDEA FERIA, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Otto Fernando Andrino González



GUATEMALA, 19 DE ABRIL 2018.



DTG. 179 .2018

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al Trabajo de Graduación titulado: **MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN BAJA TENSIÓN DE LA RED DE DISTRIBUCIÓN RURAL Y SUS EFECTOS EN LOS PRODUCTORES DE CAFÉ DE LA ALDEA FERIA, SAN RAFAEL PIE DE LA CUESTA, SAN MARCOS**, presentado por el estudiante universitario: **Manuel Daniel Milian de León**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Ángel Roberto Sic García
Decano en Funciones



Guatemala, mayo de 2018

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

Dios

Por cuidar mis pasos en esta vida.

Mis padres

La licenciada Marne Soraida de León Zaldaña, por ser el pilar fundamental de mi familia y Manuel de Jesús Milián Girón, por darme la vida y la sabiduría con su ejemplo.

Mis abuelos

Zoila de Jesús Gómez (q. d. e. p.), Manuel Milián Peláez, David de León y en especial a Rosa Vitalina Zaldaña Escobar (q. s. e. p.), Mama Rosa, por su amor, comprensión y apoyo, me hicieron seguir adelante hasta el día de hoy; te amo.

Mis hermanas

Cesia, Susana y Raquel Milián, para que este esfuerzo demuestre mi amor eterno hacia ustedes.

Mis sobrinos

Camila, Elisa y Mateo Guevara, los llevo en mi corazón.

Mis tíos

Mama Nora, Luis Wilber, Moisés, Claudia de León, Luis, Héctor, Zoila y Rosa Milián, tía Esperanza, por enseñarme el inmenso valor que tiene nuestra familia.

Mis primos

Por su amor y comprensión, en especial a César Fuentes.

Mis amigos

Abner López, Augusto Álvarez, Edgar López, Julin Guerra, Daniel García, Elmar Murcia, Esdras Tobar, Susy Pantaleón, Víctor Córdova, Smiley Barillas y Nicolas Rivas, Ing. Guillermo Puente e Ing. Gilberto González. En especial, a la Licda. Roselia Gallardo, por su apoyo, buenos consejos, los llevaré en mi mente por siempre.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios	Por su infinito amor, misericordia y bendiciones sobre mí.
Mis padres	Por su paciencia y sobretodo, por su apoyo incondicional.
Mi novia	Por su gran amor.
Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser mi casa de estudios y darme la formación como profesional en cada una de sus aulas.
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica	A cada uno de los profesionales que me impartieron sus conocimientos.
Mi asesor	Ing. Jorge Gilberto González Padilla, gracias por su apoyo, asesoría y confianza.
Pueblo de Guatemala	Por brindarme una educación gratuita y de calidad, espero retribuir todo lo que he recibido.

**Finca El Refugio,
aldea Feria,
San Rafael Pie
de la Cuesta,
San Marcos**

Por facilitarme los medios para realizar este trabajo; a todos los profesionales que me aportaron datos y en especial al Ing. Douglas Zeceña de la empresa Energuate, quienes me compartieron su experiencia y conocimientos.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	XI
GLOSARIO	XIII
RESUMEN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Energía.....	1
1.2. Tipos de energía.....	2
1.3. Energía eléctrica en Guatemala	4
1.4. Antecedentes de la producción de café en Guatemala	5
1.5. El ciclo de la producción del café	6
1.5.1. El cultivo	6
1.5.2. La cosecha	7
1.5.3. El beneficio	7
1.5.4. Despulpado del fruto.....	7
1.5.5. Lavado mecánico.....	8
1.5.6. Secado mecánico	9
1.6. Uso de energía eléctrica en el proceso de producción del café.....	10
1.7. Descripción de las necesidades	11
1.8. Administración de la energía eléctrica.....	12
1.8.1. Control del consumo de energía eléctrica	12

2.	MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	15
2.1.	Descripción del estudio	15
2.2.	Sistema de suministro eléctrico.....	15
2.3.	Red de distribución eléctrica	17
2.3.1.	Red primaria de distribución.....	17
2.3.2.	Centros de transformación	18
2.3.3.	Red secundaria de distribución	19
2.4.	Tipos de sistemas de distribución según el tipo de construcción	20
2.4.1.	Sistema de distribución aéreo	20
2.4.2.	Tipos de sistemas de distribución según la carga ...	20
2.4.3.	Sistema de distribución urbano y residencial	21
2.5.	Líneas aéreas de baja tensión	21
2.5.1.	Conductores	21
2.5.2.	Cálculos eléctricos	24
2.5.3.	Cálculos mecánicos	24
2.5.4.	Tensiones mecánicas.....	27
2.5.5.	Postes de baja tensión	27
2.5.6.	Puesta a tierra (PAT).....	28
2.5.7.	Accesorios de BT	28
2.5.8.	Protección de acometida	29
2.5.9.	Gráficas de interruptores termomagnéticos.....	30
2.5.10.	Borna terminal BT: conexionado	33
2.5.11.	Longitudes máximas redes BT	34
2.6.	Pérdidas de energía	35
2.7.	Eficiencia en sistemas eléctricos.....	38
2.8.	Eficiencia energética	39
2.9.	Eficiencia energética en sistemas de distribución eléctrica.....	39

3.	MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DEL CAFÉ.....	41
3.1.	Eficiencia energética en la producción industrial	41
3.1.1.	Sistemas eléctricos.....	41
3.2.	Administración de la energía eléctrica.....	43
3.2.1.	Control del consumo de energía eléctrica	43
3.2.2.	Controles de encendido y apagado	44
3.2.3.	Controladores programables	45
3.2.4.	Control de la demanda máxima.....	45
3.3.	Control del factor de potencia.....	48
3.3.1.	Motores eléctricos.....	49
3.3.2.	Ajustar la velocidad de operación del motor	52
3.3.3.	Operar el motor en su carga nominal	52
3.3.4.	Cambiar a motores de alta eficiencia.....	53
3.3.5.	Instalación de dispositivos de arranque de motores.....	55
3.3.6.	Variadores de velocidad	56
3.4.	Hornos eléctricos.....	58
3.4.1.	Iluminación.....	62
3.4.2.	Lámparas.....	63
3.4.3.	Clasificación general.....	63
3.5.	Buenas acciones en el uso de energía eléctrica	68
3.5.1.	Automatizar los procesos	69
3.5.2.	Suspensión de equipos	71
3.5.3.	Eficiencia energética en motores.....	71
3.5.4.	Eficiencia energética en hornos.....	73

4.	DIAGNÓSTICO DE LA EFICIENCIA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA DEL CAFÉ	75
4.1.	Estudio inicial	75
4.2.	Diagnóstico en la fuerza motriz de la industria del café	82
5.	PROPUESTAS PARA MEJORAS Y CORRECCIONES DE LA RED DE BAJA TENSIÓN	85
5.1.	Sectorización de la red de baja tensión.....	85
5.1.1.	Tipos de sistemas y niveles de voltajes secundarios	87
5.1.1.1.	Sistema monofásico-trifásica trifilar (1 -3H) 120/240 V	87
5.1.2.	Prácticas de sectorización actuales	88
5.1.2.1.	Sistema radial.....	88
5.2.	Centrado de carga.....	90
5.2.1.	Bancos secundarios	91
5.2.2.	Mejora de la eficiencia de transformadores de distribución	92
5.2.3.	Optimización de la potencia reactiva	92
5.2.4.	Rebalanceo de fases.....	93
5.2.5.	Sustitución de los transformadores existentes por unidades de mayor capacidad	93
5.2.6.	Límites de carga de un transformador	94
5.2.7.	Característica crítica del transformador.....	95
5.2.8.	Condiciones de protección contra sobrecargas.....	96
5.2.9.	Potencias, puentes y conductores normalizados	98
5.3.	Reconductorado de la red	99
5.3.1.	Acometida	102
5.3.1.1.	Cable de acometida concéntrico	103

5.4.	Resumen del plan de mejoras en la red de baja tensión	105
6.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	107
6.1.	Reducción de pérdidas en distribución	107
6.1.1.	Procedimiento	107
6.1.2.	Condiciones de referencia	107
6.1.3.	Reducción de consumo y pérdidas	109
6.1.4.	Resultados para distribución	111
6.2.	Reducción de pérdidas en transmisión	114
6.2.1.	Procedimiento	115
6.3.	Reducción de pérdidas	115
6.3.1.	Resultados para transmisión	117
6.4.	Resultados para la industria	121
6.4.1.	Motores eléctricos de alta eficiencia	122
6.4.2.	Pérdidas de energía y eficiencias	122
6.4.2.1.	Eficiencia	122
6.4.2.2.	Iluminación	125
	CONCLUSIÓN	127
	RECOMENDACIONES	129
	BIBLIOGRAFÍA	131

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Sistema de suministro eléctrico.....	16
2.	Diagramas de I^2t , valor de la energía específica pasante I^2t	31
3.	Curvas de limitación, valores de intensidad de pico.....	32
4.	Causas de la pérdida de energía	37
5.	Eficiencia de motores estándar y de alta eficiencia.....	54
6.	Buenas acciones en el uso de energía eléctrica	69
7.	Medidor 120 voltios vca marca Landis GyR análogo	77
8.	Conductor dúplex # 2 con neutro desnudo marca Condumex, parte 1	78
9.	Conductor dúplex #2 con neutro desnudo marca Condumex, parte 2	79
10.	Tablero de protección principal (federal pacific electric).....	80
11.	Varilla de cobre con mordaza.....	81
12.	Motor diésel de 5HP marca Briggs &Stratton.....	82
13.	Motor eléctrico 1HP marca General Electric	83
14.	Instalaciones eléctricas en mal estado.....	83
15.	Sistema monofásico trifilar usado en áreas de bajo consumo en kW	88
16.	Sistema radial secundario	90
17.	Vida útil del transformador (años) vrs temperatura (T).....	94
18.	Vida útil del transformador (min) vrs corriente (I/In)	95
19.	Vida útil del transformador (min) vrs corriente (I/In)	96
20.	Vida útil del transformador (min) vrs corriente (I/In)	97

21.	Red de baja tensión abierta	100
22.	Red de baja tensión con triplex trenzado # 2	100
23.	Acometida 120 V 2 hilos con dúplex # 6	103
24.	Cable concéntrico AL 2X6 60A 600 V	104
25.	Acometida instalada con cable concéntrico	104
26.	Consumo de energía eléctrica en Guatemala 1986 - 2026.....	109
27.	Proyección de la reducción total de consumo mediante reducción de tensión y la implementación de medidas para reducir pérdidas en la distribución	112
28.	Proyección de la reducción de pérdidas en distribución por tipo de tecnología	113
29.	Proyección de la reducción de emisiones de CO2 mediante reducción de consumo y pérdidas en la distribución.....	114
30.	Reducción de pérdidas de transmisión por tipo de tecnología/medida.....	118
31.	Reducción porcentual de pérdidas de transmisión por tipo de tecnología/medida.....	119
32.	Contribución de la reducción de pérdidas en transmisión a la disminución del total de emisiones de CO2 producidas por el sistema eléctrico	120
33.	Comparativo de eficiencia.....	124
34.	Consumo de energía debido al alumbrado en industrias (estimación)	125

TABLAS

I.	Características del despulpador.....	8
II.	Conductores en BT	22
III.	Características de los conductores en BT	22

IV.	Uso en líneas BT y acometidas.....	23
V.	Cálculos eléctricos	24
VI.	Márgenes permitidos en caída de tensión (%)	25
VII.	Niveles de electrificación por cliente (kw).....	25
VIII.	Cálculos mecánicos de la línea	26
IX.	Tensado de cables trenzados	26
X.	Especificación de los postes	27
XI.	Especificación de la protección de acometidas.....	29
XII.	Interruptores automáticos para la protección de la acometida	30
XIII.	Bornas terminal	34
XIV.	Longitud máxima de la red de baja tensión (metros)	35
XV.	Sistemas de control de demanda.....	48
XVI.	Ventajas y desventajas derivadas del factor de potencia.....	49
XVII.	Número de arranques permitidos y mínimo tiempo entre arranques ...	51
XVIII.	Características de desempeño.....	57
XIX.	Medidas de ahorro de energía en hornos	61
XX.	Gasto porcentual en energía eléctrica por iluminación en sectores	62
XXI.	Comparación de tipo de lámparas en semáforos	68
XXII.	Potencias, puentes y tipo de conductores para transformadores.....	98

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
ACSR	<i>Aluminium conductor steel reinforced</i>
B T	Baja tensión
CA	Corriente alterna
CC	Corriente continua
E	Energía
gal	Galones
H	Hora
Hz	Hertzios (<i>hertz</i> , frecuencia)
HP	Caballo de fuerza (<i>horse power</i>)
I	Corriente (amperios)
J	Julio (<i>joule</i> energía)
kW	Kilovatio (mil vatios)
lb	Libra
M	Masa
MW	Megavatio (millones de vatios)
m	Metro (longitud)
MT	Media tensión
min	Minutos
P	Potencia
PG	Potencia generada
plg	Pulgada
Pre	Presión
Pt	Potencia teórica

s	Segundos (tiempo)
T	Tiempo
t	Instante
V	Voltio (voltaje)
Vol	Volumen
W	Vatio (watt, potencia)

GLOSARIO

Acometida	Es la parte del sistema de distribución secundario que, partiendo de la red de distribución (punto de toma), transporta la energía eléctrica hasta el punto de utilización del usuario (punto de entrega).
Baja tensión	Nivel de tensión menor o igual a mil voltios (1 000 V).
Carga	Medida eléctrica que se expresa generalmente en ampere, kilowatt (kW), o kilovolt-ampere (kVA).
Clase DaN	Esfuerzo nominal para postes de hormigón pretensado centrifugado o vibrado.
CNEE	Comisión Nacional de Energía Eléctrica.
Demanda	Es la carga en las terminales receptoras tomada en un valor medio en determinado intervalo.
Eficiencia energética de un sistema de suministro eléctrico	Se define como el cociente entre la potencia de salida (que es igual a la potencia de entrada menos las pérdidas y la potencia de entrada al sistema).
Energía eléctrica	Se define como un recurso con gran incidencia en los procesos productivos; así mismo, genera el confort en las actividades cotidianas, la cual se

relaciona con el confort, la calidad de vida y el desarrollo económico.

Factor de potencia Es el factor que se aplica a la demanda de potencia en (kW) para convertirla en potencia en kVA.

Generación Actividad que consiste en producir energía eléctrica.

INDE Instituto Nacional de Electrificación.

Led Es un semiconductor que emite luz al paso de una corriente eléctrica de baja intensidad, sin utilizar ningún filamento o gas y que tiene la propiedad leve de producir la misma cantidad de luz que las bombillas incandescentes tradicionales, pero utilizando un 90 % menos de energía.

Mantenimiento Conjunto de actividades que se realizan para mejorar la vida útil de las instalaciones por medio de reparaciones mínimas, limpieza, diagnóstico de tierras y otras que se planifican a realizarse periódicamente y que transforman en más eficiente y confiable el proceso de transporte y distribución de energía eléctrica.

Motor eléctrico Dispositivo que transforma la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Sus máquinas eléctricas rotatorias están compuestas por un rotor y un estator.

NTDROID	Normas técnicas de diseño y operación de las instalaciones de distribución
NTSD	Normas técnicas del servicio de distribución
PAT	Puesta a tierra.
Pulpero para café	Maquinaria de cilindro vertical que está constituida por un cilindro de hierro fundido y/o aluminio, en el cual va fija una camisa de cobre y/o acero inoxidable con ponchaduras de diversos tipos y tamaños. Cuando el cilindro gira, presiona el fruto maduro contra una plancha cóncava conocida como pechero, que posee canales por donde se ven forzados a moverse los granos sueltos y las cámaras para la pulpa para que esta sea eliminada continuamente que gira sobre un eje horizontal para despulpar frutos de café de diferentes tamaños.
Sistema de distribución	Conjunto de instalaciones desde 120 V hasta tensiones de 34,5 kV encargadas de entregar la energía eléctrica a los usuarios, tomándola de los transportistas.
Transporte	Actividad que consiste en transportar la energía eléctrica desde el generador hasta los distribuidores.

Usuario

Persona individual o jurídica que recibe el servicio de energía eléctrica del distribuidor, en alta, media o baja tensión.

RESUMEN

La energía es vital para mover o transformar algo; se dice que la energía se transforma, se transfiere, se conserva y se degrada, se caracteriza y divide energía mecánica, química, nuclear y renovable, obteniéndose de fuentes naturales virtualmente inagotables; entre las energías renovables se cuenta la eólica, geométrica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los biocarburantes.

Guatemala cuenta desde 1884 con la primera hidroeléctrica la cual fue situada en la finca El Zapote, al norte de la ciudad capital; al paso del tiempo se construye la hidroeléctrica Santa María ubicada en el municipio de Zunil Quetzaltenango, para proveer de energía al ferrocarril de Los Altos. Guatemala depende de un 80 % de energía eléctrica que le provee el INDE y EEGSA.

La producción del café es importante para Guatemala ya que contribuye económicamente al estado; se construyen carreteras, puertos y ferrocarriles, que gracias a su tierra fértil se posiciona como producto de exportación. La eficiencia energética en la producción industrial debe seguir pasos que sean aplicables en la producción como los sistemas eléctricos, el control del consumo de energía, los controles de encendido y apagado, los controles programables, el factor de potencia.

Con la mejora de la eficiencia energética se logra analizar la red de distribución que identifica las necesidades y los cambios, con el sistema de suministro eléctrico, la red primaria de distribución, los centros de transformación, red secundaria de distribución; los tipos de distribución son:

aéreo, por su carga, urbano y residencial, sea el servicio para uso comercial, industrial, rural urbano o residencial.

OBJETIVOS

General

Desarrollar una propuesta para la optimización técnica y económica del sistema eléctrico de baja tensión en la red de distribución rural, para la empresa comercializadora, en la aldea FERIA, San Rafael Pie de la Cuesta, San Marcos.

Específicos

1. Determinar los puntos más ineficientes en la red de distribución eléctrica en baja tensión de la red comercial para cerciorarse de que cumplan con características técnicas normalizadas.
2. Establecer y evaluar las construcciones e instalaciones eléctricas existentes de los usuarios con el fin de modificarlas y de mejorar su eficiencia sin hacerlas vulnerables.
3. Analizar los equipos utilizados para el proceso de la producción del café y sus cargas tanto inductivas como resistivas, para llegar un ahorro en el consumo de energía en la región.
4. Proponer estrategias que ayuden a reducir el consumo de energía a través de un programa de concientización acerca del uso de productos de bajo consumo en la producción del café; y una campaña de utilización adecuada de dispositivos eléctricos en el proceso de la producción del café dirigida a toda la comunidad.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación plantea la importancia del recurso energético con el análisis de su uso en el sector cafetalero aldea Feria, San Rafael Pie de la Cuesta; esta es una importante producción del sector agrícola en el área y que ocupa elevadas cantidades del recurso eléctrico de la región.

A raíz de la primera crisis energética mundial que tuvo lugar en 1973, debida esencialmente al encarecimiento del precio del petróleo, se toman las primeras medidas encaminadas a reducir los consumos energéticos, mediante el uso de las normativas existentes y la regulación energética de las técnicas constructivas.

Guatemala es un país con diversas fuentes para generación de energía eléctrica. Según el documento *Memoria, reunión regional sobre generación de electricidad a partir de biomasa* de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura, FAO; el país posee 10 890 MW en recurso hidroeléctrico, 700 MW en recurso geotérmico, y 328 690 840 MWh/año potenciales para generar energía solar según National Renewable Energy Laboratory. Sin embargo, solamente se utiliza 424,6 MW en recurso hidrológico. Además, en 2010, el 32,8 % de la energía eléctrica es generada por medio de la quema de combustibles fósiles, según el Banco Mundial.

La repercusión del uso inadecuado de la electricidad no se refleja únicamente en el tema económico; también, es observable en el deterioro de las condiciones ambientales; los cambios que se pueden realizar para reducir

este impacto requieren relativamente poca inversión y generan un considerable beneficio.

En la investigación realizada se logró realizar un diagnóstico sobre las peculiaridades del sistema eléctrico utilizado en la caficultura del área indicada, lo que permite realizar una propuesta con consideraciones para el uso eficiente administración del recurso eléctrico, con lo cual las mejoras y la reducción de los costos serán considerables y permitirán el uso eficiente en los procesos relacionados a la producción de café

1. GENERALIDADES

1.1. Energía

El término energía proviene del griego, acción, energía, actividad, operación; de activo, energós, fuerza de acción o fuerza de trabajo; este concepto tiene varias acepciones y definiciones, pero en general se refiere la capacidad de realizar movimientos o transformar algo.

La energía en términos amplios se puede definir como la capacidad de los cuerpos para realizar un trabajo y producir cambios en ellos mismos o en otros cuerpos, por lo cual se entiende que la energía es la fuente que hace funcionar las cosas.

Tres propiedades de la energía:

- Se transforma: la propiedad básica de la energía es que no se crea, sino que se transforma, durante la transformación se manifiesta las diferentes formas de energía.
- Se transfiere: la energía pasa de un cuerpo a otro en forma de calor, ondas o trabajo.
- Se conserva: la energía no se destruye, ya que al final de cualquier proceso de transformación energética nunca puede haber más o menos energía que la que había al principio, siempre se mantiene.

1.2. Tipos de energía

Dependiendo de la fuente que la origina, así como el uso que a esta se le da se clasifica la energía en diversos tipos.

- Energía mecánica: se relaciona con la posición y el movimiento del cuerpo teniendo la capacidad de producir un trabajo mecánico, y que se divide en estas dos formas:
 - Energía cinética se manifiesta cuando los cuerpos se mueven. Esta energía se asocia a la velocidad de cada cuerpo.
 - La energía potencial se refiere a la energía derivada de la posición que ocupa una masa en el espacio.
- Energía térmica: es la que se produce por la cantidad de energía que pasa de un cuerpo caliente a otro más frío manifestándose mediante el calor.
- Energía química: es el tipo de energía que se produce de la reacción de determinadas reacciones químicas.
- La energía nuclear: es la energía que se produce en medios controlados mediante el rompimiento de los núcleos de los átomos, formando cuando se rompen (fisión) o se unen (fusión).
- Energías renovables: tienen como característica común que no se terminan, o que renuevan por naturaleza y se pueden definir como:

“La energía que se obtiene de fuentes naturales virtualmente inagotables, ya sea por la inmensa cantidad de energía que contienen, o porque son capaces de regenerarse por medios naturales. Entre las energías renovables se cuentan la eólica, geotérmica, hidroeléctrica, mareomotriz, solar, la biomasa y los bio carburantes”¹.

- Energía eléctrica: es la relacionada con la corriente eléctrica. Es decir, en un circuito en el que cada extremo tiene una diferencia de potencial.

“Se denomina energía eléctrica a la forma de energía que resulta de la existencia de una diferencia de potencial entre dos puntos, lo que permite establecer una corriente eléctrica entre ambos cuando se los pone en contacto por medio de un conductor eléctrico”².

La corriente eléctrica es la manifestación de la energía eléctrica, derivado del movimiento de cargas eléctricas negativas, o electrones, a través de un cable conductor metálico.

La corriente eléctrica se produce mediante el accionar de un interruptor, con este se cierra un circuito eléctrico produciendo el movimiento de electrones a través del cable conductor. Comúnmente, la electricidad se conduce por medios metálicos ya que son los mejores conductores; realizando para lo cual el desplazamiento de cargas que se desplazan los cuales forman parte de los átomos de la sustancia del cable.

El consumo de electricidad se realiza a través de la obtención de distintas fuentes; actualmente, aumenta la obtención de energía eléctrica de fuentes

¹ CASAS ÚBEDA, José Manuel. *Educación ambiental*. p. 85.

² *Energía eléctrica*. https://es.wikipedia.org/wiki/Energ%C3%ADa_el%C3%A9ctrica. Consulta: 11 de octubre de 2016.

alternativas como la solar o la eólica, pero en su mayoría de casos proviene de la red eléctrica a través de las conexiones del sistema de electrificación suministrada por las compañías eléctricas.

La electricidad principalmente tiene dos usos: el primero doméstico, mediante el cual se accionan aparatos de uso cotidiano en el hogar e industrial que es de mayor potencia y es empleada para accionar maquinarias y medios para producir o generar servicios.

1.3. Energía eléctrica en Guatemala

La humanidad en su anhelo de generar fuentes de energía y debido a la experimentación ha descubierto la energía eléctrica; se tiene hallazgos de experimentación de la corriente eléctrica en el periodo de 200 a. En el periodo actual durante el siglo XIX se produjeron grandes avances en el aprovechamiento de la electricidad; ya a mediados de 1800 se realizaron las primeras instalaciones y usos de la corriente eléctrica en Estados Unidos, principalmente para producir iluminación.

En Guatemala, la historia del aprovechamiento de la energía eléctrica inicia en 1884 al instalarse la primera hidroeléctrica en la finca El Zapote, situada al norte de la ciudad capital. En 1885 se crea la Empresa Eléctrica del Sur, fundada por empresarios alemanes que instalaron la hidroeléctrica Palín que tenía una producción de 732 KW; esta instalación brindó servicio de energía eléctrica a los departamentos de Guatemala, Sacatepéquez y Escuintla.

Otra acción importante fue en 1927 cuando se construye la hidroeléctrica Santa María, ubicada en el municipio de Zunil, Quetzaltenango, con el fin de proveer de energía al ferrocarril de los altos. Cuando este medio de transporte

desaparece. Por decisión de autoridades, la planta se convierte en hidroeléctrica del Estado; se pretendía que con la generación de energía en esta se llevara electricidad al interior del país; principalmente, los departamentos de Quetzaltenango, Totonicapán, Sololá y Suchitepéquez para lo cual en 1940 se crea el Departamento de Electrificación Nacional.

En el país gran parte de la electricidad es generada por el Estado y distribuida por la iniciativa privada.

“Guatemala depende en un 80 % de la energía eléctrica que le provee el sector público; el Instituto Guatemalteco de Electrificación, INDE y la Empresa Eléctrica de Guatemala S.A., EEGSA, que suministra en conjunto alrededor de 653 MW. Por otro lado, el sector privado colabora con el restante 20 %, que son 170 MW en este año, totalizando 820 MW de potencia disponible para el país”³.

1.4. Antecedentes de la producción de café en Guatemala

El café llegó a América durante el siglo XVIII, para desarrollarse como producto de exportación. El bosque tropical cedió su lugar para los cultivos de café, se construyeron carreteras, puertos y ferrocarriles. El café se convirtió en el factor de desarrollo, fortaleció las estructuras del Estado Liberal del siglo XIX y XX.

Algunos extranjeros compraron fincas que producían poco y las volvieron fincas capaces de competir a nivel mundial en exportaciones. Esto a su vez originó la construcción de nueva infraestructura a nivel nacional (puertos, ferrocarriles, carreteras, caminos, red eléctrica, entre otros) y generó

³ *Sistema de energía eléctrica en Guatemala.* http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.Vw_RIKjhDIW. Consulta: 12 de julio de 2016.

edificaciones que surgieron para cubrir las necesidades del proceso de producción del café. Entre San Marcos y Santa Rosa, se tiene casi un tercio del área total sembrada de café en el país. Chimaltenango y Quetzaltenango con igual área sembrada (9,3 %) ocupan el tercer y cuarto lugar.

El crecimiento de la producción de café se observa en los departamentos con mejoras en sus caminos, carreteras, electricidad y otros elementos.

“La zona cafetalera de San Marcos se encuentra a una altitud entre los 1 400 y 1 800 metros (4 600 a 6 000 pies) a nivel del mar; cuenta con una temperatura promedio entre 21 °C y 27 °C (70 °F y 81 °F); permite procesar uno de los mejores cafés a nivel internacional. Las variedades cultivadas son: Bourbon, Catuaí y Caturra; y su período de recolección va de diciembre a marzo”⁴.

1.5. El ciclo de la producción del café

Las prácticas adecuadas en el cultivo. Se consideran recomendables en un cultivo de café los siguientes cultivos.

1.5.1. El cultivo

En Guatemala, el café se siembra a diferentes alturas. El mejor café crece en suelo de origen volcánico, entre los 1 000 y 1 500 metros sobre el nivel del mar. Entre las regiones adecuadas para el cultivo del café se encuentra San Marcos, allí las condiciones climáticas son excelentes para obtener buen café.

⁴ VILLATORO LÓPEZ, Mirna Raquel. *Propuesta del cambio de visión que debe asumir la industria del café en Guatemala para su adecuada incorporación al TLC ciudad de Guatemala.* p. 18.

1.5.2. La cosecha

La recolección es lo más costoso en la producción del café. Inicia cuando la cáscara del fruto ha tomado color de cereza. La cosecha varía según el clima y la altura del terreno, entre agosto y diciembre en zonas de clima cálido, y entre noviembre y abril en las tierras frías.

1.5.3. El beneficio

Es una serie de procedimientos realizados con el fin de liberar al grano de café de los envoltorios que lo protegen.

Proceso de beneficiado húmedo del café: consiste en la transformación del fruto de café a café pergamino seco de punto comercial, a través de las siguientes etapas.

Recolección del fruto, recibo y clasificación del fruto, despulpado del fruto, clasificación del café despulpado, remoción del mucílago del café despulpado, lavado del café fermentado, clasificación del café lavado, secamiento del café lavado, almacenamiento del café seco y manejo de los subproductos.

En la actual investigación interesa especificar la parte de despulpado. Se obvian los procesos de tipo manual o natural pues estos no necesitan el uso de máquinas y por lo tanto no consumen energía eléctrica.

1.5.4. Despulpado del fruto

Es la fase mecánica del proceso. Al fruto se le elimina la pulpa (epicarpio). El proceso se realiza con máquinas que aprovechan las cualidades del café para que por presión suelte granos.

“Como los sistemas de despulpado funcionan en forma mecánica, es imposible despulpar completamente frutos de distintos tamaños, por eso es preferible que pase fruto sin ser despulpado, a que se lastimen o quiebren”⁵.

- **Despulpador de café**

Este despulpador de la Industria Penagos Hnos. S.A., ha estado en constante evolución, con el propósito de reducir o eliminar el agua y minimizar la energía, se han redimensionado los pecheros utilizados. La despulpadora DV 255 C tiene las siguientes características:

Tabla I. Características del despulpador

Peso neto	1,54 quintales
Capacidad de despulpado	45 - 55 quintales maduro por hora
Velocidad de rotación del volante	500 revoluciones por minuto
Potencia requerida	2,0 hp

Fuente: elaboración propia.

“Despulpa sin agua, posee un cilindro en forma cónica para mayor arrastre de la pulpa”⁶.

1.5.5. Lavado mecánico

Consiste en el lavado con el uso de bombas de impulsor abierto.

“Combinando una clasificación en canales rectos con una pendiente uniforme de 0,75 %, se trata de dar al canal un flujo laminar constante que

⁵ *Asociación nacional del café, Anacafe*. https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_BeneficiadoHumedo. Consulta: 12 de febrero de 2016.

⁶ *Ibíd.*

permita la clasificación del café recién lavado. La economía de agua en esta operación complementa la eficacia del sistema de recirculación de agua que debe usarse en las operaciones de beneficiado húmedo. Las características hidráulicas del lavado de las plantas agroindustriales, están basadas en el uso mínimo de agua.”⁷

El agua usada retorna al tanque, se necesita agua limpia.

1.5.6. Secado mecánico

Se realiza a través de secadoras tipo Guardiola de diferentes capacidades, en zonas de condiciones climáticas limitantes.

Es preferible combinar el escurrimiento del grano (en patio), con un sistema mecánico tipo Guardiola, que consiste en:

- Una fuente de calor (horno o calorífero).
- Un ventilador para forzar el aire caliente a través del grano.
- Una estructura en compartimientos donde se colocará la carga de café a secar.

Se requiere de un medidor de humedad o una persona con bastante experiencia; si se utiliza secadora estática debe secarse a 40 grados centígrados y a una altura no mayor de 30 centímetros de masa de café con movimientos constantes⁸.

⁷ Asociación nacional del café, Anacafe. https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_BeneficiadoHumedo. Consulta: 12 de febrero de 2016.

⁸ *Ibíd.*

- Cambios importantes del beneficio húmedo del café

Estos cambios son de constante innovación tecnológica; son varios los factores que intervienen en las soluciones para mejorar el beneficiado de café, sobresalen los siguientes:

- Los económicos: factor determinante para que muchos de los interesados realicen transformaciones en sus instalaciones.
- Todos los proyectos necesitan desarrollar el beneficiado; así como optimizar el uso de maquinaria y equipo adecuado, a la vez que se intentan reducir los consumos energéticos.

1.6. Uso de energía eléctrica en el proceso de producción del café

En un beneficio de café la energía eléctrica se utiliza en las viviendas de las personas que laboran en este, para la iluminación, uso en oficinas y directamente en la alimentación de motores en la parte mecánica, así como para accionar bombas de agua y secadoras artificiales de café.

En el área de maquinaria se utiliza gran potencia de energía eléctrica, en el accionar de distintos motores de potencia 110 voltios y 220 voltios, de corriente monofásica y trifásica.

1.7. Descripción de las necesidades

La energía, especialmente la eléctrica, es un recurso con gran incidencia en los procesos productivos y en los actos cotidianos, íntimamente relacionado con el confort, la calidad de vida y el desarrollo económico⁹.

Para realizar el mejoramiento en la eficiencia energética de los equipos eléctricos en el proceso de la industria del café, es conveniente analizar la secuencia que sigue la energía eléctrica desde que se genera hasta que se consume:

- Los generadores eléctricos producen energía eléctrica en las centrales generadoras (térmica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa); esta es de potencias muy elevadas y, por tanto, grandes corrientes.
- Esta potencia es transformada en otra de mayor nivel de tensión y, por lo tanto, de menor corriente en las estaciones transformadoras para minimizar las pérdidas en el transporte.
- Para el transporte de esta energía eléctrica hacia los centros de consumo se utilizan las redes de transporte para luego pasarla a las redes de distribución.
- A partir de estos puntos la tensión se reduce nuevamente a los valores necesitados por los elementos que vayan a conectarse a la red (clientes de media y baja tensión).

⁹ UCATEE. *Manual para la preparación de auditorías energéticas y evaluación financiera de proyectos de eficiencia energética. Iniciativa PYMES VERDES*. p. 21.

Las pérdidas energéticas se producen en todas las partes de una instalación eléctrica. Esto es, generación, transporte, distribución y consumo. Las empresas, para conseguir ahorros, pueden actuar tan solo sobre su consumo eléctrico, por lo tanto, el ahorro de energía se centrará en los procesos de producción.

“La eficiencia de un sistema energético se define como el cociente entre la potencia de salida (que es igual a la potencia de entrada menos las pérdidas) y la potencia de entrada al sistema”¹⁰.

1.8. Administración de la energía eléctrica

La administración de energía incluye la ingeniería, diseño, aplicaciones, utilización, en alguna medida la operación y mantenimiento de sistemas eléctricos de potencia para brindar un uso óptimo de la energía eléctrica.

1.8.1. Control del consumo de energía eléctrica

Los estudios realizados han demostrado que reducir la operación innecesaria del equipo representa un potencial significativo de ahorro de energía eléctrica; es común encontrar luminarias encendidas sin necesidad, máquinas encendidas sin procesar producto, cuartos refrigerados con la puerta abierta, entre otros.

Actualmente, los dispositivos automáticos ofrecen tantas ventajas significativas a su contraparte humana; su confiabilidad es mucho mayor, ya

¹⁰ UCATEE. *Manual para la preparación de auditorías energéticas y evaluación financiera de proyectos de eficiencia energética. Iniciativa PYMES VERDES.* p. 21.

que la fatiga, falta de atención, mala actitud, incapacidad y otras características humanas no entran en juego.

La recopilación de información de energía eléctrica en una empresa ayuda a:

- Interpretar y controlar las variables energéticas
- Costeo efectivo del producto
- Generación de indicadores de desempeño y evaluar
- Eficiencia en los procesos
- Detección de anomalías
- Nuevas tecnologías
- Reducción de picos de demanda
- Evaluación de proyectos de generación alterna de energía

2. MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA.

2.1. Descripción del estudio

El estudio tiene la finalidad de analizar la red de distribución rural e identificar la necesidad de posibles cambios, los cambios pretenden que se traduzcan en reducción de pérdidas de energía eléctrica en la red de baja tensión. Para lo cual, previamente se estudian temas de planificación y eficiencia energética; se identifican los elementos que confirman la construcción de la red de suministro eléctrico y la red de baja tensión; se estudiarán las características técnicas de estos elementos y los esquemas de conexión; así mismo, se dan recomendaciones pertinentes para la comercializadora, la industria y los consumidores finales.

2.2. Sistema de suministro eléctrico

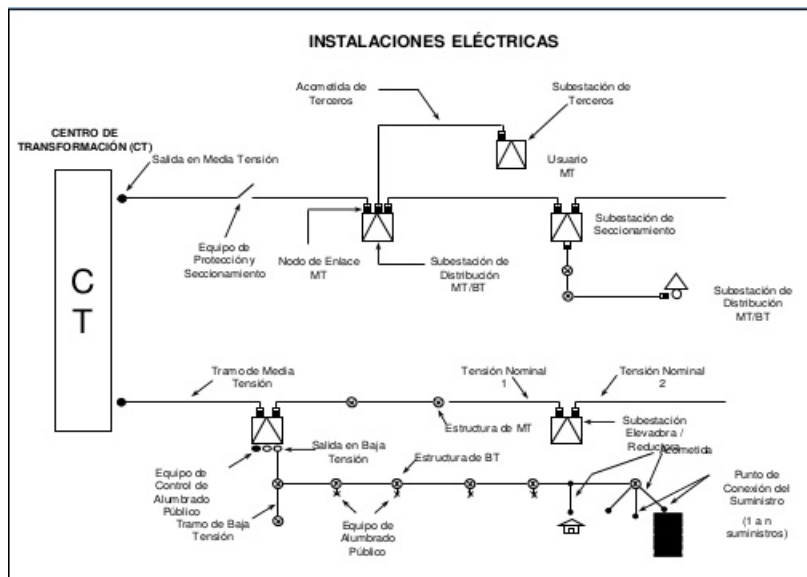
Para analizar las oportunidades de ahorro de los equipos eléctricos en la industria, es conveniente analizar la secuencia que sigue la energía eléctrica desde que se genera hasta que se consume:

- Los generadores eléctricos producen energía eléctrica en las centrales generadoras (térmica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa); produce potencias muy elevadas y, por tanto, grandes corrientes.
- La potencia es transformada en otra de mayor nivel de tensión y, por lo tanto, de menor corriente en las estaciones transformadoras para minimizar las pérdidas en el transporte.

- Para el transporte de esta energía eléctrica hacia los centros de consumo se utilizan las redes de transporte para luego pasarla a las redes de distribución.
- Por último, a partir de estos puntos, la tensión se reduce nuevamente a los valores necesarios por los elementos que vayan a conectarse a la red (clientes de media y baja tensión).

Las pérdidas energéticas se pueden producir en todas las partes de una instalación eléctrica, desde la generación, transporte, distribución y consumo. Los usuarios únicamente pueden minimizar su consumo para causar efectos y generar ahorros, por tanto, recae en la producción y distribución la oportunidad de disminuir las pérdidas o generar ahorros.

Figura 1. **Sistema de suministro eléctrico**



Fuente: *Sistema tarifario*. <http://es.slideshare.net/cesrd/sistema-tarifario-miguel-revoló-final>.

Consulta: 11 de octubre de 2016.

2.3. Red de distribución eléctrica

Es la parte del sistema de suministro eléctrico cuya función es transmitir la energía desde la subestación de distribución hasta los usuarios finales, industriales y domésticos. Se lleva a cabo por los operadores del sistema de distribución (*distribution system operator* o DSO).

Los elementos que conforman la red o sistema de distribución son los siguientes:

- Subestación de distribución: conjunto de elementos (transformadores, interruptores, seccionadores, entre otros) cuya función es reducir los niveles de alta tensión de las líneas de transmisión (o subtransmisión) hasta niveles de media tensión para su ramificación en múltiples salidas.
- Red primaria.
- Centro de transformación.
- Red secundaria.

La distribución de la energía eléctrica desde las subestaciones de transformación de la red de transporte se realiza en dos etapas.

2.3.1. Red primaria de distribución

También se le conoce como red de reparto, la cual parte de las subestaciones de transformación; distribuye la energía a todos los usuarios,

normalmente mediante circuitos alrededor de los centros de consumo hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución.

Las tensiones utilizadas están comprendidas entre 13,2 kV, 13,8 kV, 34,5 kV, 69 kV y 138 kV. Intercaladas en estos circuitos están las estaciones transformadoras de distribución, encargadas de reducir la tensión desde el nivel de reparto al de distribución en media tensión.

2.3.2. Centros de transformación

Su función es convertir la energía procedente de la red primaria de distribución (13,2 KV, 13,8 KV y 34,5 KV) a la tensión de servicio de los usuarios, 120/240V o 120/208V. San Rafael Pie de la Cuesta cuenta con bancos de transformación compuestos por dos o tres unidades monofásicas, los cuales se encuentran fijos en los postes, con una relación de transformación de 13,8 KV / 120 / 240V y 13,8 KV / 120 / 208V.

La red abarca los espacios de centro de consumo (población, gran industria, entre otros); une las estaciones transformadoras de distribución con los centros de transformación, que son la última etapa del suministro en media tensión, ya que las tensiones a la salida de estos centros es de baja tensión (120 / 240V o 240 / 480V).

Las líneas de la red de distribución se operan de forma radial, sin que formen mallas, al contrario que las redes de transporte y de reparto. Cuando existe una avería, un dispositivo de protección situado al principio de cada red lo detecta y abre el interruptor que alimenta esta red.

La localización de averías se hace por el método de prueba y error, divide la red que tiene la avería en dos mitades y energiza una; a medida que se acota la zona con avería, se devuelve el suministro al resto de la red. Esto ocasiona que en el transcurso de la localización se pueden producir varias interrupciones a un mismo usuario de la red.

2.3.3. Red secundaria de distribución

Este tipo de red trabaja con la tensión de servicio del usuario (120 V, 120 / 240 V o 240 / 480 V). Abarca las salidas de baja tensión de los puntos de transformación, las derivaciones de red secundaria y las acometidas de los usuarios; generalmente, sus conductores son de menor calibre que el del circuito troncal. La derivación de la red secundaria en la zona en estudio, se utiliza para distribuir la energía en baja tensión a lo largo de calles o pasajes hasta la proximidad de los usuarios y para conectar las acometidas de dichos usuarios.

Existen varios criterios para la clasificación de los sistemas de distribución

- Corriente: continúa o alterna
- Voltaje: 13,8 KV - 34,5 KV - 2,4 KV - 120 V - 208 V
- Esquema de conexión: radial, malla, múltiple y serie
- Cargas: residencial, comercial, industrial, de alumbrado y fuerza
- Tipo de construcción: aéreos y subterráneos

Los circuitos de corriente alterna se pueden clasificar según el número de fases: en monofásicos, dos hilos; monofásicos, tres hilos o trifásicos, y de acuerdo a la frecuencia: de 50 Hz, de 60 Hz. En Guatemala se utilizan solo sistemas de corriente alterna (ac) de 60 Hz o 60 CPS (ciclos por segundos).

2.4. Tipos de sistemas de distribución según el tipo de construcción

Los sistemas de distribución se desarrollan en estructuras diversas. Sin importar significativamente que los sistemas de distribución aéreos siguen teniendo un menor costo que el de sistemas subterráneos, a la gran mayoría de nuevos desarrollos residenciales se les está dando servicio mediante sistemas subterráneos. La aldea Feria, San Rafael Pie de la Cuesta es una zona residencial con más de 40 años de fundada y su sistema de distribución en media y baja tensión es 100 % aéreo.

2.4.1. Sistema de distribución aéreo

Se consideran aéreas todas las redes tendidas al aire libre y a vista directa, ya sean de conductores desnudos, asilados o protegidos. La estructura que se adopte tanto en media como en baja tensión depende de los parámetros que intervengan en la planeación de la red, tales como densidad, tipos de cargas (residencial, comercial, industrial y mixta), localización geográfica de la carga, área de expansión de la carga, continuidad del servicio, entre otros.

2.4.2. Tipos de sistemas de distribución según la carga

La carga servida permite clasificar los sistemas de distribución en los siguientes:

- Comercial
- Industrial
- Rural
- Urbano
- Residencial

Cada uno con características propias de topología y construcción. En la aldea Feria, San Rafael Pie de la Cuesta cuenta con un sistema de distribución de tipo urbano y residencial.

2.4.3. Sistema de distribución urbano y residencial

Son grandes sistemas que ramifican las ciudades o centros poblados y permiten el suministro de energía eléctrica a las viviendas, son responsabilidad de las compañías de suministro eléctrico, y consisten, en la mayoría de los casos, en grandes redes de cables aéreos desarrollados en zonas densamente pobladas. Por otra parte, en zonas residenciales las cargas son ligeras y sus curvas de carga muy diferentes a las de las zonas comerciales o mixtas; por lo tanto, las estructuras de alimentación para estas zonas son distintas y los criterios con los que se deben diseñar son exclusivos para este tipo de cargas.

2.5. Líneas aéreas de baja tensión

Las líneas aéreas trenzadas de baja tensión, se estructurarán a partir del Centro de transformación, de origen. El sistema de tensiones alternas será monofásico con neutro puesto a tierra.

2.5.1. Conductores

Los conductores que comúnmente se utilizan son de aluminio, los cuales tienen un diseño trenzado en la red de baja tensión y concéntricos y trenzados en las acometidas. Los conductores trenzados tienen los conductores de fase de aluminio y el neutro es de aluminio (AAC) o de aleación de aluminio (AAAC).

Tabla II. Conductores en BT

Características constructivas	
Conductor	Descripción
Conductores de uso exclusivo en acometidas	
Concéntrico 2 x #8	Concéntrico; fase y neutro: #8 Al o Cu
Concéntrico 3 x #8	Concéntrico; fases y neutro: #8 Al o Cu
Concéntrico 2 x #6	Concéntrico; fase y neutro: #6 Al o Cu
Concéntrico 3 x #6	Concéntrico; fases y neutro: #6 Al o Cu
Concéntrico 4 x #6	Concéntrico; fases y neutro: #6 Al o Cu
Concéntrico 3 x #4	Concéntrico; fases y neutro: #4 Al o Cu
Concéntrico 4 x #4	Concéntrico; fases y neutro: #4 Al o Cu
Dúplex #6	Trenzado; fases: #6 AAC – neutro: #6 AAC
Tríplex #6	Trenzado; fases: #6 AAC – neutro: #6 AAC
Conductores de uso en líneas y acometidas	
Tríplex #2	Trenzado; fases: #2 AAC – neutro: #2 AAAC
Tríplex 1/0	Trenzado; fases: 1/0 AAC – neutro: 1/0 AAAC
Cuádruplex 1/0	Trenzado; fases: 1/0 AAC – neutro: 1/0 AAAC
Tríplex 4/0	Trenzado; fases: 4/0 AAC – neutro: 4/0 AAAC
Cuádruplex 4/0	Trenzado; fases: 4/0 AAC – neutro: 4/0 AAAC
Cuádruplex 336,4	Trenzado; fases: 336,4 AAC – neutro: 4/0 AAAC

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

Tabla III. Características de los conductores en BT

Conductores de uso común en líneas de BT						
conductor	Triplex #2	Triplex 1/0	Cuádruplex 1/0	Triplex 4/0	Cuádruplex 4/0	Cuádruplex 336,4
Sección de la fase (mm ²)	33,62	53,51	53,51	107,2	107,2	170,45
Sección del neutro (mm ²)	33,62	53,51	53,51	107,2	107,2	107,2
Composición fase (nº x □ en mm)	7 x 2,47	7 x 3,12	7 x 3,12	13 x 2,9 + 6 x 2,12	13x2,9 + 6x2,12	13x3,66 + 6x2,68
Composición neutro (nº x □ en mm)	7 x 2,47	7 x 3,12	7 x 3,12	7 x 4,42	7 x 4,42	7 x 4,42
Aislamiento	Polietileno reticulado					
Diámetro aprox. del haz (mm)	21	27	33	35	40	49
Peso del haz (daN/m)	≤ 0,351	≤ 0,631	≤ 0,870	≤ 1,189	≤ 1,570	≤ 2,257
Carga de rotura por conductor (daN) (1)	1 063	1 700	1 700	3 264	3 264	3 264
Resist. eléct. en C.C. a 20°C (Ω/km) (2)	F: ≤ 0,860	F: ≤ 0,539 N: ≤ 0,626	F: ≤ 0,539	F: ≤ 0,269	F: ≤ 0,269	F: ≤ 0,169

Continuación de la tabla III.

	N: $\leq 0,999$		N: $\leq 0,626$	N: $\leq 0,312$	N: $\leq 0,312$	N: $\leq 0,312$
Resist. eléct. en C.C. a 50 °C (Ω/km)	F: $\leq 0,964$	F: $\leq 0,604$ N: $\leq 0,702$	F: $\leq 0,604$	F: $\leq 0,302$	F: $\leq 0,302$	F: $\leq 0,189$
	N: $\leq 1,120$		N: $\leq 0,702$	N: $\leq 0,350$	N: $\leq 0,350$	N: $\leq 0,350$
Intensidad máxima admisible (A) (3)	150	205	180	300	275	370

- Cuando se cita la carga de rotura por conductor se refiere a la del neutro de AAAC.
- La letra F indica el valor la resistencia del conductor de fase mientras que la letra N indica el valor de la resistencia del conductor neutro.
- Valores calculados en las siguientes condiciones: T. Ambiente: 25 °C, T. Conductor: 75 °C, velocidad del viento: 0,6 m/s y sin radiación solar.

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

- Conductores forrados de aluminio

Tabla IV. **Uso en líneas BT y acometidas**

Tipo conductor	Número fases	Tensión bt	Uso
Duplex	1 + neutro	120 V	Acometidas
Triplex	2 + neutro	240 V	LBT / Acometidas
Cuadripex	3 + neutro	240 V	LBT / Acometidas

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

En la tabla IV se plantea el número de conductores por fases tanto de red de baja tensión como de los servicios en 2 hilos 120V y 3 hilos 120v/240 voltios.

Conductores de fase: aluminio AAC. Conductor de neutro: aluminio AAAC (neutro fiador).

2.5.2. Cálculos eléctricos

A continuación, se presentan las tablas de cálculos eléctricos:

Tabla V. Cálculos eléctricos

Potencia máxima limitada por intensidad máxima (kW)				
Conductores de línea y acometida				
Conductor	Tensión	cosφ = 0,8	cosφ = 0,9	cosφ = 1
Circuito monofásico				
Tríplex #2	240 V	28,8	32,4	36
Tríplex 1/0		39,4	44,3	49,2
Tríplex 4/0		57,6	64,8	72
Circuito trifásico				
Cuádruplex 1/0	208 V	53,3	60	66,6
	240 V	61,5	69,2	76,9
Cuádruplex 4/0	208 V	79,3	89,2	99,1
	240 V	91,5	102,9	114,3
Cuádruplex 336,4	208 V	106,6	120	133,3
	240 V	123	138,4	153,8

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

2.5.3. Cálculos mecánicos

En el cálculo de las redes de baja tensión es necesario aplicar los coeficientes de simultaneidad para determinar las potencias de cada vano y dimensionar eléctricamente el conductor adecuado:

Tabla VI. Márgenes permitidos en caída de tensión (%)

Tipo de red	Acometida	Total red + acometida
Urbana	$\leq 0,80 \%$	$\leq 2,50 \%$
Rural	$\leq 0,80 \%$	$\leq 5,00 \%$
Rural nueva electrificación (per Guatemala y Nicaragua)	$\leq 1,60 \%$	$\leq 10,00 \%$

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

Tabla VII. Niveles de electrificación por cliente (kw)

Nivel	Red urbana (KW)	Red rural (KW)
Bajo	3,60	0,90
Medio	4,80	1,60
Alto	6,00	2,40
Singular	$> 6,00$	

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

La tabla VI presenta el % de los márgenes de caída de tensión, un factor fundamental para desarrollar el cálculo de conductores del área de donde se aplicará una mejor red.

Tabla VIII. **Cálculos mecánicos de la línea**

Características mecánicas de los conductores de línea BT			
Tipo conductor	Carga de rotura (daN) (1)	Coef. de seguridad	Carga máxima admisible (daN)
Tríplex # 2	1 063	3	354
Tríplex 1/0	1 700		567
Tríplex 4/0	3 264		1 088
Cuádruplex 4/0	3 264		1 088
Cuádruplex 336,4 MCM	3 264		1 088

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

- Carga de rotura de neutro, que recibe la tensión de tendido

Tabla IX. **Tensado de cables trenzados**

Tensado cables trenzados		
Tipo conductor	Tipo tensado	Carga tensado (daN)
Tríplex # 2	Normal	350
Tríplex 1/0	Normal	500
	Reducido	350
Tríplex 4/0	Normal	500
	Reducido	350
Cuádruplex 4/0	Normal	500
	Reducido	350
Cuádruplex 336,4 MCM	Normal	500
	Reducido	350

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

2.5.4. Tensiones mecánicas

Los vanos máximos de las redes de baja tensión forradas en tríplex AAC se limitan a 65 – 70 metros; puede aumentarse este valor hasta los 80 metros si se utiliza tríplex AAAC (neutro de aleación de aluminio AAAC, con mayor resistencia mecánica).

No se exceden las longitudes, ya que para conseguir las flechas adecuadas, la tensión de tendido necesaria provocaría daños en los accesorios de BT y posibles daños en la estructura del conductor.

2.5.5. Postes de baja tensión

Los postes deben ser de hormigón pretensado centrifugado (HPC) de 9,00 metros de longitud, con unas resistencias de 300 y 500 dan. En algunos casos se sustituye el poste de concreto, por el poste de madera equivalente. Cuando las condiciones del proyecto lo requiera, se podrán utilizar postes de hormigón de clases mayores (9,00 metros clase 800 dan).

Tabla X. Especificación de los postes

Postes	Clase (daN) 0 - 30°		
9,00 m	300	500	800

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

2.5.6. Puesta a tierra (PAT)

Las redes de baja tensión se protegerán mediante la instalación de PAT bajo los siguientes criterios:

- Todos los transformadores o centros de transformación dispondrán de una adecuada PAT que garantice su protección ante descargas atmosféricas ($< 10 \text{ Ohm}$).
- Se instalarán PAT en todos los postes de fin de línea ($< 50 \text{ Ohm}$).
- Se instalarán PAT en todas las derivaciones importantes ($< 50 \text{ Ohm}$).
- Se instalará al menos una (1) PAT cada 3 postes ($< 50 \text{ Ohm}$).

2.5.7. Accesorios de BT

Los accesorios para el montaje de la red trenzada, de acuerdo al proyecto tipo, se clasifican en:

- Materiales de conexión
 - Empalmes pre aislados plena tracción LBT.
 - Conectores derivación y empalmes LBT abiertas (no normalizados).
 - Conectores derivación acometidas.
 - Cajas de derivación acometidas.

- Conjuntos de anclaje y suspensión
 - Soportes de anclaje y suspensión
 - Grapas de suspensión
 - Pinzas de anclaje: neutro fiador y conductores de acometida
 - Tendido de conductor BT: recomendaciones
- Fijación líneas y acometidas sobre fachada o poste
- Protección acometida
- Materiales varios

2.5.8. Protección de acometida

A continuación, se presenta la tabla de especificación de protección de acometida.

Tabla XI. Especificación de la protección de acometidas

Tipo suministro	Tipo interruptor automático
Individual monofásico	Unipolar o bipolar
Individual trifásico	Tripolar
Edificios	Tripolar

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

Tabla XII. Interruptores automáticos para la protección de la acometida

Cable acometida	I máx interruptor (A)	Icc interruptor (kA)
Concéntrico 2 x #8	< 40	6
Concéntrico 3 x #8		
Concéntrico 2 x #6	< 63	
Concéntrico 3 x #6		
Concéntrico 3 x #4	< 63	10
Concéntrico 4 x #4		
Tríplex #2	< 125	
Tríplex y cuádruplex 1/0	< 200	30
Tríplex y cuádruplex 4/0	< 250	
Cuádruplex 336,4	< 400	50

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

La tabla XII presenta los datos para seleccionar el interruptor adecuado para el cálculo de la instalación eléctrica a desarrollar.

Cada punto de medida dispondrá de un interruptor automático y una PAT, que deberá ser instalada por el cliente para proteger la acometida y el medidor.

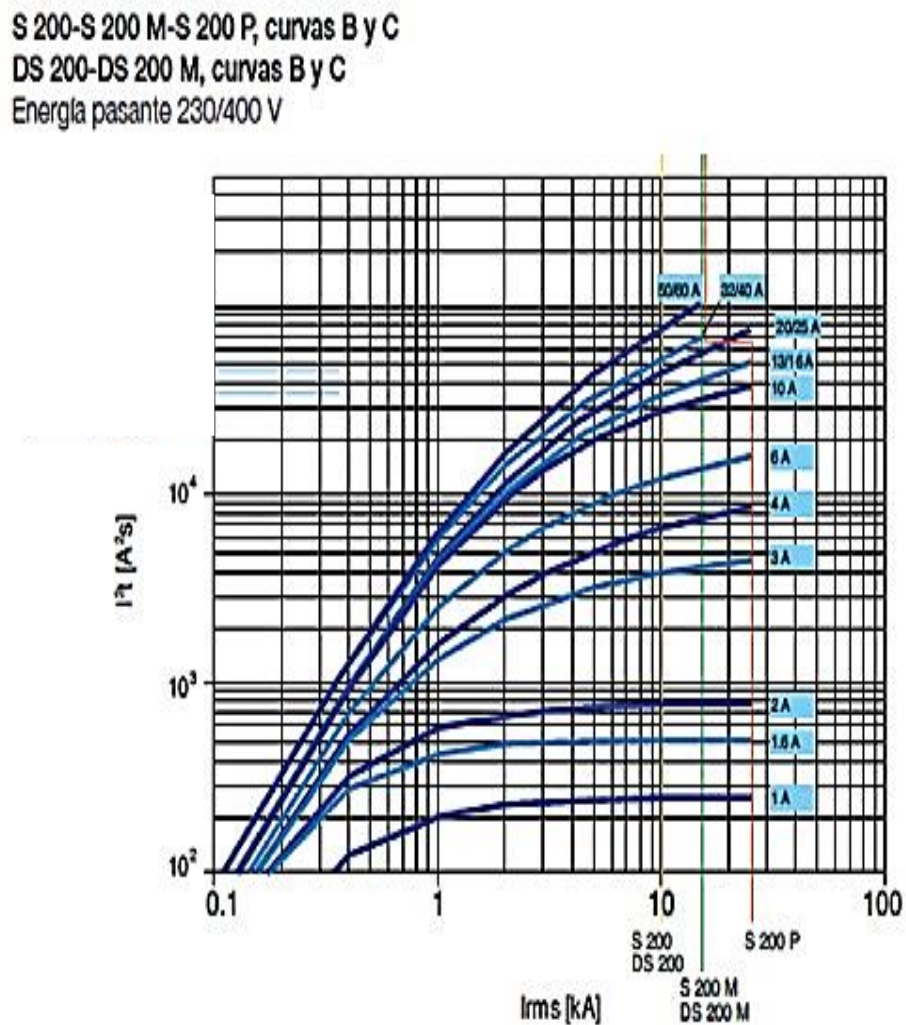
2.5.9. Gráficas de interruptores termomagnéticos

El fabricante del interruptor automático tiene derecho a definir la clase de limitación de energía del dispositivo. De acuerdo con la norma IEC/EN 60898, el fabricante clasifica el interruptor asignándole una clase de limitación entre 1 y 3 en función de los valores $I_2 t$ que el interruptor permite pasar.

Esta clasificación es muy importante para verificar si el interruptor seleccionado y el cable a instalarse son compatibles con las características de

la instalación a realizar. En el siguiente diagrama se pueden observar los valores específicos de energía pasante para algunos de los interruptores termomagnéticos:

Figura 2. Diagramas de I^2t , valor de la energía específica pasante I^2t



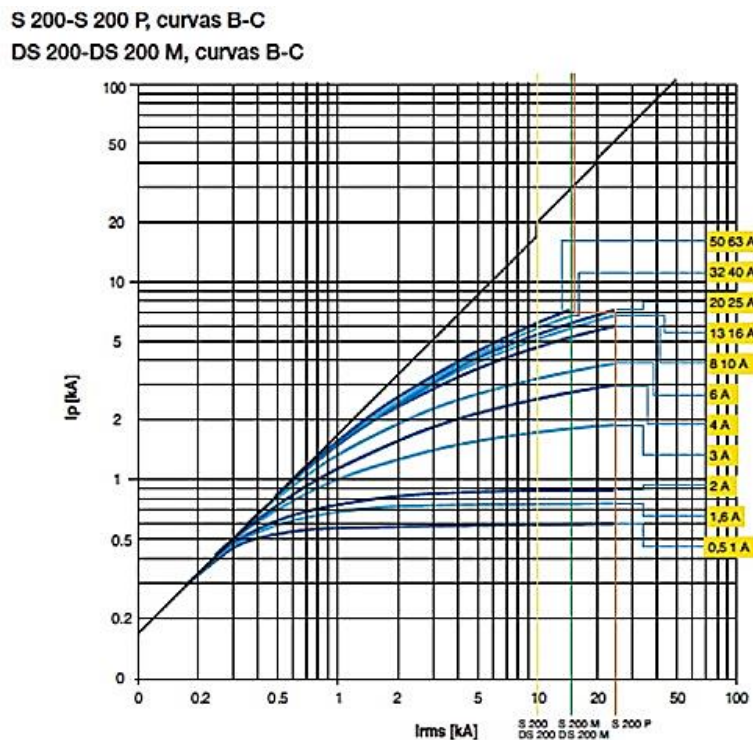
Fuente: [Editores srl.com.ar/.../abb protección mediante interruptores termomag.](https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie270_abb_proteccion_mediante_interruptores_termomagneticos.pdf)
https://www.editores-srl.com.ar/sites/default/files/ie270_abb_proteccion_mediante_interruptores_termomagneticos.pdf. Consulta: 26 de marzo de 2016.

Las curvas I^2t indican los valores de la energía específica pasante expresada en A^2s (A=amperios; s=segundos) en relación con la intensidad de cortocircuito eficaz (I_{rms}) en kA.

Esto se logra gracias a las características limitadoras con que cuenta la familia, cuya clase de limitación es 3, la mejor de todas.

Esta característica puede apreciarse en el siguiente gráfico de curvas de limitación de corriente:

Figura 3. **Curvas de limitación, valores de intensidad de pico**



Fuente: [Editor-es srl.com.ar/.../abb_proteccion_mediante_interruptores_termomag.](https://www.editor-es-srl.com.ar/.../abb_proteccion_mediante_interruptores_termomag.)
https://www.editor-es-srl.com.ar/sites/default/files/ie270_abb_proteccion_mediante_interruptores_termomagneticos.pdf. Consulta: 26 de marzo de 2016.

Las curvas I_p indican los valores de la intensidad de pico, expresada en kA, en función de la intensidad de cortocircuito eficaz (kA)

2.5.10. Borna terminal BT: conexionado

- Las bornas de BT de los transformadores constituyen un punto crítico, ya que son los puntos de la red que soportan una mayor intensidad de corriente.
- Los materiales, el equipo y el método de conexión deben ser los adecuados para evitar puntos calientes que puedan provocar graves daños en los transformadores. Los terminales se compresionarán utilizando la herramienta y la matriz indicada.
- La tornillería (perno, tuerca, contratuerca y arandelas) será de acero inoxidable y debe quedar correctamente apretada. Se instalarán arandelas de presión para evitar que se afloje.
- Los puentes de BT serán de triplex forrado AAAC y se dimensionarán de acuerdo al número y la potencia de los transformadores, según la siguiente tabla:

Tabla XIII. **Bornas terminal**

Potencia transformadores (kVA)	Puente	Tipo de conductor
10	Simple	1 x (triplex 1/0 AWG)
	Doble	2 x (triplex #2 AWG)
25 o 50	Simple	1 x (triplex 4/0 AWG)
	Doble	2 x (triplex 1/0 AWG)
75	Simple	---
	Doble	2 x (triplex 4/0 AWG)
2 x 25 o 2 x 50	Simple	1 x (cuádruplex 4/0 AWG)
	Doble	2 x (cuádruplex 1/0 AWG)
25 y 50 o 50 y 75	Simple	---
	Doble	2 x (cuádruplex 4/0 AWG)
2 x 75	Simple	---
	Doble	2 x (cuádruplex 4/0 AWG)
3 x 10	Simple	1 x (cuádruplex 4/0 AWG)
3 x 25	Simple	1 x (cuádruplex 4/0 AWG)
3 x 50	Doble	2 x (cuádruplex 4/0 AWG)
3 x 75	Doble	2 x (cuádruplex 4/0 AWG)

Fuente: Departamento de normalización Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

La tabla XIII presenta los datos para seleccionar los puentes adecuados según la topología de red a desarrollar y los tipos de conductores a emplear.

2.5.11. Longitudes máximas redes BT

A continuación, se presenta la tabla de especificación de longitudes máximas de redes en baja tensión.

Tabla XIV. **Longitud máxima de la red de baja tensión (metros)**

Potencia del Transformador (kVA)	Sección conductor de línea	Red rural ($\Delta V = 5\%$)		Red urbana ($\Delta V = 2,50\%$)	
		Simple	Doble	Simple	Doble
10	Triplex 1/0	190	380	77	154
	Triplex #2	122	244	49,5	99
25	Triplex 4/0	142	284	58	116
	Triplex 1/0	76	152	31	62
50	Triplex 336,4	106	210	43	86
	Triplex 4/0	71	142	29	58
75	Triplex 336,4	70	140	29	58
	Triplex 4/0	47,5	95	19	38
2 x 25	Cuádruplex 4/0	142	284	58	116
		142,5	285	57,5	115
2 x 50	Cuádruplex 336,4	106	210	43	86
	Cuádruplex 4/0	71	142	29	58
2 x 75	Cuádruplex 336,4	285	570	115	330
	Cuádruplex 4/0	35	70	14,5	29
3 x 50	Cuádruplex 336,4	141	282	57	114
3 x 75		47	94	19	38

(*) La longitud indicada para los puentes dobles se refiere al máximo en cada lado del trafo. En caso de abastecer a un solo lado, la distancia alcanzable sería el doble.

Fuente: Departamento de Normalización, Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica líneas aéreas de baja tensión módulo general*. http://www.minetad.gob.es/industria/es-ES/participacion_publica/Documents/especificaciones-Begasa/PT-LBTA-01.pdf. Consulta: 25 de febrero de 2016.

La tabla XIV presenta las distancias máximas de los circuitos de distribución de los transformadores (triplex o cuádruplex) los cuales no cumplirlas se estaría teniendo problemas de caída de tensión.

2.6. Pérdidas de energía

Es sumamente común que las empresas eléctricas tengan frecuentes pérdidas de energía eléctrica; se tornan en un problema cuando rebasan

límites. Las pérdidas de energía eléctrica se pueden clasificar en técnicas y no técnicas. Las pérdidas técnicas se dan en los elementos y equipos de los circuitos eléctricos, por ejemplo en líneas de transmisión, transformadores y bancos de capacitores. Su origen son los principios que rigen la transformación de la energía.

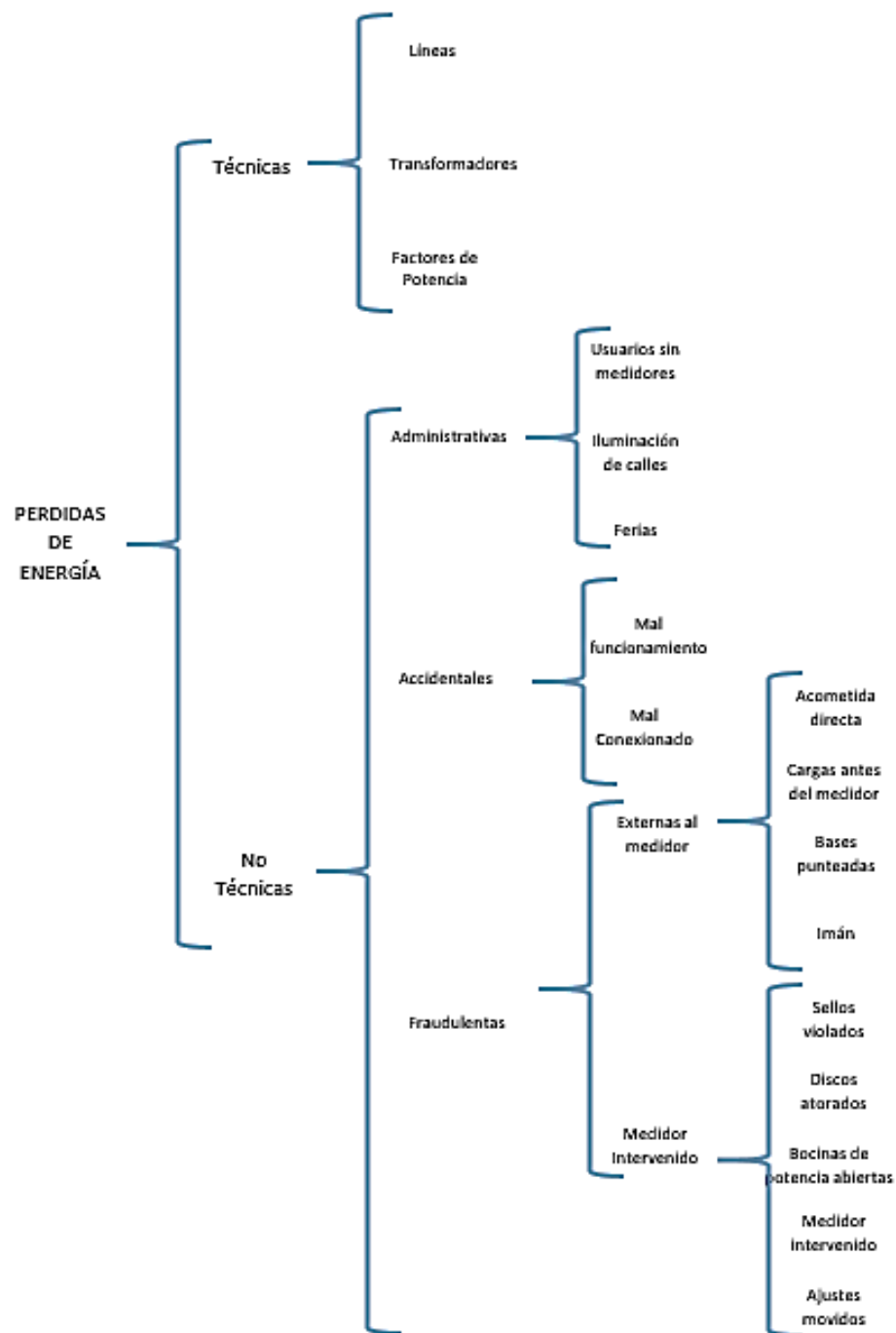
Las pérdidas no técnicas se pueden clasificar en tres tipos:

- Accidentales: las cuales tienen su origen en el mal uso u operación de los elementos y equipos de los circuitos eléctricos, tal es el caso de un conexionado erróneo.
- Administrativas: energía que por algún motivo no se contabiliza: usuarios sin medidores (toma directa), ferias, etcétera.
- Fraudulentas: referidas a la energía que toman algunos consumidores evitando mediante algún mecanismo pasar por los medidores de la compañía de electricidad.

Es posible obtener un buen control de las pérdidas técnicas a través de prácticas operativas y procedimientos de diseño automatizados para el dimensionamiento óptimo de los elementos y equipos de los circuitos eléctricos.

A continuación, se muestra un diagrama que resume las posibles causas de pérdida de energía.

Figura 4. Causas de la pérdida de energía



Fuente: elaboración propia.

2.7. Eficiencia en sistemas eléctricos

“La eficiencia energética es la forma más rápida, económica y limpia de reducir el consumo energético y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero para cumplir los objetivos del protocolo de Kyoto”¹¹, “una demanda creciente de los diferentes actores del mercado, representado por los principales países emisores de contaminantes atmosféricos, EEUU, UE, Japón y más actualmente China”¹². Entre las preocupaciones actuales está el ahorro de energía y el efecto medioambiental de la generación de energía eléctrica, se busca la generación a partir de energías renovables y una mayor eficiencia en la producción y el consumo, que también se denomina ahorro de energía. De tal manera surge la siguiente interrogante:

¿Cuáles son los objetivos de la eficiencia energética?

- Ahorro energético: implica no sólo la reducción del consumo, sino también la reducción de emisiones que afectan al medio ambiente.

De todos los costos operativos, el energético es el más fácil de controlar, pero para su reducción es indispensable un control continuo, una gestión adecuada de la información y una asesoría energética efectiva.

- Mejora de la productividad: se centran en optimizar el rendimiento de los equipos y de los procesos; facilita un correcto mantenimiento.

¹¹ ¿Qué es el protocolo de Kyoto? <http://www.carbontradewatch.org/>. Consulta: 26 de marzo de 2016.

¹² La postura de los actores principales. <http://www.publico.es/actualidad/postura-actores-principales.html>. Consulta: 26 de marzo de 2016.

- Disponibilidad y fiabilidad: la supervisión energética permite garantizar la continuidad del suministro, maximizar el tiempo operativo de su proceso productivo y alcanzar los requerimientos de calidad y tiempos de respuesta.

2.8. Eficiencia energética

“En la mayoría de las instalaciones existentes, se puede lograr hasta un 30 %”¹³, de ahorro energético utilizando las soluciones y tecnologías disponibles en la actualidad. Las acciones locales de eficiencia energética tienen un importante efecto productivo debido a las pérdidas en la generación y en la red eléctrica de distribución y transmisión, 1 kWh de uso en una instalación, con generación a carbón (muy utilizado en los mercados emergentes) requiere 3 kWh de producción. Por cada unidad energética que se ahorra, se ahorran tres de producción.

2.9. Eficiencia energética en sistemas de distribución eléctrica

La eficiencia energética en instalaciones eléctricas se centra normalmente en la generación y el consumo quedando la distribución en un segundo plano. Sin embargo, las pérdidas eléctricas en los sistemas de distribución interna de la energía eléctrica constituyen para el usuario un consumo importante y que no satisface, en ningún caso, los requerimientos reales de sus instalaciones productivas o de servicios.

La reducción de estas pérdidas, a través de una adecuada selección de transformadores y conductores y el manejo de la potencia reactiva, entre otras medidas, permite disponer de un sistema eficiente de distribución de energía eléctrica.

¹³ Schneider Electric. *Eficiencia energética, manual de soluciones*. p. 89.

3. MEJORAMIENTO DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA INDUSTRIA DEL CAFÉ

3.1. Eficiencia energética en la producción industrial

El esfuerzo de implementar eficiencia energética (EE) en la industria inició alrededor de 1970, originado en primer lugar por la necesidad de reducir los costos de operación. A pesar de que la energía es vital para muchos procesos, esto no es necesariamente un componente crítico de costos. Actualmente, la eficiencia energética es vista de forma fragmentada debido a la ausencia de una metodología establecida.

Muy pocos practicantes de eficiencia energética están preocupados por los resultados medioambientales de la aplicación de eficiencia energética, aun cuando una parte de las opciones de eficiencia energética pueden llevar a obtener beneficios medioambientales y estas no son vistas de forma relevante. Para la eficiencia energética la reducción de costos es la principal preocupación ya que favorecería de forma económica a las empresas, aun cuando estas opciones conlleven impactos negativos al medioambiente.

3.1.1. Sistemas eléctricos

La energía eléctrica es un recurso con gran incidencia en los procesos productivos y en los actos cotidianos, íntimamente relacionado con el confort, la calidad de vida y el desarrollo económico.

Para analizar las oportunidades de ahorro de los equipos eléctricos en la industria, es conveniente analizar la secuencia que sigue la energía eléctrica desde que se genera hasta que se consume:

- En primer lugar los generadores eléctricos producen energía eléctrica en las centrales generadoras (térmica, hidroeléctrica, geotérmica y biomasa) produciendo potencias muy elevadas y por tanto grandes corrientes.
- Esta potencia es transformada en otra de mayor nivel de tensión y por lo tanto de menor corriente en las estaciones transformadoras, para minimizar las pérdidas en el transporte.
- Para el transporte de esta energía eléctrica hacia los centros de consumo se utilizan las redes de transporte para luego pasarla a las redes de distribución.
- Por último, a partir de estos puntos, la tensión se reduce nuevamente a los valores necesarios por los elementos que vayan a conectarse a la red (clientes de media y baja tensión).

Las pérdidas energéticas en los sistemas eléctricos (accidentales, administrativas y fraudulentas) se producen en todas las partes de una instalación eléctrica. Esto es, generación, transporte, distribución y consumo. Las empresas, para conseguir ahorros, pueden actuar tan solo sobre su consumo eléctrico, por lo tanto, el ahorro de energía se centrará en los procesos de producción.

3.2. Administración de la energía eléctrica

A continuación, se describen los métodos de control de consumo de energía eléctrica.

3.2.1. Control del consumo de energía eléctrica

Los estudios realizados han demostrado que reducir la operación innecesaria del equipo representa un potencial significativo de ahorro de energía eléctrica; en muchos casos es común encontrar luminarias encendidas sin necesidad, máquinas encendidas sin procesar producto, cuartos refrigerados con la puerta abierta, entre otros casos a los cuales se puede aplicar un control eficiente en el consumo de energía eléctrica.

Los dispositivos automáticos ofrecen varias ventajas significativas a su contraparte humana, como apagados automáticos, suspensión, entre otros; su confiabilidad es mucho mayor, ya que la fatiga, la falta de atención, mala actitud, incapacidad y otras características humanas no entran en juego.

La recopilación de información de energía eléctrica en una empresa nos ayuda a:

- Interpretar y controlar las variables energéticas
- Costeo efectivo del producto
- Generación de indicadores de desempeño y evaluar:
 - Eficiencia en los procesos
 - Detección de anomalías
 - Nuevas tecnologías

- Reducción de picos de demanda
- Evaluación de proyectos de generación alterna de energía

3.2.2. Controles de encendido y apagado

Existe una variedad de dispositivos simples y de bajo costo, que usualmente controlan solo una carga, se pueden clasificar dentro de esta categoría los siguientes:

- Controles de tiempo, los tipos mecánicos y más recientemente los tipos electrónicos, controlan el encendido y apagado de equipo específico a tiempos preestablecidos durante un día o semana.
- Interlocks, pueden conectarse al cableado del equipo auxiliar de un equipo primario de manera que, cuando se apaga una máquina de proceso, su ventilador o iluminación o flujo de agua se suspende automáticamente.
- Relevadores de fotocelda, empleados especialmente para sistemas de iluminación para encender en la oscuridad y apagar cuando la iluminación natural sea adecuada.
- Equipo termostático, que puede tener diferentes puntos de referencia para ciertos períodos del día o de la noche y pueden reducir el empleo de los equipos de calefacción o refrigeración.

Sensores infrarrojos de presencia, que perciben la presencia o ausencia humana y pueden apagar o encender la iluminación de un área o algún equipo.

3.2.3. Controladores programables

Se emplean principalmente en equipos con cargas cíclicas y sustituyen a los relevadores electromecánicos.

También, son usados con frecuencia para controlar equipo individual con el método de encendido/apagado o a una hora específica del día. Los equipos típicos disponibles controlan una variedad de puntos.

El tiempo de arranque o paro de cada punto puede controlarse individualmente o monitorearse.

3.2.4. Control de la demanda máxima

El control de demanda es la administración de las principales cargas eléctricas para reducir y establecer un límite máximo a la demanda (kW) durante ciertos períodos de tiempo.

Los cargos por demanda máxima representan un componente importante y apreciable de la factura eléctrica. Dependiendo del factor de carga de la planta, los cargos directos por demanda típicamente representan entre 15 % y el 30 % de la facturación.

Demanda máxima medida: esta es la demanda instantánea registrada por el medidor de la compañía eléctrica sobre cualquier intervalo de 15 minutos. Estos valores medidos de la demanda máxima se registran mensualmente durante el período punta, valle y resto.

- Metodología de control de la demanda
 - Recopilación de la información: es el primer paso de esta metodología, en donde básicamente se debe obtener los datos de la facturación eléctrica y producción de la empresa a analizar, el censo de las principales cargas y sus horarios de operación.
 - Análisis de la información: esto requiere de un análisis histórico de la facturación eléctrica revisando los índices energéticos de un año de la empresa (kWh/producto), comportamiento de la demanda punta, valle y resto, graficar el comportamiento de la demanda y del consumo de energía anual, revisar el perfil de demanda proporcionado para un mes y verificar el comportamiento de la demanda en períodos sin producción.
 - Mediciones: en esta etapa se requiere de equipos de medición apropiados, ya que se realizan mediciones en transformadores y en cada una de las principales cargas, además se realiza un análisis de las mediciones eléctricas y de la operación de estas cargas.
 - Propuesta de control de la demanda: se realiza con base en la información entregada, en donde básicamente se presentarán los nuevos horarios de operación y con ellos se elaborarán los nuevos perfiles de operación ya sea para un día típico o para un fin de semana; con estos se tendrá el nuevo perfil de demanda mensual con la reducción en la demanda máxima y en la demanda facturada. Si se tienen el consumo y la demanda de energía

eléctrica en cada uno de los horarios de facturación, se puede calcular el monto a pagar, dependiendo de la tarifa eléctrica.

- Evaluación económica del proyecto: para esta etapa se requiere de dos aspectos: a) la determinación de los beneficios económicos y energéticos, cual consiste en el ahorro obtenido por las modificaciones sugeridas de cambios de horarios, ajuste de cargas, modificaciones en el contrato de las demandas energéticas, entre otros; b) aspecto es la inversión a realizar en el equipo de control que la empresa requiere y/o capacitaciones.
- Equipos para control de demanda

Es un dispositivo que actúa sobre una señal, que temporalmente apaga cargas eléctricas predeterminadas, para mantener la demanda máxima bajo control. El controlador apaga o establece ciclos de trabajo a las cargas cuando la demanda alcanza un valor preseleccionado o crece a una tasa. El punto prefijado debe ser cuidadosamente seleccionado para que no se afecte la producción o necesidades de operación.

Los controladores automáticos tienen la posibilidad de manejar diferentes tablas de niveles de acuerdo al día, la fecha, el mes, la estación o el año.

Algunos equipos implementan esquemas de reconexión y/o conexión anticipada en el caso de demandas bajas y cargas programables de gran capacitancia. De esta manera, la capacidad de la planta de almacenar energía se optimiza en forma económica.

Existen sistemas para control que van desde un sistema de monitoreo, registro hasta adquisición de parámetros eléctricos. Este sistema permite cubrir cualquier necesidad de medición eléctrica y control de demanda, ofreciendo:

Tabla XV. **Sistemas de control de demanda**

Control de demanda
Estado de las cargas en control
Mediciones en tiempo real
Registro de eventos de medición y operación
Manejo de tendencias
Facturación
Generación de reportes

Fuente: elaboración propia.

3.3. Control del factor de potencia

Trabajar con un factor de potencia bajo es caro e ineficiente. Las compañías eléctricas imponen recargos adicionales cuando una empresa opera con un factor de potencia inferior a 0,9. Un bajo factor de potencia también reduce la capacidad eléctrica de distribución del sistema porque se incrementa la corriente que causa un aumento de las caídas de tensión.

Un bajo factor de potencia es causado por cargas inductivas como transformadores, motores eléctricos y lámparas fluorescentes. Son este tipo de elementos los que precisamente consumen la mayor parte de la energía en la industria.

Tabla XVI. **Ventajas y desventajas derivadas del factor de potencia**

Ventajas	Desventajas
Reducir la factura de la compañía eléctrica. Debido a las modificaciones realizadas en los equipos y a la eliminación de multas.	Un factor de potencia incorrecto causará pérdidas de potencia en el sistema de distribución y provocará caídas de tensión lo que puede causar sobrecalentamiento y fallos prematuros en motores y otros equipos con carácter inductivo.
Aumento de la capacidad de transmitir energía útil en el sistema eléctrico.	

Fuente: elaboración propia.

Algunas de las estrategias más utilizadas para corregir el factor de potencia son:

- Minimizar la operación de motores sin carga o con baja carga.
- Evitar que los equipos operen por encima de su tensión nominal.
- Sustituir los motores convencionales por motores de alta eficiencia. No obstante, aun los motores de alta eficiencia deben operarse a su capacidad óptima.
- Instalar banco de capacitores en el circuito de corriente alterna para disminuir la magnitud de la potencia reactiva.

3.3.1. Motores eléctricos

El elemento de salida es un eje normalmente. Entre los diferentes tipos de motores se encuentran los motores eléctricos, los cuales reciben energía eléctrica y la transforman en mecánica.

“Existen numerosas estadísticas que demuestran la importancia de la energía eléctrica empleada por los motores. Los motores eléctricos de potencia superior a 700 W utilizan aproximadamente el 75 %”¹⁴, de la energía eléctrica en la industria y el comercio, empleándola para accionar bombas, ventiladores, ascensores, grúas y otras máquinas.

La clasificación más usual de los motores eléctricos es la siguiente:

- Motores de corriente continua
- Motores de corriente alterna
- Síncronos
- Asíncronos o de inducción

Debido a que un alto porcentaje de la energía eléctrica en la industria se utiliza para accionar motores es importante la medida de eficiencia energética, que busca conseguir una elevada eficiencia en estos equipos supone unos ahorros importantes, tanto energéticos como económicos.

El uso racional de energía en los motores eléctricos implica utilizarlos solo el tiempo que sea necesario de acuerdo a las condiciones de producción. Para reducir el consumo de energía eléctrica se pueden utilizar controles para apagar los motores cuando estos no sean necesarios. Cuando se utilizan correctamente los controles de los motores se disminuye considerablemente el consumo de energía.

¹⁴ ZELAYA, Mario Rubén. *Manual para la preparación de auditorías energéticas y evaluación financiera de proyectos de eficiencia energética*. p. 55.

A continuación, se presenta la siguiente tabla con los valores máximos de arranques por hora y el mínimo tiempo que tendría que estar apagado un motor de 1 800 RPM.

Tabla XVII. **Número de arranques permitidos y mínimo tiempo entre arranques**

Tamaño del motor (HP)	Máximo número de arranques/hora	Mínimo tiempo entre arranque (segundos)
5	16	42
10	12	46
25	8	58
50	6	72
100	5	110

Fuente: NEMA. *Estándar publicaciones N°MG10*.

<http://www.nema.org/Standards/pages/default.aspx>. Consulta: 4 de abril de 2016.

- $n = \text{Potencia mecánica útil} / \text{potencia eléctrica}$

Normalmente, la medida del rendimiento del motor eléctrico se realiza en las instalaciones del fabricante del motor o en laboratorios oficiales. Para ello se utilizan dos sistemas: a) método directo o b) método indirecto o de pérdidas separadas.

Las principales consecuencias del mal rendimiento de un motor eléctrico son:

- Alto costo económico de su funcionamiento.
- Las pérdidas de todo tipo se transforman en calor, el cual ha de ser evacuado del motor.

Para calcular el factor de carga del motor o el porcentaje de utilización del motor para realizar un trabajo, se utiliza la siguiente fórmula:

- Factor de carga = [potencia medida (kW)/0,746] / [potencia nominal (HP)/eficiencia nominal].

A continuación, se citan las principales oportunidades de eficiencia energética en motores eléctricos.

3.3.2. Ajustar la velocidad de operación del motor

Es una de las oportunidades de ahorro de energía que se puede aplicar con el mismo personal de la planta y con simples modificaciones a los diámetros de poleas de ventiladores, extractores, sopladores y agitadores o de impulsores en bombas centrífugas. En cargas centrífugas un pequeño cambio en la velocidad del motor a plena carga se transforma en un significativo cambio en el consumo de energía.

La regulación del caudal por la variación de la velocidad de rotación de maquinarias indica que la potencia demandada por el motor varía al cubo de la velocidad de rotación y en contraste el flujo de aire varía linealmente con la velocidad.

3.3.3. Operar el motor en su carga nominal

Pocos motores operan a su carga nominal, por lo que la eficiencia, el factor de potencia y la corriente de placa no son óptimos.

“Los fabricantes tienen disponibles para los usuarios las curvas características de los motores, en donde se muestra como varía la eficiencia y el factor de potencia con la carga a la que trabaja el motor. Estos fabricantes en sus especificaciones indican los valores de eficiencia entre el 38 % y 70 % de carga aplicándose a la Norma NEMA”¹⁵.

“La eficiencia tiene poca variación desde el 50 % hasta el 100 % de la carga nominal, y comienza a disminuir drásticamente a partir de valores menores a 40 % de carga”¹⁶.

3.3.4. Cambiar a motores de alta eficiencia

Los nuevos motores que se comercializan actualmente son más eficientes que los antiguos y demandan menos energía reactiva lo que se traduce en ahorros económicos en la factura eléctrica. Para lograr esta eficiencia, diversos fabricantes de motores eléctricos, se han dedicado a mejorar su diseño y manufactura, realizando diversas acciones entre las que se pueden mencionar:

- La utilización de acero con mejores propiedades magnéticas para el rotor
- La reducción del entrehierro
- La reducción del espesor de la laminación
- El incremento en el calibre de los conductores
- La utilización de ventiladores y sistemas de enfriamiento más eficientes
- La utilización de mejores materiales aislantes

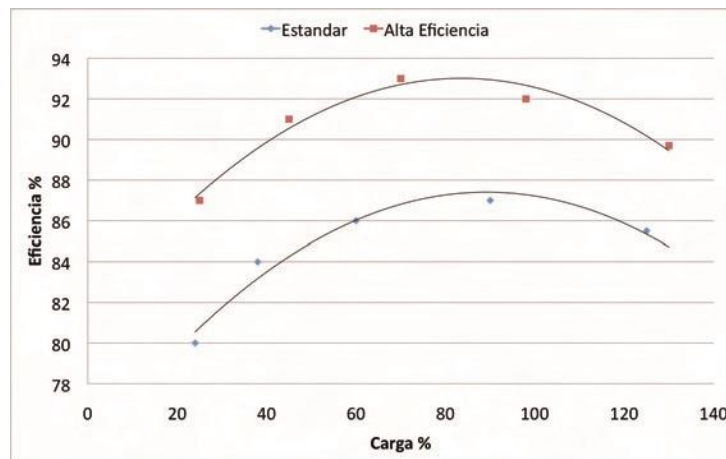
El resultado ha sido motores con pérdidas de hasta un 45 % menor que las de los motores estándar. La reducción del 30 % en las pérdidas de un motor

¹⁵ NEMA. *Motores eléctricos monofásicos y trifásicos*. http://www.grupoar.com.ec/descargas/motores_electricos.pdf. Consulta: 6 de abril de 2016.

¹⁶ . Ibíd.

de 3 HP con 76 % de eficiencia, incrementa su valor a un 79 %. Por otro lado, “los motores de alta eficiencia, a diferencia del estándar, mantienen su alto nivel de eficiencia en un amplio rango de carga, esto se puede observar en la figura 5, en donde se demuestra que hay una diferencia de la eficiencia con la carga, entre motores estándar y de alta eficiencia”¹⁷.

Figura 5. **Eficiencia de motores estándar y de alta eficiencia**



Fuente: NEMA. *Motores eléctricos monofásicos y trifásicos*.

http://www.grupoar.com.ec/descargas/motores_electricos.pdf. Consulta: 6 de abril de 2016

La grafica anterior demuestra la diferencia en la eficiencia energética entre los motores de alta eficiencia y los estándar, según indica “la mayor eficiencia la alcanzan los motores de alta eficiencia con una carga promedio de 80 % con 93 % de eficiencia”¹⁸.

“Los motores de alta eficiencia son del orden de un 20 % más caro que los motores estándar, pero pueden llegar a ser un 5 % más eficientes (motores de

¹⁷ NEMA. *Motores eléctricos monofásicos y trifásicos*. http://www.grupoar.com.ec/descargas/motores_electricos.pdf. Consulta: 6 de abril de 2016.

¹⁸ *Ibíd.*

baja potencia). Además, estos motores tienen una vida útil de más de 10 años”¹⁹.

3.3.5. Instalación de dispositivos de arranque de motores

La corriente eléctrica demandada por un motor en el arranque puede ser hasta 7 veces mayor que la corriente demandada en su funcionamiento nominal, debido a que debe romper la inercia en la cual se encuentra en un tiempo relativamente corto. Cuando el motor arranca directamente a plena carga, se producen problemas de tipo mecánico asociados a los sobreesfuerzos de torsión. Los sobreesfuerzos en la caja de engranajes, acoplamientos, correas y otras piezas pueden producir un deterioro prematuro del motor e incluso una avería.

Para solventar estos problemas asociados a los sobreesfuerzos mecánicos, se han desarrollado dispositivos de arranque suave los cuales permiten ajustar en incrementos pequeños el esfuerzo de torsión y la corriente en el arranque. Los dispositivos de arranque permiten modificar el tiempo que le cuesta al motor alcanzar su velocidad nominal.

Los dispositivos de arranque son controladores aplicables a motores de inducción de corriente alterna. De este modo, las pérdidas magnéticas se reducen, el motor trabaja a menor temperatura y eficientemente, el factor de potencia se mantiene en un valor adecuado y, por lo tanto, la eficiencia global del motor aumenta.

Estos dispositivos son utilizados en los siguientes casos:

¹⁹ NEMA. *Motores eléctricos monofásicos y trifásicos*. http://www.grupoar.com.ec/descargas/motores_electricos.pdf. Consulta: 6 de abril de 2016.

- Arranques y paradas frecuentes de ventiladores, mezcladoras, centrifugadoras, bombas centrífugas y de vacío, compresores, entre otros.
- Ciclos continuos de trabajo alternando períodos con carga nominal con otros a baja carga o en vacío.
- Motores con tiempos de arranque prolongados.

3.3.6. Variadores de velocidad

Son dispositivos que permiten variar la velocidad del eje según la carga del motor, reduciendo el consumo de energía. Incluyen las ventajas de los dispositivos de arranque que proporcionan un arranque suave del motor.

Se pueden instalar variadores de velocidad en accionamientos de cualquier potencia y tipo de carga; es necesario tener en cuenta una serie de aspectos:

- El ahorro proporcionado por un variador de velocidad aumenta con la variación de la carga y el número de horas de funcionamiento.
- Para motores menores de 15 HP aproximadamente, el costo suele hacer inviable la inversión.
- Podrían usarse variadores de velocidad únicamente para solucionar el problema del arranque (sobrecorriente) de los motores, en la práctica no se hace, ya que el costo de un variador de velocidad es mayor que el de un dispositivo de arranque suave.

Tabla XVIII. Características de desempeño

SINGLE-PHASE / MONOFÁSICOS

FRAME CARCASA NEMA	Poles Pólos	Model Modelo	Power Potencia		Speed Velocidad (RPM)	Full load current Corriente nominal in 220V (A)	Ip/In	Full load torque Par nominal Cn (Kgfm)	Locked rotor torque Par a rotor bloqueado Cp/Cn%	Break-down torque Momento máximo de Par Cmáx./Cn	Efficiency Rendimiento 100%	Service Factor Factor de Servicio	Approx. Weight Aprox. Peso (Kg)			
			hp	kW												
60Hz																
N48	2	B48	1/8	0,09	3525	1,9	4,4	0,025	360	370	38,5	1,4	6,5			
		B48	1/6	0,12	3540	2,1	5,2	0,033	360	365	48,2	1,35	6,7			
		B48	1/4	0,18	3510	2,7	5,0	0,051	300	320	49,2	1,35	7,2			
		C48	1/3	0,25	3530	3,3	5,3	0,068	295	320	58,0	1,35	8,3			
		C48	1/2	0,33	3525	4,8	6,2	0,102	290	260	60,0	1,25	9,3			
		T56	1/8	0,09	3525	1,9	4,4	0,025	360	370	38,5	1,40	6,5			
		U56	1/6	0,12	3540	2,1	5,2	0,033	360	365	48,2	1,35	6,7			
		C56	1/4	0,18	3510	2,7	5,0	0,051	300	320	49,2	1,35	7,2			
		X56	1/3	0,25	3530	3,3	5,3	0,068	295	320	58,0	1,35	8,3			
		A56	1/2	0,33	3525	4,8	6,2	0,102	290	260	60,0	1,25	9,3			
		E56	3/4	0,55	3495	5,3	5,9	0,154	270	290	68,0	1,25	14,0			
		I56	1,0	0,75	3505	7,0	6,0	0,204	260	300	69,4	1,25	15,5			
		D56	1,5	1,10	3480	10,5	6,0	0,310	250	290	65,0	1,15	16,7			
		I56	2,0	1,50	3480	12,0	8,0	0,410	300	280	73,2	1,15	19,5			
		J56	3,0	2,20	3490	17,0	8,0	0,610	260	300	76,0	1,0	23,5			
60Hz																
N48	4	B48	1/8	0,09	1760	1,9	4,2	0,051	290	390	42,8	1,4	6,8			
		B48	1/6	0,12	1760	2,3	5	0,068	285	340	46,0	1,35	7,0			
		B48	1/4	0,18	1760	2,7	5,5	0,102	280	320	53,5	1,35	8,6			
		C48	1/3	0,25	1755	3,7	5	0,136	280	315	52,2	1,35	8,6			
		C48	1/2	0,33	1745	4,5	5	0,205	300	270	61,0	1,25	9,6			
		T56	1/8	0,09	1760	1,9	4,2	0,051	290	390	42,8	1,4	6,8			
		U56	1/6	0,12	1760	2,3	5	0,068	285	340	46,0	1,35	7,0			
		X56	1/4	0,18	1760	2,7	5,5	0,102	280	320	53,5	1,35	8,6			
		D56	1/3	0,25	1755	3,7	5	0,136	280	315	52,2	1,35	8,6			
		D56	1/2	0,33	1745	4,5	5	0,205	300	270	61,0	1,25	9,6			
		D56	3/4	0,55	1735	6,0	4,8	0,309	270	265	66,4	1,25	13,5			
		E56	1,0	0,75	1730	7,8	4,9	0,410	270	275	65	1,15	15,5			
		J56	1,5	1,10	1735	10,5	5,7	0,620	280	280	69,2	1,15	18,5			
		J56	2,0	1,50	1735	10,5	6,7	0,830	240	280	75,8	1,0	22			
		H56	3,0	2,20	1740	15,0	7	1,240	230	250	79	1,0	26,5			
50Hz																
N48	2	B48	1/6	0,12	2900	2,10	5,0	0,041	360,0	400	45,0	1,35	6,7			
		B48	1/4	0,18	2900	2,50	4,0	0,065	330,0	390	46,0	1,35	7,2			
		C48	1/3	0,25	2900	3,00	5,0	0,083	270,0	270	50,0	1,35	8,3			
		C48	1/2	0,33	2900	4,30	5,0	0,123	260,0	265	60,0	1,25	9,3			
		D48	3/4	0,55	2880	5,50	5,0	0,186	300,0	320	61,0	1,25	12,0			
		B56	1/6	0,12	2900	2,10	5,0	0,041	360,0	400	45,0	1,35	6,7			
		B56	1/4	0,18	2900	2,50	4,0	0,065	330,0	390	46,0	1,35	7,2			
		C56	1/3	0,25	2900	3,00	5,0	0,083	270,0	270	50,0	1,35	8,3			
		C56	1/2	0,33	2900	4,30	5,0	0,123	260,0	265	60,0	1,25	9,3			
		D56	3/4	0,55	2880	5,50	5,0	0,186	300,0	320	61,0	1,25	12,0			
		T56	1,0	0,75	2850	8,00	5,5	0,247	280,0	315	62,0	1,25	15,5			
		D56	1,5	1,10	2880	9,60	5,0	0,370	280,0	280	75,0	1,15	16,7			
		J56	2,0	1,50	2880	12,30	5,0	0,490	270,0	275	75,5	1,15	23,5			
		50Hz														
		N48	4	B48	1/8	0,09	1420	1,8	4,0	0,063	330,0	360	42,0	1,4	6,8	
B48				1/6	0,12	1420	2,0	4,5	0,084	350,0	400	45,0	1,35	7,0		
C48	1/4			0,18	1425	3,0	4,0	0,123	325,0	390	51,0	1,35	8,6			
C48	1/3			0,25	1440	3,5	4,5	0,166	320,0	300	53,0	1,35	8,6			
B56	1/8			0,09	1420	1,8	4,0	0,063	330,0	360	42,0	1,40	6,8			
B56	1/6			0,12	1420	2,0	4,5	0,084	350,0	400	45,0	1,35	7,0			
C56	1/4			0,18	1425	3,0	4,0	0,123	325,0	390	51,0	1,35	8,6			
C56	1/3			0,25	1440	3,5	4,5	0,166	320,0	300	53,0	1,35	8,6			
B56	1/2			0,33	1440	5,0	4,5	0,248	350,0	300	51,5	1,25	13,5			
C56	3/4			0,55	1420	7,0	5,5	0,374	300,0	280	52,0	1,25	15,5			
A56	1,0			0,75	1430	8,0	4,8	0,500	305,0	250	60,0	1,15	18,5			
J56	1,5			1,10	1410	11,0	5,5	0,750	300,0	245	62,8	1,15	24,5			
H56	2,0			1,50	1430	12,3	7,2	0,984	270,0	240	71,5	1,00	26,5			

Fuente: NEMA. Motores eléctricos monofásicos y trifásicos.

http://www.grupoar.com.ec/descargas/motores_electricos.pdf. Consulta: 6 de abril de 2016.

3.4. Hornos eléctricos

Son generalmente más limpios, más fáciles de controlar, con mantenimientos más simples; se presentan para un gran número de aplicaciones y poseen mejores eficiencias que los otros tipos de hornos convencionales alimentados por combustibles.

En ocasiones los hornos eléctricos no son utilizados de manera adecuada, por lo que pueden generar altos costos y desperdicios. Además, el costo del kilowatt eléctrico es mucho mayor al costo del kilowatt térmico.

Este tipo de hornos son necesarios cuando se requiere un control elevado del proceso o cuando la temperatura demandada es muy alta. Los hornos eléctricos son más indicados para la industria de la fundición y para la obtención de aceros especiales.

A continuación, se describen los principales eléctricos comerciales.

- Conducción de corriente eléctrica en el seno de la pieza a calentar.
- Por generación de calor en resistencias próximas a la carga (hornos de resistencia).
- Por inducción electromagnética de corriente en el interior de la propia carga (hornos de inducción).
- Generación de pérdidas dieléctricas en el seno de materiales aislantes.

- Formados por una cuba de chapa de acero revestida de material refractario, provista de electrodos de grafito o de carbón amorfo (horno de arco).
- El calor se produce por el efecto joule de la corriente inducida en el metal que se trata de fundir, que actúa como arrollamiento secundario de un transformador (hornos de baja frecuencia).
- El calor lo producen las corrientes de Foucault, ordinariamente consideradas como parásitas, inducidas en el metal, que actúa como núcleo de un solenoide o arrollamiento primario (hornos de alta frecuencia).
- El calor se produce por la vibración molecular del cuerpo que se trata de calentar cuando es sometido a un fuerte campo de radiaciones electromagnéticas de muy alta frecuencia, o frecuencias de radio (horno electrónico).
- están formados por un crisol rodeado por cintas o varillas de aleaciones de níquel-cromo de alta resistividad que se calienta fuertemente al circular por ellas la corriente eléctrica (horno eléctrico de crisol), de resistencia metálica y de resistencia de grafito. En los hornos eléctricos de resistencia metálica se produce el calor al circular la corriente eléctrica por resistencias de aleación níquel-cromo de gran sección, alojadas en la bóveda del horno. Los hornos eléctricos de resistencia de grafito están formados por una envuelta cilíndrica, por cuyo eje horizontal pasa una barra de grafito que se calienta al circular por ella la corriente eléctrica. (hornos eléctricos de reverbero).

Los costos de las diferentes opciones de ahorro varían ampliamente según el tipo de la medida planteada:

- Medidas que no requieren inversión (buenas prácticas)
 - Mantener las puertas del horno bien cerradas.
 - Reducir tiempos de carga y sin operación.
 - Operar a carga máxima.
 - Cargar rápidamente la materia prima para reducir las pérdidas de radiación del horno.
 - Procurar que los tiempos de utilización sean lo más elevados posibles para evitar tener que precalentar el horno cada vez que se quiere utilizar.
 - Utilizar cualquier subproducto resultante, como los vapores de salida. Es posible aprovechar el calor que almacenan para otros procesos, como precalentar otro horno, secar algún producto, pre-secado de materia prima, entre otros.
- Medidas que necesitan una pequeña inversión inicial

Tabla XIX. **Medidas de ahorro de energía en hornos**

Medidas	Porcentaje de ahorro
Al abrir las puertas: aislamientos en sectores requeridos. Asegurar con buen sellado las puertas.	80 %
Equipos de automatización. Un horno eléctrico automatizado.	25 %

Fuente: MYPES/FEMCIDI/OEA. *Manual de eficiencia energética para hornos eléctricos*. p 30.

- Otras medidas de ahorro:
 - Instalación de equipos precalentadores.
 - Cambio de electrodos de elevada resistencia o resistencias de mayor vida útil.
 - Precalentar si es posible la carga mediante calor sensible de gases de escape procedente de otros procesos.

La puesta en marcha de las medidas descritas anteriormente proporcionarán resultados como:

- Reducción de pérdidas de calor y por tanto menores consumos eléctricos (reducción en factura).
- Reducción de los costos de operación y mantenimiento.
- Reducción de los tiempos de operación y por tanto aumento de la producción.

3.4.1. Iluminación

Una buena iluminación es esencial para el bienestar y la salud. La iluminación en las empresas debe tener como objetivo fundamental garantizar las óptimas condiciones para desarrollar las tareas correspondientes de los trabajadores, garantizando al mismo tiempo la máxima eficiencia energética posible.

“La iluminación puede representar un gasto importante, puede llegar hasta ser el 40 %”²⁰, del uso de electricidad en las viviendas y comercios por cliente, debido al constante incremento del precio de la electricidad; por lo cual el uso racional de la misma puede llegar a constituir un porcentaje de ahorro muy importante.

Tabla XX. **Gasto porcentual en energía eléctrica por iluminación en sectores**

Uso	Porcentaje
Iluminación	40
Conservación de alimentos (refrigeradora)	29
Entretenimiento (tv y radio)	13
Ropa y aseo (plancha, ducha, lavadora)	11
Preparación de alimentos (licuadora, batidora, horno) y/o ventilación (ventilador o aire acondicionado)	7
Total	100

Fuente: *Uso de la electricidad en las viviendas de los clientes de Energuate.*

http://www.energuate.com/sites/default/files/C%C3%B3mo%20bajar%20Q50%20a%20la%20factura%20por%20electricidad_0.pdf. Consulta: 10 de junio de 2016.

²⁰ *Uso de la electricidad en las viviendas de los clientes de Energuate.* http://www.energuate.com/sites/default/files/C%C3%B3mo%20bajar%20Q50%20a%20la%20factura%20por%20electricidad_0.pdf. Consulta: 10 de junio de 2016.

A continuación, se describen los principales tipos de lámparas y luminarias y sus respectivas aplicaciones.

3.4.2. Lámparas

Son los aparatos encargados de transformar la energía eléctrica en energía lumínica. Existe un conjunto muy variado de lámparas; según sus aplicaciones pueden utilizarse en: iluminación, fotografía, señalización, cine, entre otros.

3.4.3. Clasificación general

- Lámparas incandescentes

Lámparas incandescentes: son dispositivos formados por una ampolla de vidrio que contiene un gas inerte, argón o criptón y un filamento de wolframio.

Su principio de funcionamiento es simple: se hace pasar una corriente eléctrica por un filamento hasta que este alcanza una temperatura (alrededor de 2 000° C) que emite radiaciones visibles por el ojo humano. Para evitar que el filamento se queme en contacto con el aire, se rodea con una ampolla de vidrio cuyo interior posee vacío o se ha rellenado con un gas.

“En general, los rendimientos de este tipo de lámparas son bajos debido a que la mayor parte de la energía consumida se convierte en calor. Solo el 10 %”²¹ de la energía eléctrica consumida se convierte en luz visible.

²¹ GARCÍA ÁLVAREZ, José Antonio E. *Así funciona la lámpara incandescente*. p. 96.

- No halógenas

Lámparas no halógenas: se distinguen las que se han rellenado con un gas inerte y aquellas en que se ha hecho el vacío en su interior. Actualmente, las lámparas con gas son más utilizadas, reduciéndose el uso de las de vacío a aplicaciones ocasionales en alumbrado general con potencias de hasta 40 W.

El color de luz emitida por una lámpara incandescente habitual, es ligeramente amarillento, debido a la mayor proporción de fotones emitidos en la zona de menor energía del espectro visible. Para obtener luz más blanca e intensa se utilizan las lámparas incandescentes halógenas, que permiten que el filamento alcance una temperatura más elevada sin que el wolframio llegue a fundir.

- Halógenas

“Es una variante de la lámpara incandescente con un filamento de tungsteno dentro de un gas inerte y una pequeña cantidad de halógeno (como yodo o bromo)”²².

El filamento y los gases se encuentran en equilibrio químico mejorando el rendimiento del filamento y aumentando su vida útil. El vidrio se sustituye por un compuesto de cuarzo que soporta mucho mejor el calor (lo que permite lámparas de tamaño mucho menor para potencias altas). Algunas de estas lámparas funcionan a baja tensión por lo que requieren de un transformador para su funcionamiento.

²² GARCÍA ÁLVAREZ, José Antonio E. *Así funciona la lámpara incandescente*. p. 98.

La duración de las lámparas incandescentes está normalizada; siendo de unas 1 000 horas para las normales, de 2 000 horas para halógenas en aplicaciones generales y de 4 000 para halógenas en aplicaciones especiales.

- Lámparas de descarga

Las lámparas de descarga constituyen una forma alternativa de producir luz de una manera más eficiente y económica que las lámparas incandescentes. Por eso su uso está tan extendido hoy en día.

La luz emitida se consigue por excitación de un gas sometido a descargas eléctricas entre dos electrodos, situados en un tubo lleno con un gas o vapor ionizado.

Según el gas contenido en la lámpara y la presión a la que esté sometido se tendrá diferentes tipos de lámparas cada una con sus propias características luminosas.

- Lámparas de vapor de mercurio
 - Baja presión
 - Lámparas fluorescentes alta presión
 - Lámparas con halogenuros metálicos - lámparas de vapor de mercurio a alta presión - lámparas de luz de mezcla
- Lámparas de vapor de sodio
 - Lámparas de vapor de sodio a baja presión
 - Lámparas de vapor de sodio a alta presión

En este tipo de lámparas, las pérdidas se centran en dos aspectos: las pérdidas por calor y las pérdidas por radiaciones no visibles (ultravioleta e infrarrojo). El porcentaje de cada tipo dependerá de la clase de lámpara con que se trabaje.

Al hablar del rendimiento de las lámparas de descarga, hay que diferenciar entre el rendimiento de la fuente de luz y la de los elementos auxiliares necesarios para su funcionamiento, por ejemplo los balastos.

Los dos aspectos básicos que afectan a la duración de estas lámparas son:

- La depreciación del flujo, que se produce por ennegrecimiento de la superficie del tubo donde se va depositando el material emisor de electrones que recubre los electrodos, localizados en los extremos del tubo.
- El deterioro de los componentes de la lámpara debido a la degradación de los electrodos por agotamiento del material emisor que los recubre.

Es importante atender a los siguientes factores externos que influyen en el funcionamiento de la lámpara, la temperatura ambiente y el número de encendidos.

- Las lámparas de descarga son, en general, sensibles a las temperaturas exteriores. Las lámparas a alta presión, son sensibles a las bajas temperaturas por tener problemas de arranque.

- El número de encendidos es muy importante para establecer la duración de una lámpara de descarga ya que el deterioro de la sustancia emisora de los electrodos depende en gran medida de este factor.
- Led

La tecnología led de alta luminosidad reúne diversas ventajas y sus aplicaciones crecen cada día. Se trata de un sistema moderno, seguro y rentable que supone ahorros en energía eléctrica, reducción de gastos de mantenimiento, en reposición y reducción de emisiones de CO₂.

Las principales ventajas de los led son las siguientes:

- Es muy difícil que un led se queme. En condiciones normales de uso, únicamente se degrada.
- Admite amplios márgenes de tensión (voltaje), lo que confiere al punto de luz mayor fiabilidad ante variaciones en el suministro eléctrico.
- Gran eficiencia energética: 24 lm/W en led rojo, frente a 10 lm/W con incandescencia.
- Posibilidad de formar luz blanca combinando los colores primarios azul, verde y rojo. También, utilizando el ultravioleta que es una forma más eficiente que la combinación de los colores primarios.

- Por sus características lumínicas, la iluminación con led está indicada, por razones de seguridad, en zonas con niebla o poca visibilidad.
- La utilización de tecnología de iluminación led es observable en semáforos (regulación de paso de vehículos) y este posee las siguientes ventajas.

Tabla XXI. **Comparación de tipo de lámparas en semáforos**

Sistema tradicional (bombilla)	Nuevo sistema (diodos led)
Aproximadamente 6 meses de duración.	Vida útil, 10 años (24 h/día).
Pérdida de luminosidad importante después de 3 000 horas.	Pérdida de luminosidad del 5 % después de un año.
Señalización luminosa no uniforme.	Señalización luminosa uniforme.
Bajo contraste con la luz solar. Problemas de visualización a distancia.	Alto contraste con la luz solar. Mejor visibilidad a gran distancia.
Cuando la bombilla se funde, el semáforo se apaga. La rotura del filamento puede causar un cortocircuito.	Cada unidad utiliza varios diodos led. Un diodo quemado solo representa una pérdida del 0,5 % en la luminosidad.
Cambio de las bombillas cada 6 meses. Alta sensibilidad a vibraciones.	Reemplazo de la unidad a los 10 años. Baja sensibilidad a vibraciones e impactos.

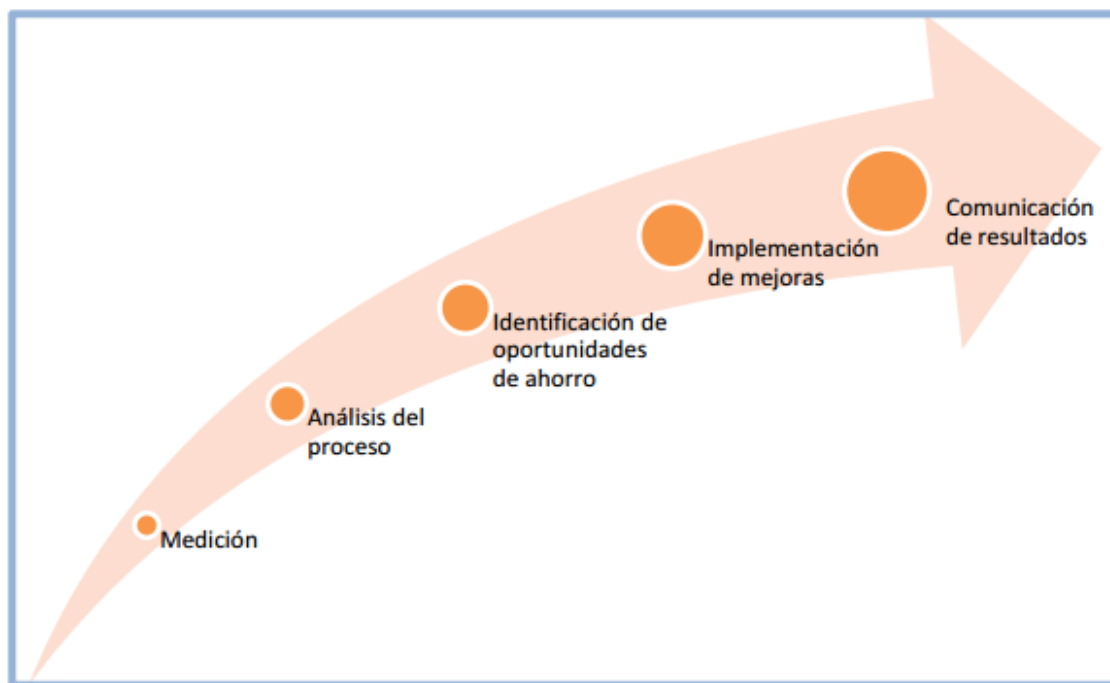
Fuente: MARTÍNEZ GRACIA, Amaya. *Disminución de costes energéticos en la empresa: tecnologías y estrategias*. p. 58.

3.5. Buenas acciones en el uso de energía eléctrica

“En la industria del café el consumo de energía para el funcionamiento de la maquinaria es un importante factor, ya que en la industria en general dependiendo de los procesos, el consumo por el funcionamiento de la

maquinaria fluctúa entre el 65 % y el 80 %²³ del consumo total de energía de una empresa. Por lo tanto, es importante implementar buenas prácticas para eficiente su uso, entre las que se pueden mencionar.

Figura 6. **Buenas acciones en el uso de energía eléctrica**



Fuente: OPTIMAGRID. *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa*. p. 28.

3.5.1. Automatizar los procesos

Es una estrategia que permite el ahorro de energía y es una acción de común uso en las industrias, que permite la reducción de costos cada vez más común en las industrias de diversos tipos; las acciones se convierten herramientas poderosas para alcanzar la eficiencia energética en una empresa.

²³ OPTIMAGRID. *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa*. p. 28.

Los pasos que a seguir para conseguir ahorros energéticos mediante la automatización de los procesos industriales son los siguientes:

- Medir, identificar y monitorear: puntos críticos del proceso con alto consumo energético, instale instrumentos para visualizar los consumos, realizar seguimiento y registrar datos.
- Analizar el proceso: para lo cual se debe realizar un proceso, revisando variables, rangos, tolerancias, capacidades para flexibilizar el proceso y buscar la reducción gradual del consumo de energía del mismo. Todo proceso es susceptible de mejorar.
- Identificar oportunidades de desarrollo: una vez identificadas las variables críticas y analizado el proceso, se deben identificar aquellas oportunidades de mejora. En el proceso se debe escoger las soluciones que maximicen el ahorro energético en relación a la inversión y sean sencillas de implementar.
- Implementar mejoras: luego del análisis de consumo energético y la planificación de acciones se debe implementar una mejora la cual debe modificar el estado actual de los sistemas, equipos o procedimientos. Para realizar estas acciones se debe consultar con operarios y supervisores de los procesos, así mismo como con los dueños de las empresas, que en el caso del café son los dueños de beneficios de café. Luego de las mejoras se buscara como estrategia involucrar a todos los que se van a ver afectados por las mejoras implantadas.
- Difundir cambios: debido a que en la industria del café y en cada empresa labora un gran número de empleados es necesario difundir e

incentivar a los usuarios sobre las nuevas prácticas en el uso más eficiente de la energía, para lo cual se debe dar un Informe a los trabajadores sobre las mejoras obtenidas, los ahorros logrados. Se han de promover esfuerzos entre todos los implicados, además se deben de comunicar los procesos de mejora implementados y los resultados obtenidos.

3.5.2. Suspensión de equipos

Los equipos o maquinaria que se utiliza en la industria del café deben organizarse y programar para el apagado de la maquinaria cuando no se trabaje con ellas, indicando los equipos que deben quedar apagados.

Una estrategia fundamental es aprovechar probables fuentes de energía alternativa que pueda reducir el consumo mensual de energía, tal el caso de la energía solar y de la fuerza hidráulica.

3.5.3. Eficiencia energética en motores

“En Guatemala para el 2006 el consumo de energía eléctrica del sector industrial fue de 22,4 %”²⁴, que en su mayoría está destinada a transformarse en energía motriz mediante motores aplicados a múltiples tareas. Por esta razón, conseguir una elevada eficiencia en este campo supone unos ahorros importantes tanto energéticos como económicos.

²⁴ PÉREZ IRUNGARAY, Gerónimo Estuardo. *Aspectos importantes sobre la electricidad en Guatemala*. p. 12.

Existe una serie de acciones que permiten mejorar el consumo de energía en los motores que se emplean en la industria del café, entre los que se pueden mencionar:

- Determinar el requerimiento correcto para los motores, para lo cual se debe estimar que el rendimiento máximo este entre el 75 % y el 95 % de su potencia nominal.
- Según el requerimiento se debe determinar los motores de mayor eficiencia, que son los que transforman prácticamente toda la energía eléctrica que consumen en energía mecánica. Durante su vida útil consumen menos electricidad a una carga dada, son más fiables y tienen menos pérdidas que un motor normal.
- El instalar variadores de velocidad ajustables permite lograr un ahorro eléctrico para lograr una flexibilidad de la producción ya que se puede programar según los requerimientos de la actividad, para lo cual es necesario la utilización de motores de alta velocidad.
- Corregir las caídas de tensión en los alimentadores de las terminales de los motores se utiliza para ello conductores correctamente dimensionados.
- Realizar un análisis y seleccionar el requerimiento de motores y maquinarias según los requerimientos de la actividad.
- Realizar la planificación para el arranque de los motores de manera secuencial.

- Optimizar los sistemas de transmisión mediante la determinación de las características de cada sistema para adecuarlo a las necesidades específicas de la producción.

3.5.4. Eficiencia energética en hornos

En un horno se transforma la energía en calor con el fin de aumentar la temperatura de los materiales o elementos en su interior; en este caso el café, se deber realizar buenas prácticas que garanticen su eficiencia, entre las que se pueden describir:

- Determinar la carga adecuada y operarlos a ese límite para evitar pérdidas de energía.
- Utilizar relojes de control de temperatura para no operar los hornos a una temperatura superior a la necesaria y disminuir el consumo de energía.
- Verificar el estado material del horno y establecer el proceso para evitar las fugas de calor debido a daños o a contantes aperturas.
- Establecer ciclos de carga en donde se busque no disminuir la temperatura del horno y lograr un uso contante para que este no se enfríe y luego tenga que calentarse de nuevo.

Planificar ciclos de mantenimiento para evitar paradas inesperadas.

4. DIAGNÓSTICO DE LA EFICIENCIA ELÉCTRICA EN LA INDUSTRIA DEL CAFÉ

Cada día se consumen grandes cantidades de energía en todos los ámbitos de la sociedad. Si no se hace un buen uso de nuestros equipos como hasta ahora se seguirá desperdiciando energía eléctrica, la demanda energética mundial alcanzará niveles ilimitados, seguirán aumentando los niveles de emisión de CO₂ y esto tendrá un gran impacto medioambiental.

El aumento de la población mundial llevará ligado un aumento del consumo y esto agotará los recursos energéticos que afecta también a nuestro clima.

En la industria, en el comercio y en la vivienda, en todas estas áreas la eficiencia energética puede ayudar a proteger el clima y es donde más beneficios se obtendrá usando la energía de forma más eficiente.

4.1. Estudio inicial

La primera fase del diagnóstico consiste en realizar una revisión a las instalaciones de los caficultores del área con el objetivo de recoger datos básicos sobre los equipos desde los que miden el consumo de energía y los que consumen energía, las prácticas y los horarios de trabajo, los consumos energéticos y el estado general de la instalación. El análisis de los suministros energéticos y el análisis del proceso de producción permiten localizar los principales focos de consumo con margen de mejora.

Los equipos de planta incluyen:

- Punto de alimentación (medidor)

El medidor se divide en dos zonas:

- Lado suministrador o compañía comercializadora de energía eléctrica.

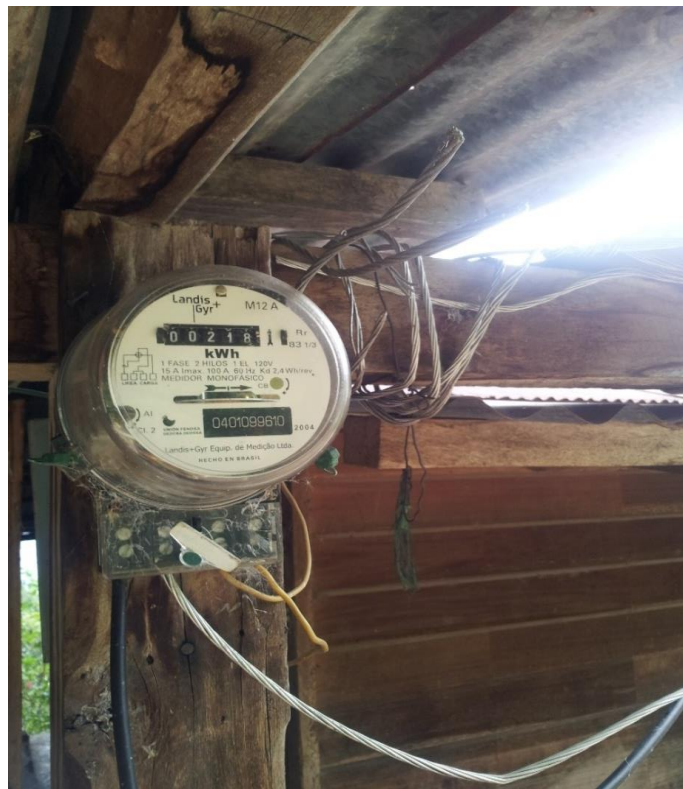
Se considera que abarca desde la red de suministro eléctrico de la compañía que da el servicio hasta las terminales de entrada del medidor, las cuales pueden ser las terminales a presión, atornillables, cableadas, entre otros; pero es muy común que se considere que se prolonga hasta el interruptor general de la instalación eléctrica del usuario.

- Lado usuario

Se considera que comprende desde las terminales de salida del medidor hasta el último equipo o contacto del usuario; normalmente, las compañías suministradoras solicitan que el primer elemento que se coloque en el lado usuario sea un interruptor general, que permita asegurar la desconexión de la instalación interior, por lo que usualmente se usan interruptores de cuchillas con cartuchos fusibles, para desconexión sin carga, esto tanto en baja como alta tensión. Es en este lado que se consideran los llamados circuitos alimentadores los cuales están compuestos por: interruptor principal, ductos eléctricos, conductores de acometida, tablero de acometida, puesta a tierra externa, plafoneras, tomacorrientes, switches, entre otros.

En este lado del medidor donde se puede visualizar varios problemas, ya que es aquí el punto de alimentación hasta los equipos eléctricos que consumirán la energía es común ver en las áreas rurales medidores sin su respectivo tubo de acometida galvanizado y accesorio de entrada, en cualquier tabla de madera y casi en el suelo y que no cumplen con las distancias mínimas de seguridad, ni normas del *Manual de acometidas* de Energuate, como se puede observar en la figura 7. En su mayoría servicios 120 V 2 hilos y, por consiguiente, todas sus cargas estarán conectadas a este voltaje.

Figura 7. **Medidor 120 voltios vca marca Landis GyR análogo**



Fuente: elaboración propia.

- Conductores

El tendido en la mayoría de áreas rurales es con dúplex # 2 con el conductor neutro desnudo en la mayoría de casos utilizando el neutro como tensor hacia cualquier base o poste de madera sin tener una mínima consideración de los cálculos mecánicos de las líneas ni tensado de los cables, ya como se mencionó anteriormente se carece de tubo de acometida en el cual se coloca el gancho de soporte donde debería ir colocado el remate preformado el cual su función es soportar las cargas mecánicas del tendido de los conductores que vienen interconectadas de las líneas de distribución de baja tensión, como se muestra en la figura 8.

Figura 8. **Conductor dúplex # 2 con neutro desnudo marca Condumex, parte 1**



Fuente: elaboración propia.

Los vanos máximos de las redes de baja tensión forradas en tríplex AAC se limitan a 65 – 70 metros; puede aumentarse este valor hasta los 80 metros si se utiliza tríplex AAAC (neutro de aleación de aluminio AAAC, con mayor resistencia mecánica).

En ningún caso se excederán estas longitudes, ya que para conseguir las flechas adecuadas, la tensión de tendido necesaria provocaría daños en los accesorios de baja tensión y posibles daños en la estructura del conductor; en el área rural es común observar vanos excesivamente largos, lo cual está fuera de la norma como lo describe en las bases para el diseño de redes de baja tensión, cálculos mecánicos, como se muestra en la figura 9.

Figura 9. **Conductor dúplex #2 con neutro desnudo marca Condumex, parte 2**



Fuente: elaboración propia.

- Tablero principal de acometida eléctrica

Este tablero resguarda y protege los equipos conectados a la red del usuario como la distribuidora, se debe instalar un interruptor principal tipo termomagnético bipolar, el cual se debe calcular con un diseño previo.

En la mayoría de casos es únicamente un tablero de un flipon de 50 amperios o de mayor capacidad en la entrada de la acometida para toda la distribución del sistema eléctrico, como no hay un diseño previo de protecciones y calibre de conductores se coloca cualquiera, tanto de la industria cafetalera como de los hogares y por ende acometidas de solo 2 hilos de cualquier calibre ya que como es común en las comunidades rurales se aplica mayormente la funcionalidad, como se observa en la figura 10, es suficiente que encienda una lámpara o se arranque un motor y no se respeta el manual de acometida.

Figura 10. **Tablero de protección principal (federal pacific electric)**



Fuente: elaboración propia.

- Puesta a tierra

Consiste en un conductor de baja resistencia, conectado al neutro que entra a la casa en el tablero principal y de allí con derivaciones únicas para cada circuito, con una varilla de cobre (Copperweld) de 2,48 metros de longitud y 3/8 de diámetro. Tiene por función evitar una elevación de tensión mayor de la que puede resistir la instalación o aparatos conectados a esta.

La sobrecarga puede originarse por causa de rayos, del contacto de una línea de alta tensión con los cables de acometida de la casa.

En la mayoría de casos es inexistente la puesta a tierra y donde existe es muy común ver que solo instalan la mitad de la varilla de cobre; esto conlleva a una conexión a tierra de mala calidad y no cumple con la norma bases para el diseño de redes de baja tensión-puesta a tierra NG.000014.GT, como se observa en la figura 11.

Figura 11. **Varilla de cobre con mordaza**



Fuente: elaboración propia.

4.2. Diagnóstico en la fuerza motriz de la industria del café

Los motores son la base de la mayoría de las industrias del país y en la industria del café juegan un papel fundamental en el desarrollo del proceso del café; se pueden observar desde los pulperos, bombas de agua hasta los ventiladores de las secadoras; en la mayoría de ocasiones conectados únicamente a 120 V ya que por la falta de conocimiento de las personas que instalan creen que conectar un motor en 240 V este consumirá más corriente y, por ende, reportará un alza en la factura eléctrica, lo que es totalmente falso.

También, es muy común ver dentro de la industria del café muchos motores diesel, como se observa en la figura 12, esto debido a la falta de una acometida ideal o como lo dicta el manual de acometidas, esto no solo trae problemas técnicos por caída de tensión y sobrecalentamiento de los conductores ya que en muchas ocasiones no se tomaron en cuenta el cálculo de conductores para motores ya sea por falta de conocimiento técnico de los mismos cafetaleros y una mala información por parte de la distribuidora de energía eléctrica.

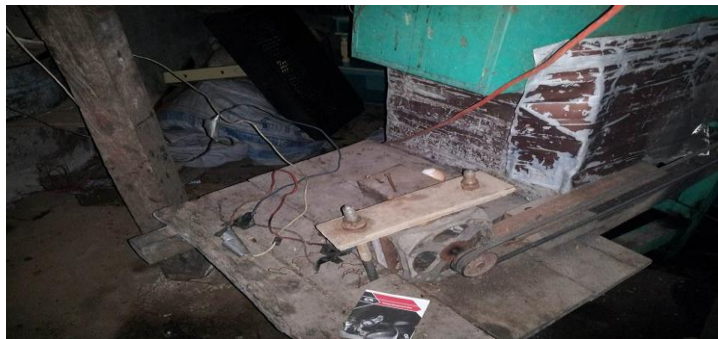
Figura 12. Motor diésel de 5HP marca Briggs &Stratton



Fuente: elaboración propia.

Motor eléctrico de 1HP con conexiones eléctricas deficientes en las cuales el riesgo eléctrico está presente en la manipulación y maniobras en las cuales se está utilizando el motor, como se pudo observar en la figura 13.

Figura 13. **Motor eléctrico 1HP marca General Electric**



Fuente: elaboración propia.

La principal causa de los accidentes eléctricos en la industria es el mal estado de las instalaciones eléctricas. Es por eso que cualquier maniobra de tensión puede resultar altamente peligrosa, como se observa en la figura 14.

Figura 14. **Instalaciones eléctricas en mal estado**



Fuente: elaboración propia.

Como resultado de una mala guía y asesoramiento en el sector eléctrico tanto en hogares y la industria del café y a la falta de técnicos con los conocimientos para efectuar dichas tareas no solo en el departamento de San Marcos sino en todas las aéreas rurales del resto del país, los pobladores de dichas áreas rurales instan a trabajar a prueba y error; en muchas ocasiones a tomar las sugerencias del señor de la ferretería el cual en muchas ocasiones no cuenta con el conocimiento técnico requerido; esto conlleva no solo a un mal uso del recurso eléctrico sino que también impacta directamente en el recibo de la tarifa eléctrica y económicamente ya que a la hora de contar con un sistema eléctrico eficiente se recurre a utilizar motores diésel y en la mayoría de veces combustible de origen mexicano, alimentando el contrabando y a la fuga de capitales.

5. PROPUESTAS PARA MEJORAS Y CORRECCIONES DE LA RED DE BAJA TENSIÓN

5.1. Sectorización de la red de baja tensión

Los circuitos secundarios constituyen la parte del sistema de distribución que transporta la energía eléctrica desde el secundario del transformador de distribución hasta los usuarios, que deben estar en un rango de voltajes menores de 600 V; esto puede ser de forma aérea o subterránea, la más común es la aérea con diferentes topologías predominando el sistema radial.

La red de baja tensión es la parte final de un sistema de potencia para abastecer cargas residenciales y comerciales primordialmente; la pequeña industria y el alumbrado público cuando estos 2 últimos pueden ser alimentados desde la red secundaria.

La red secundaria es la que presenta el mayor nivel de pérdidas, se debe realizar un excelente diseño inicial teniendo muy en cuenta las futuras extensiones de líneas y futuras acometidas solicitadas por nuevos usuarios y una construcción sólida con buenos materiales y sujeta a normas técnicas muy precisas.

El hecho de seleccionar los conductores para las redes secundarias necesita atención en estos factores: consideraciones de orden económico relacionadas con el costo de mantenimiento y ampliaciones así como las relativas al crecimiento de la demanda en el área servida, regulación de voltaje y pérdidas de energía en el trazo considerado, capacidad de carga del

conductor, sobrecargas y corriente de cortocircuito permitidos. Es necesario que los circuitos sean contruidos reduciendo el número de calibres diferentes en la red a 2 o 3 como máximo durante su trayecto.

El calibre más adecuado en el nivel máximo es 2/0 (intensidad máxima admisible 150 amperios); en casos especiales, y relacionado a la capacidad de gasto o inversión se puede emplear hasta 4/0 (intensidad máxima admisible 275 amperios) como se especifica en la tabla III en tramos cortos, como lo especifica la Norma bases para el diseño de redes de baja tensión NG.0104.GT.

Al estar establecidas las cargas de diseño en la construcción de la red y determinado el tipo de instalación, se procede a seleccionar los calibres de los conductores.

El diseño de circuitos primarios y secundarios que alimentan cargas monofásicas necesita el diseño de una distribución razonablemente balanceada de estas entre las fases, de manera que la carga trifásica total, vista desde la subestación que la alimenta sea aproximadamente equilibrado. “Se admite como desequilibrio máximo normal en el punto de alimentación desde la subestación primaria el valor del 10 %”²⁵ con la máxima regulación admisible.

Conocida la densidad de carga de diseño, puede determinarse en primera aproximación el espaciamiento entre transformadores con base en los calibres preseleccionados de conductores para las instalaciones nuevas.

²⁵ Energuate. *Bases para el diseño de redes de baja tensión*. p. 18.

Se fijan como calibres normales para conductores de fase en circuitos de distribución secundaria los comprendidos entre el N° 4 AWG y el N° 2/0 AWG para cobre debidamente justificado.

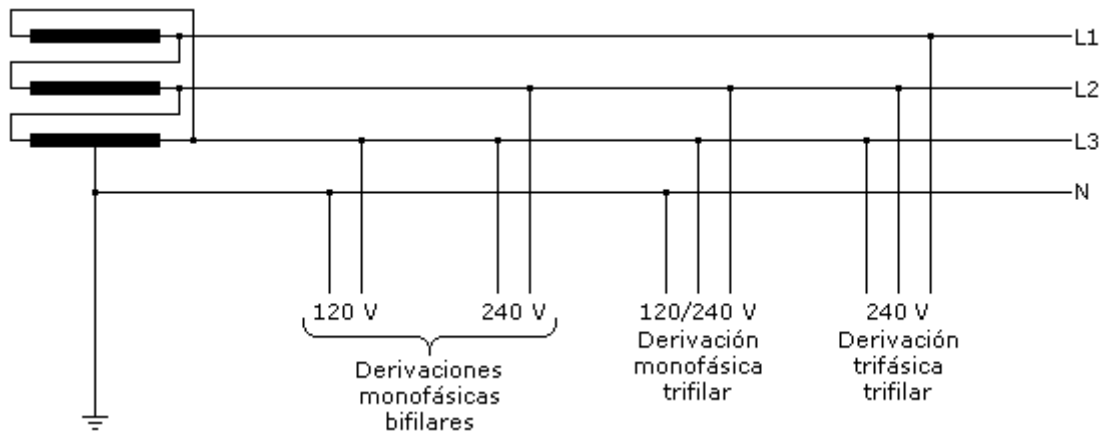
5.1.1. Tipos de sistemas y niveles de voltajes secundarios

Los sistemas secundarios distribuyen la energía desde los transformadores de distribución hasta las acometidas a los usuarios. Para conocer las ventajas técnicas y económicas inherentes a los alimentadores secundarios de distribución se deben realizar estudios comparativos que esclarezcan estos méritos y permitan seleccionar el sistema de distribución más adecuado y eficiente a las necesidades del caso.

5.1.1.1. Sistema monofásico-trifásica trifilar (1 -3H) 120/240 V

El voltaje de 240 V es usado para circuitos especiales en su carga en kW como estufas, hornos, secadoras, calentadores de agua, motores, alumbrado público, entre otros, generalmente en la industria y agroindustria y permite mayor beneficio en la agroindustria del café.

Figura 15. **Sistema monofásico trifilar usado en áreas de bajo consumo en kW**



Fuente: Energuate. *Bases para el diseño de redes de baja tensión*. p. 18.

5.1.2. Prácticas de sectorización actuales

La sectorización se emplea a partir de un sector en dos o hasta tres partes equitativas de la red para una mejor distribución de la carga, existen dos tipos de sistemas: radial y lineal, en este caso utilizaremos el sistema radial.

5.1.2.1. Sistema radial

Este es el más empleado de diseñar y de operar. La mayoría de los sistemas secundarios para servicio residencial urbano y rural, para iluminación comercial son diseñados en forma radial. Requieren de conductores según la potencia demandada, su cobertura es limitada y una falla puede afectar todo el circuito.

La distribución domiciliaria se caracteriza por un sistema de alimentación, donde un solo cable pasa por todas las cargas sucesivamente, como en el caso de los circuitos de iluminación de calles. Este sistema obliga a tener los dispositivos de control de las cargas distribuidos, uno en correspondencia de cada derivación de carga, salvo que simplemente se conecten y desconecten todas las cargas juntas desde el centro de alimentación.

Con ambos sistemas tanto el de diseño como el de mejora son de diseño intuitivo, característica muy valiosa ya que reduce la cantidad de documentación descriptiva necesaria.

El sistema arborescente es una mezcla de los anteriores, el cable nace troncal en el centro de alimentación, y se subdivide en ramas hasta llegar a cargas (hojas), como se observa en la figura 16.

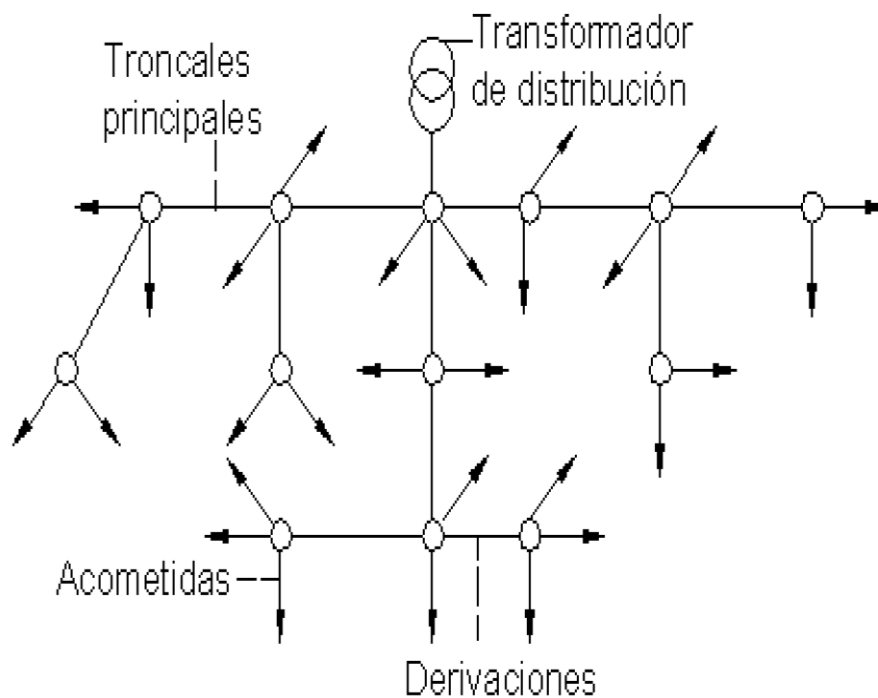
Para realizar el cálculo de la red se realiza estimando, el flujo de carga que se desarrolla, la carga que pasa por una rama cualquiera es suma de todas las cargas comprendidas entre la rama y las hojas.

La corriente puede determinarse en la rama y verificar que el cable seleccionado para la rama soporta esta corriente desde el punto de vista térmico; otra verificación de interés es determinar la caída de tensión en la rama para lo cual se deben conocer sus parámetros resistencia y reactancia y la longitud.

Al momento de tener determinadas las caídas de tensión en todas las ramas, se estima la caída de tensión total en cada camino sumando las caídas de todas las ramas desde el punto de interés hasta el punto de alimentación.

Las pérdidas en cada cable se pueden determinar de similar manera y perfeccionar el flujo de carga teniendo en cuenta también las pérdidas.

Figura 16. **Sistema radial secundario**



Fuente: RAMÍREZ CASTAÑO, Samuel. *Redes de distribución de energía, cálculo de redes secundarias*. p. 514.

5.2. Centrado de carga

A continuación, la descripción del centrado de carga en redes de baja tensión.

5.2.1. Bancos secundarios

En áreas rurales sucede que la conexión en paralelo o la interconexión de los dos lados secundarios de dos o más transformadores de distribución que son alimentados por el mismo alimentador principal, donde los servicios están relativamente cercanos a cada uno de los otros y, por lo tanto, el espaciamiento requerido entre transformadores de distribución es pequeña.

Básicamente, el problema no está en el diseño o en la ubicación actual de los transformadores de distribución, es en la realidad la expansión de los hogares en las áreas rurales sin un debido plan de orden territorial; esto conlleva no solo a realizar extensiones de línea, sino el verdadera problema es no cumplir con la norma de brazos por transformador de 300 metros lineales y radiales indicas en la *Norma bases de diseño para redes de baja tensión NG.000014.GT*, para no tener parámetros de caída de tensión; en este caso se tiene que colocar el transformador existente en una ubicación óptima.

- Centrado de carga respecto a la topología de la red: las ventajas de un centrado del banco de transformadores de distribución son las siguientes:
 - Mejora de la continuidad y la confiabilidad se servicio.
 - Flexibilidad mejorada al acomodarse a los crecimientos de carga a bajo costo.
 - Al alimentar un número grande de consumidores se emplean factores de diversidad de carga que induce ahorros en los kVA requeridos por el transformador de distribución.

- Mejoramiento de la regulación de voltaje.
- Reducción de caídas momentáneas de voltaje (*flicker*) debido a arranque de motores, ya que las corrientes de arranque encuentran líneas de alimentación paralelas.

5.2.2. Mejora de la eficiencia de transformadores de distribución

Una importante fuente de pérdidas en el sistema lo presentan los transformadores de distribución, principalmente debido a las pérdidas en el hierro, ya que el factor de uso de los mismos es bajo (operan mucho tiempo a baja carga).

5.2.3. Optimización de la potencia reactiva

“Mediante una optimización de los recursos de compensación de reactivo (banco de capacitores) y controladores de tensión (taps de transformadores, reguladores de tensión) se pueden minimizar los flujos de potencia reactiva, reduciendo por consiguiente las pérdidas en la red. La experiencia y estudios detallados demuestran que puede lograrse un ahorro de pérdidas de entre 5 %-15 % en los alimentadores primarios”²⁶.

Este tipo de medida se ha utilizado en algunos sistemas por décadas; sin embargo, su uso no es masivo. Las nuevas tecnologías de redes inteligentes permiten realizar un control más preciso, adaptado a las condiciones del sistema en cada momento, y en forma más automatizada; reduce la intervención del operador y mejoran la eficiencia del control.

²⁶ Energuate. *Bases para el diseño de redes de baja tensión*. p. 18.

5.2.4. Rebalanceo de fases

En los circuitos secundarios de distribución, las cargas monofásicas se conectan a las diferentes fases de los circuitos. El fin es lograr que las cargas en las distintas fases de los circuitos estén balanceadas y estar en el rango de los márgenes permitidos de caída de tensión (total red + acometida $\leq 5,00\%$) como se puede observar en la tabla VI, pero esto no siempre se alcanza en forma óptima. El desbalanceo de fases provoca corrientes de circulación que originan pérdidas. Un rebalanceo apropiado de las fases es una medida de relativamente bajo costo que puede ayudar a reducir las pérdidas en distribución. Para ello, conforme a la medida, registro y características de uso de los clientes de cada alimentador, se puede llegar a reubicar a cada uno de los mismos para llegar a una optimización de la carga y mejorar el factor de uso de cada fase.

5.2.5. Sustitución de los transformadores existentes por unidades de mayor capacidad

“Cuando crece la población en el área rural y urbana, también crece el factor de demanda del sistema a la carga instalada, tomando en cuenta que potencia (watt/usuario) en el área rural es de $0,5\text{ kW}$ ”²⁷, esto para no sobrepasar los límites de carga del transformador existente, en el caso que se sobrepase el límite de carga se tiene que sustituir el transformador existente por uno de mayor capacidad.

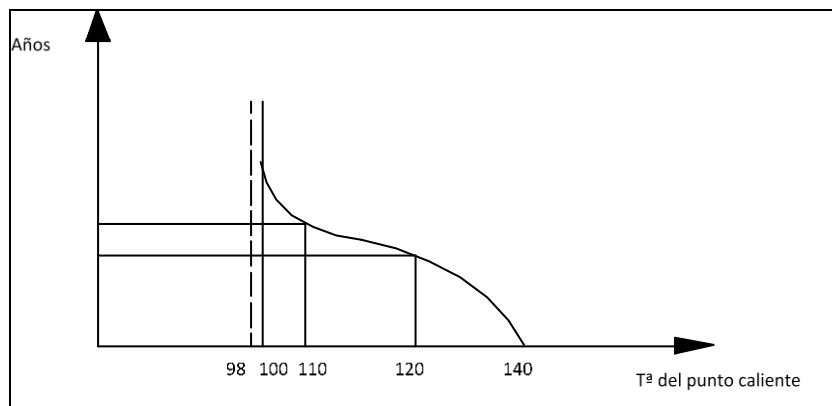
²⁷ Energuate. *Bases para el diseño de redes de baja tensión*. p. 22.

5.2.6. Límites de carga de un transformador

La capacidad de carga máxima de un transformador está condicionada por dos tipos de limitaciones:

- Limitación térmica: es aquella carga que produce una elevación de la temperatura del transformador por encima de un valor crítico, lo que trae como consecuencia el envejecimiento prematuro de los aislantes y la reducción de la vida útil del transformador. La gráfica adjunta representa la relación entre la vida útil de un transformador y la temperatura del punto caliente.

Figura 17. Vida útil del transformador (años) vrs temperatura (T)



Fuente: Aula permanente. *Centros de transformación tipo poste*. p. 26.

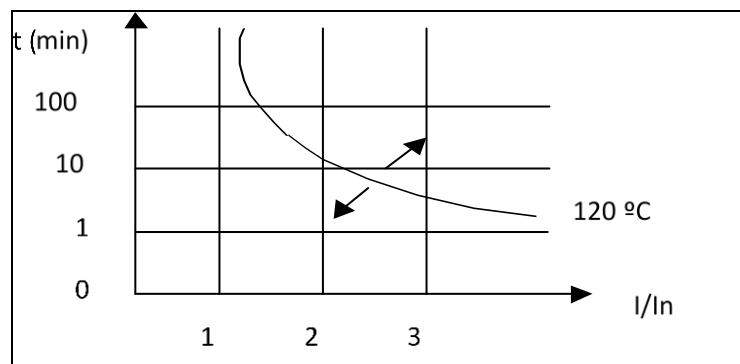
Los elementos de protección deben controlar fundamentalmente que la temperatura no supere el valor crítico, interrumpiendo el servicio cuando las sobrecargas produzcan dicha temperatura.

- Limitación económica: cuando se excede la capacidad en potencia tendremos pérdidas por efecto Joule lo más adecuado es la sustitución del transformador por otra de mayor potencia.

5.2.7. Característica crítica del transformador

El régimen de funcionamiento de un transformador en situación de sobrecarga está condicionado por la temperatura, el régimen de carga previo a la sobrecarga, las condiciones ambientales, como se observa en la figura 18.

Figura 18. **Vida útil del transformador (min) vrs corriente (I/I_n)**



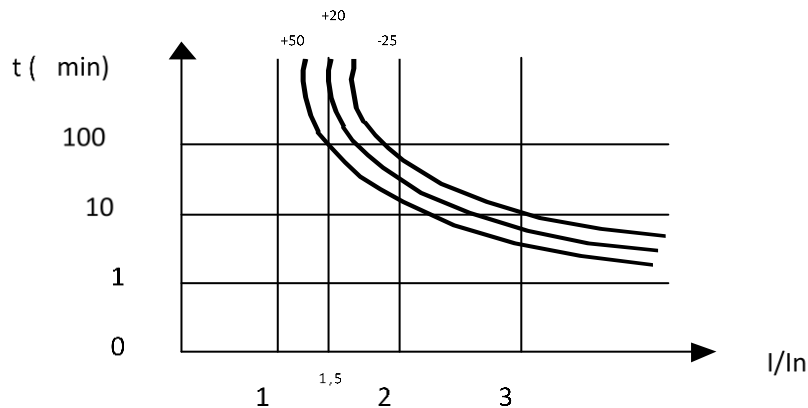
Fuente: Aula permanente. *Centros de transformación tipo poste*. p. 27.

La característica crítica del transformador es una curva que representa el tiempo máximo admisible para un tanto por ciento de sobrecarga determinado, sin que la temperatura del punto caliente sobrepase el valor crítico (120 °C), sin que se produzca un envejecimiento apreciable en el transformador que acorte su vida útil.

Esta curva característica no es única para un determinado transformador sino que depende de una serie de factores que producen su desplazamiento. Entre otros factores, los más importantes son los siguientes:

- Temperatura ambiente: al bajar la temperatura ambiente el transformador admitirá una mayor sobrecarga, la curva se desplazará hacia arriba. Por el contrario, al subir la temperatura ambiente, la sobrecarga admisible será menor y la curva se desplazará hacia abajo, como se observa en la figura 19.

Figura 19. **Vida útil del transformador (min) vrs corriente (I/I_n)**



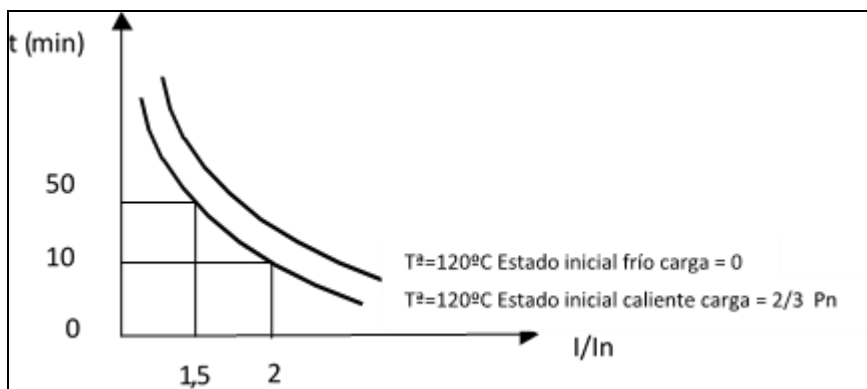
Fuente: Aula permanente. *Centros de transformación tipo poste*. p. 27.

- Estado de carga previo: la sobrecarga admisible será mayor si antes de producirse esta, el transformador estaba descargado. Un transformador con una carga previa elevada, admitirá una menor sobrecarga.

5.2.8. Condiciones de protección contra sobrecargas

La curva teórica de actuación de las protecciones debería ser paralela a la curva crítica del transformador, lo más próxima posible a ésta y tener desplazamientos en función de las condiciones ambientales, carga previa a la sobrecarga, etc. similares a los que sufre la propia curva del transformador.

Figura 20. Vida útil del transformador (min) vrs corriente (I/I_n)



Fuente: Aula permanente. *Centros de transformación tipo poste*. p. 27.

Los elementos de protección contra sobrecargas deben adaptarse a estas curvas críticas cumpliendo simultáneamente dos condiciones:

- Desconectar siempre el transformador cuando las cargas produzcan realmente temperaturas próximas a la crítica.
- No desconectar nunca si las cargas son soportables por el transformador.

La curva teórica de actuación de las protecciones debería ser paralela a la curva crítica del transformador, lo más próxima posible a esta y tener desplazamientos en función de las condiciones ambientales, carga previa a la sobrecarga, entre otros, similares a los que sufre la propia curva del transformador.

5.2.9. Potencias, puentes y conductores normalizados

Si se sustituye un transformador de mayor capacidad a una red de baja tensión existente se llevarán directamente los conductores de la red hasta las bornas de baja tensión del transformador.

Si la red existe con anterioridad al montaje del transformador se harán los puentes correspondientes entre las bornas del transformador y dicha red.

Los conductores de conexión de baja tensión se conectarán a las bornas de los transformadores a través de los correspondientes terminales según su potencia. Se utilizarán terminales de pin o pletina con adaptador, según los casos.

Tabla XXII. **Potencias, puentes y tipo de conductores para transformadores**

Potencia transformadores (kVA)	Puente	Tipo de conductor	Conductor conexiones
10	Simple	Triplex 1/0 AAC – 1/0 AAC	---
	Doble	Triplex #2 AAC / #2 AAC	---
25	Simple	Triplex 4/0 AAC – 4/0 AAC	---
	Doble	Triplex 1/0 AAC – 1/0 AAC	---
50 y 75	Simple	Triplex 336,4 AAC – 4/0 AAC	---
	Doble	Triplex 4/0 AAC – 4/0 AAC	---
2 · 25	Simple	Cuádruplex 4/0 AAC – 4/0 AAC	4 /0 ACSR
	Doble		
2 · 50 ó 2 · 75	Simple	Cuádruplex 336,4 AAC – 4/0 AAC	
	Doble	Cuádruplex 4/0 AAC – 4/0 AAC	
3 · 50 ó 3 · 75	Doble	Cuádruplex 336.4 AAC – 4/0 AAC	

Fuente: Energuate. *Proyectos tipo distribución eléctrica. Centros de transformación tipo poste.*
Auditoría técnica de distribución eléctrica. p. 17.

En la tabla XXII se muestran las potencias de los transformadores, sección de los conductores y de los puentes empleados, según la potencia de los transformadores y el tipo de conexión.

5.3. Recondutorado de la red

En el caso de instalaciones existentes, el procedimiento es similar, excepto que las decisiones a que deben conducir las predicciones de la demanda se relacionan con el aumento en la capacidad de transformación y transmisión. Esto conduce a reformas en los sistemas, los cuales pueden implicar:

- Cambio de calibres en los conductores.
- Reestructuración de los circuitos existentes, disminuyendo su extensión y trasladando a nuevos circuitos parte de la carga asignada.

“En las redes abiertas de baja tensión, que principalmente existen en el área rural, se podría recondutorar por una red de triplex trenzada”²⁸, # 2 con lo cual se obtendrán ventajas como: menos gastos en manteamiento, herrajes, índices de hurto, menos incidencias por condiciones climáticas.

La figura 21 muestra una red de baja tensión abierta, la cual es común observar en un buen porcentaje de las áreas rurales del país; en la actualidad, está siendo sustituida por la red trenzada de triplex # 2,

²⁸ Fenercom. *Guía técnica de iluminación eficiente sector residencial y terciario*. p. 30

Figura 21. **Red de baja tensión abierta**



Fuente: elaboración propia.

La figura 22 MUESTRA una Red de baja tensión con triplex trenzado # 2, la cual ya está normalizada en las bases para el diseño de redes de baja tensión NG.000014.GT.

Figura 22. **Red de baja tensión con triplex trenzado # 2**



Fuente: elaboración propia.

En áreas urbanas con sistemas de distribución aéreos, generalmente, se emplean cables de aluminio desnudo reforzados con acero tipo A.C.S.R (*aluminum conductor steel reinforced*), que permiten instalaciones con distancias interpostales cortas y el bajo peso del aluminio, en comparación con el del cobre, permite reducir costos de manejo, herrajes, postes, entre otros.

Este tipo de conductores son utilizados para líneas aéreas de transmisión y distribución de energía eléctrica primaria y secundaria. Además, ofrecen resistencia a la tracción o esfuerzo de tensión mecánico óptimo para el diseño de éstas líneas. El alma de acero de estos conductores está disponible en diversas formaciones, de acuerdo al esfuerzo de tensión deseada y sin sacrificar la capacidad de corriente del conductor.

Actualmente, en áreas convencionales como las redes abiertas los sistemas están siendo remplazadas por nuevas tecnologías. Uno es el cable triplex y cuádruplex que ofrece los mismos beneficios técnicos, disminuye el margen de pérdidas por hurto de energía. Su instalación requiere de menor cantidad de herrajes y accesorios, el costo de material y mano de obra, por metro lineal, de cable cuádruplex es más económico que el del conductor de Arvidal

El cable cuádruplex, para líneas aéreas de distribución de energía eléctrica en baja tensión, está constituido por tres fases aisladas cableadas en espiral, con un neutro portante (fiador) aislado o desnudo y soporta tensiones nominales de hasta 1 KV entre fases. El conjunto descrito puede ser suministrado con una o dos fases adicionales para alumbrado público.

5.3.1. Acometida

La acometida es la parte de la instalación comprendida entre la red de distribución general y la instalación receptora. Por lo tanto, forma parte de esta, sus extremos son los siguientes elementos:

- Elementos de conexión y anclaje a la red de distribución: pinzas de anclaje y sujeción, conectores derivación de acometidas y conectores tipo cuña.
- Línea de acometida: duplex, triplex # 6 y cable concéntrico # 6.
- Los terminales de los conductores de entrada a la instalación receptora: accesorio de entrada 1 1/4, tubo de acometida galvanizado 1 /14, caja socket 100 amperios, tablero de protecciones principal.

En el área rural comúnmente se encuentra entre los elementos de conexión cable dúplex y triplex # 6 de aluminio ya que estas construcciones de redes eléctricas anteriormente se realizaban bajo la norma Inde; básicamente, se puede encontrar cuando la red de baja tensión es abierta.

Figura 23. **Acometida 120 V 2 hilos con dúplex # 6**



Fuente: elaboración propia.

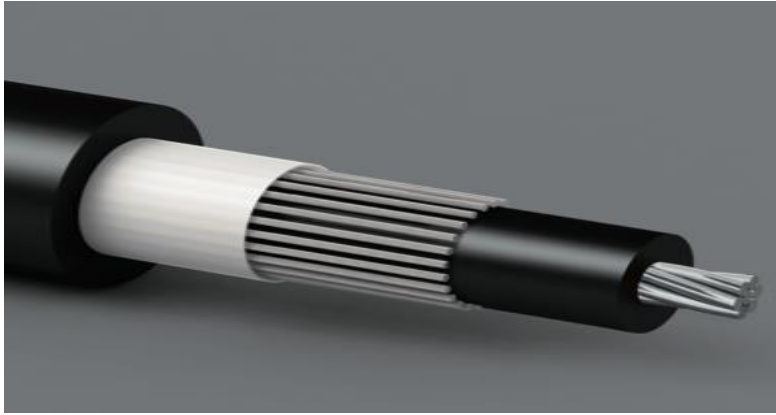
En el Departamento de Normalización de Energuate a partir de la Obra Per Bloque Chixoy se implementó “el blindaje de acometidas en baja tensión”²⁹. Básicamente una solución constructiva para mejorar la eficiencia del servicio e incrementar su blindaje ante el hurto de energía.

5.3.1.1. Cable de acometida concéntrico

En acometidas monofásicas para sistemas de distribución aérea de baja tensión. Se usa preferentemente para el conexonado entre el poste y el medidor domiciliario.

²⁹ ZECEÑA, Douglas. *Configuraciones especiales para el blindaje de acometidas en baja tensión*. p. 22.

Figura 24. **Cable concéntrico AL 2X6 60A 600 V**



Fuente: *Acometida de aluminio*. http://www.nexans.cl/eservice/Chilenes_CL/navigate_318792/Cable_concentrico_acometida_de_Aluminio.html. Consulta: 10 de junio de 2016.

Figura 25. **Acometida instalada con cable concéntrico**



Fuente: elaboración propia.

5.4. Resumen del plan de mejoras en la red de baja tensión

- Reestructuración de la red primaria mediante la construcción de nuevos alimentadores que se extiendan más en la zona servida que permita la conformación de nuevos circuitos secundarios como extensiones de línea y suministros 40-200.

Casi obligatoriamente los trabajos de reforma conllevan a una combinación de las alternativas secundarias.

El tamaño y la localización de las cargas son determinados por los consumidores quienes instalarán todo tipo de aparatos de consumo, seleccionan tiempo de consumo y la combinación de cargas.

En el mejoramiento del sistema se debe considerar:

- Factores de corto y de largo plazo.
- Construcción y operación económica.
- Crecimiento de la carga.
- Soluciones alternativas.
- Técnicas de selección de tamaños más económicos de transformadores de distribución, conductores secundarios y acometidas.
- Aplicación de programas de computadora que consideren y evalúen muchas alternativas y estrategias de solución de problemas prácticos por

ejemplo, partición y corte de circuitos secundarios, cambio y / o reubicación de transformadores de distribución, adición y ubicación de capacitores, flujos de carga, entre otros.

- Ubicación y cargabilidad óptima de transformadores distribución.
- Niveles deseables de regulación, pérdidas y caídas de voltaje momentáneos.
- Factores económicos y de ingeniería que afectan: selección de transformadores de distribución y carga permisible, configuraciones de la red secundaria, balance de fases.
- Costos de inversión y de mano de obra, ratas de inflación, entre otros.
- Planes de expansión económicos.
- Sistemas TLM (manejo de carga de transformador).
- Archivos históricos de demandas y consumos como facturaciones.
- Curvas de demanda típica.
- Clasificación y ubicación de usuarios (residencial, comercial e industrial).

6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

El objetivo de este análisis es realizar una estimación de la reducción de pérdidas y consumo de energía que podría lograrse si se implementaran en forma masiva en el sistema; el uso y utilización tecnologías tendientes a mejorar la eficiencia energética de las redes de transmisión, distribución y la industria.

6.1. Reducción de pérdidas en distribución

El objetivo es reducir la energía pérdida en las redes, pero manteniendo el mismo consumo. Es decir, es una mejora de la eficiencia energética.

6.1.1. Procedimiento

En el caso de sistemas de distribución se analizan dos categorías principales:

- Reducción de consumo mediante reducción de la tensión de operación. , El primer caso es una técnica destinada a reducir el consumo de energía, no necesariamente las pérdidas.
- Reducción de pérdidas en las redes de distribución.

6.1.2. Condiciones de referencia

Ser parte de una proyección de la demanda para los próximos 11 años según el documento *Política energética 2013-2027 MEM*, la proyección de la

demanda se realiza con el mismo procedimiento utilizado por los consultores en estudios de abastecimiento e inversiones. Los resultados se muestran en la gráfica 27. La proyección de demanda se realiza con un modelo econométrico simple, basado en una regresión lineal que utiliza la variación del consumo de energía eléctrica como variable explicativa.

- “En cada año se calcula la energía neta que fluye por los sistemas de distribución. Según el estudio de referencia, el 51,4 % de la demanda en el sistema está alimentado por hidroeléctricas, el resto está conformado por 24,2 % bunker, 8,09 % carbón, 9,44 % bagazo de caña, 2,79 % geotérmicas, 3,93 % importaciones y 0,16 % diesel oíl, conectados a la transmisión total del país”³⁰.
- “Para cada año se calcula el valor total de pérdidas de energía. De acuerdo con el estudio de referencia, el promedio de pérdidas de energía en empresas distribuidoras y municipales es de aproximadamente 10 %”³¹ de la demanda en distribución.
- “Para cada año se estiman las emisiones de CO2 usando el factor de emisiones promedio para el sector eléctrico de 0,52 tCO2/MWh”³².

³⁰ Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas. *Política energética 2013 – 2027*. p. 17.

³¹ Energuate. *Bases para el diseño de redes de baja tensión*. p. 18.

³² Copper Association, Ltda. *Estudio de pérdidas en compañías de distribución de electricidad de Argentina*. p. 15.

Figura 26. Consumo de energía eléctrica en Guatemala 1986 - 2026



Fuente: Dirección General de Energía, Ministerio de Energía y Minas. *Política energética 2013 – 2027*. p. 22.

6.1.3. Reducción de consumo y pérdidas

Para cada año se estima un porcentaje de incorporación de una mejora de red, y un porcentaje de reducción de pérdidas que se logra mediante su aplicación. Se considera que la adopción o incorporación de la tecnología se incrementa gradualmente año a año.

Los valores adoptados para cada categoría son los siguientes:

- “Reducción de tensión
 - Reducción de consumo: 2,5 %.

- Tasa de incorporación: 3 % en 2014 con un incremento lineal hasta alcanzar el total de los circuitos en el año horizonte 2028³³.
- “Reducción de pérdidas en transformadores de distribución
 - Reducción de pérdidas: 60 % en pérdidas totales.
 - Tasa de incorporación: se considera un reemplazo del 0,9 % de los transformadores existentes. Además, se considera que el 80 % de los transformadores que se adicionan al sistema, se eligen de gran eficiencia.
- Uso de conductores de bajas pérdidas
 - Reducción de pérdidas: 30 % en pérdidas totales.
 - Tasa de incorporación: 80 % en líneas nuevas. 0,2 % de reemplazo por año.
- Reducción de consumo de servicios auxiliares
 - Reducción de pérdidas: 30 %.
 - Tasa de incorporación: 80 % en líneas nuevas. 1,0 % en subestaciones existentes.
- Aumento de la tensión nominal en circuitos (De 120V a 240 V)
 - Reducción de pérdidas: 60 %
 - Tasa de incorporación: reemplazo de 8 % al año horizonte
- Optimización del control de tensión/potencia reactiva
 - Reducción de pérdidas: 6 % de reducción de pérdidas en líneas y 4 % de reducción en pérdidas en carga de transformadores.
 - Tasa de incorporación: se considera que se implementa a razón de 2 % de los circuitos por año³⁴.

³³ GHIA, Andrés y DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 24.

³⁴ Ibid. p. 25.

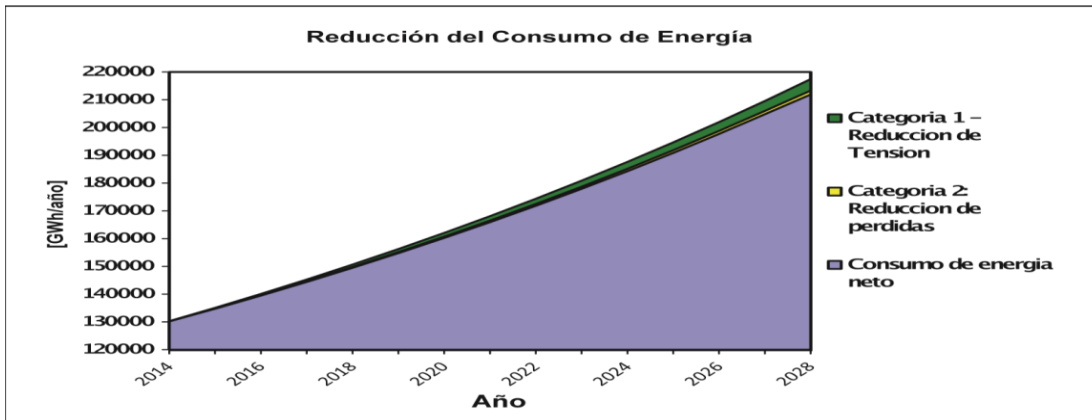
- Balanceo de fases y otros
 - Reducción de pérdidas: 6 % de reducción de pérdidas en líneas y 4 % de reducción en pérdidas en carga de transformadores.
 - Tasa de incorporación: 3 % de los circuitos por año”³⁵.

6.1.4. Resultados para distribución

La figura 27 muestra como contribuye cada tipo de tecnología o medida considerada en la reducción total de consumo de energía para del periodo de análisis. En esta figura se ha agrupado todo el aporte de las distintas tecnologías de reducción de pérdidas en una sola categoría. El objetivo es mostrar el aporte relativo de la reducción de pérdidas frente a la disminución de tensión.

³⁵ GHIA, Andrés y DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 26.

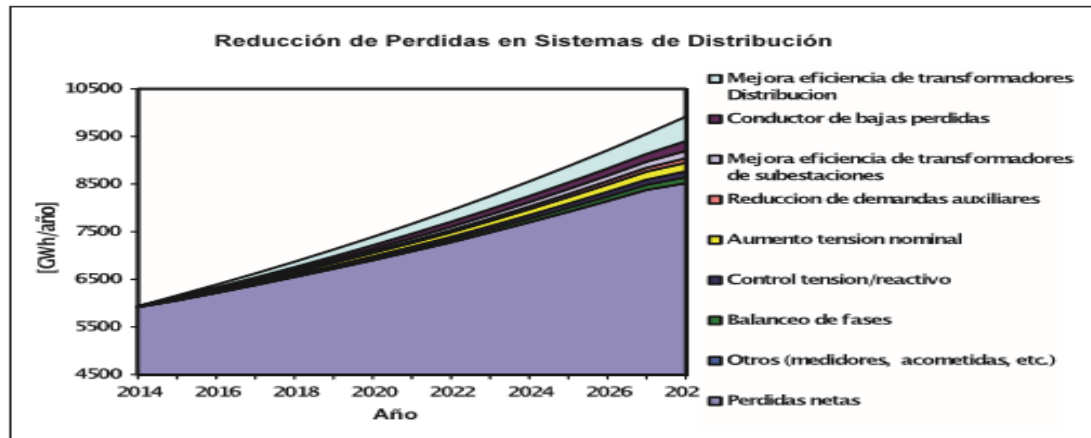
Figura 27. **Proyección de la reducción total de consumo mediante reducción de tensión y la implementación de medidas para reducir pérdidas en la distribución**



Fuente: GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 25.

En la figura 28 se observa el aporte de cada método de reducción de pérdidas según tecnologías a utilizar.

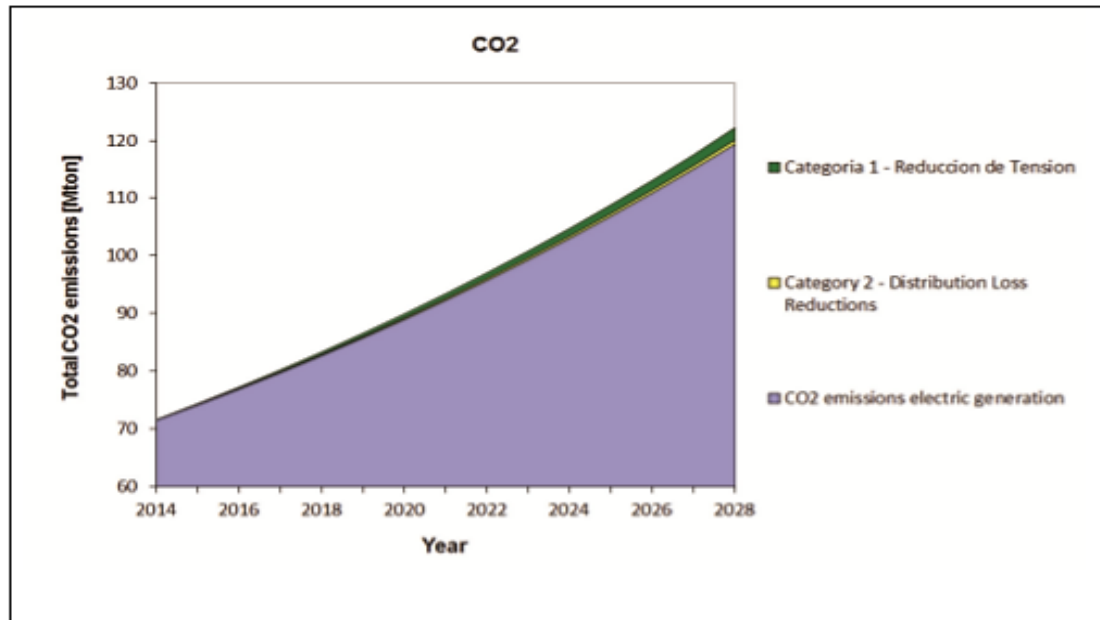
Figura 28. **Proyección de la reducción de pérdidas en distribución por tipo de tecnología**



Fuente: GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 26.

La figura 29 presenta la reducción de emisiones de CO₂ que se logra con ambos métodos: reducción de tensión y reducción de pérdidas en distribución.

Figura 29. **Proyección de la reducción de emisiones de CO2 mediante reducción de consumo y pérdidas en la distribución**



Fuente: GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 27.

6.2. Reducción de pérdidas en transmisión

Cuando se transmite energía eléctrica desde las centrales de generación a los usuarios a través de las redes de transmisión y distribución, se producen pérdidas de energía y potencia, debido a las características físicas de los componentes de la red. Estas pérdidas son inherentes a la conducción de la energía eléctrica a través de medios físicos y no pueden evitarse del todo.

6.2.1. Procedimiento

El procedimiento de cálculo seguido en este caso es análogo al descrito para el caso de distribución:

- Se parte de una proyección de la demanda de energía total del sistema para los próximos 11 años, según se presenta en la figura 27.
- En cada año se calculan las pérdidas totales en transmisión, considerando que las mismas son del 3,9 % de la energía total demanda por el sistema, tal como se describió en el capítulo anterior.

“Para cada año se estiman las emisiones de CO_2 usando un factor de emisiones de promedio para el sector eléctrico argentino de 0,52 tCO₂/MWh”³⁶.

6.3. Reducción de pérdidas

Para cada año se estima un porcentaje de incorporación de una mejora de red, se incrementa gradualmente año a año.

Los valores adoptados para cada categoría son los siguientes:

- Aumento de la tensión nominal:
 - Reducción de pérdidas: 70 %.

³⁶ Cálculo del factor de emisiones de CO₂ de la red argentina de energía eléctrica – Secretaría de Energía. [http:// energia3.mecon.gov.ar](http://energia3.mecon.gov.ar). Consulta: 10 de junio de 2016.

- Tasa de incorporación: 0 % en 2014 con un incremento lineal hasta alcanzar 15 % en el año horizonte 2028. Esto considera que el 12 % de las nuevas líneas van a ser en una tensión mayor.
- Optimización de la tensión/potencia reactiva:
 - Reducción de pérdidas: 3 %.
 - “Tasa de incorporación: 0 % en 2014 con un incremento lineal hasta alcanzar 90 % del sistema en el año horizonte 2028. Esto implica que no solo en el sistema interconectado sino también en los sistemas troncales de transmisión se va a incorporar esta técnica”³⁷.
- Uso de conductores de baja resistencia
 - Reducción de pérdidas: 25 %.
 - Tasa de incorporación: 0 % en 2014 con un incremento lineal hasta alcanzar 10 % en líneas existentes y 80 % en líneas nuevas en el año horizonte 2028. En líneas existentes implica que en ciertas líneas se reemplazará el conductor por diversos motivos y se utilizarán conductores trapezoidales en lugar de los convencionales.
- Uso de transformadores de alta eficiencia
 - Reducción de pérdidas: 20 %.

³⁷ GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 26.

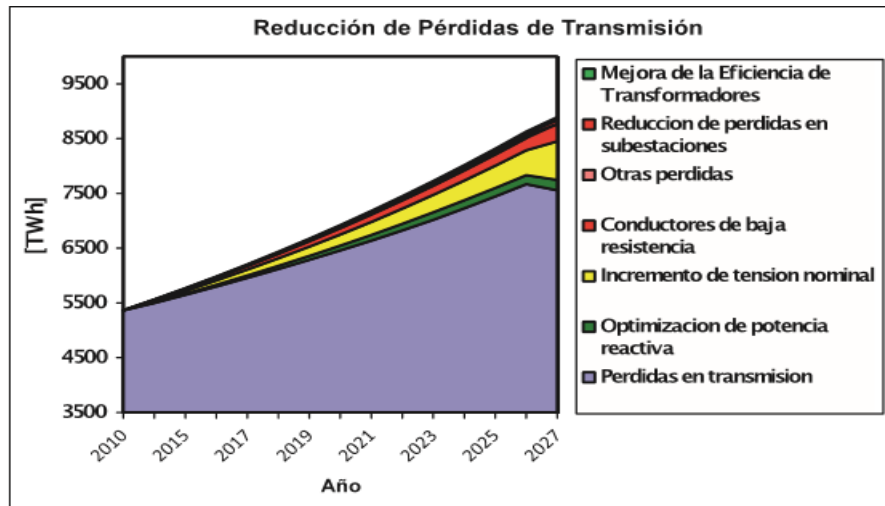
- Tasa de incorporación: 0 % en 2014 con un incremento lineal hasta alcanzar 20 % en subestaciones existentes y 80 % en subestaciones nuevas en el año horizonte 2027.
- Reducción de pérdidas en subestaciones
 - Reducción de pérdidas: 30 %.
 - “Tasa de incorporación: 0 % en 2014 con un incremento lineal hasta alcanzar 50 % en subestaciones existentes y 80 % en subestaciones nuevas en el año horizonte 2028”³⁸.

6.3.1. Resultados para transmisión

- La reducción de pérdidas estimada para cada año se muestra en los siguientes gráficos.
- La figura 30 muestra como contribuye cada tipo de tecnología o mejora de red en la reducción total de las pérdidas de transmisión.

³⁸GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 26.

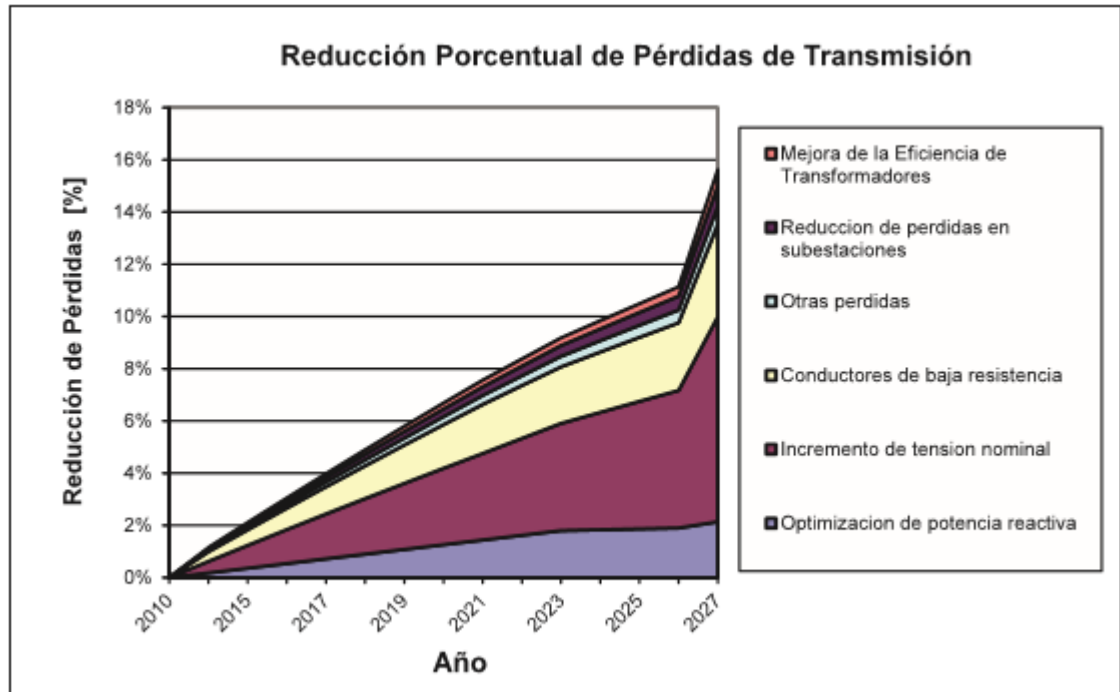
Figura 30. **Reducción de pérdidas de transmisión por tipo de tecnología/medida**



Fuente: GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 28.

- La figura 31 muestra este resultado pero expresado como porcentaje de las pérdidas totales. Se observa que el incremento de la tensión nominal es lo que tiene más peso en la reducción de pérdidas, seguido por el uso de conductores de sección trapezoidal y posteriormente por optimización de la potencia reactiva y control de tensión.

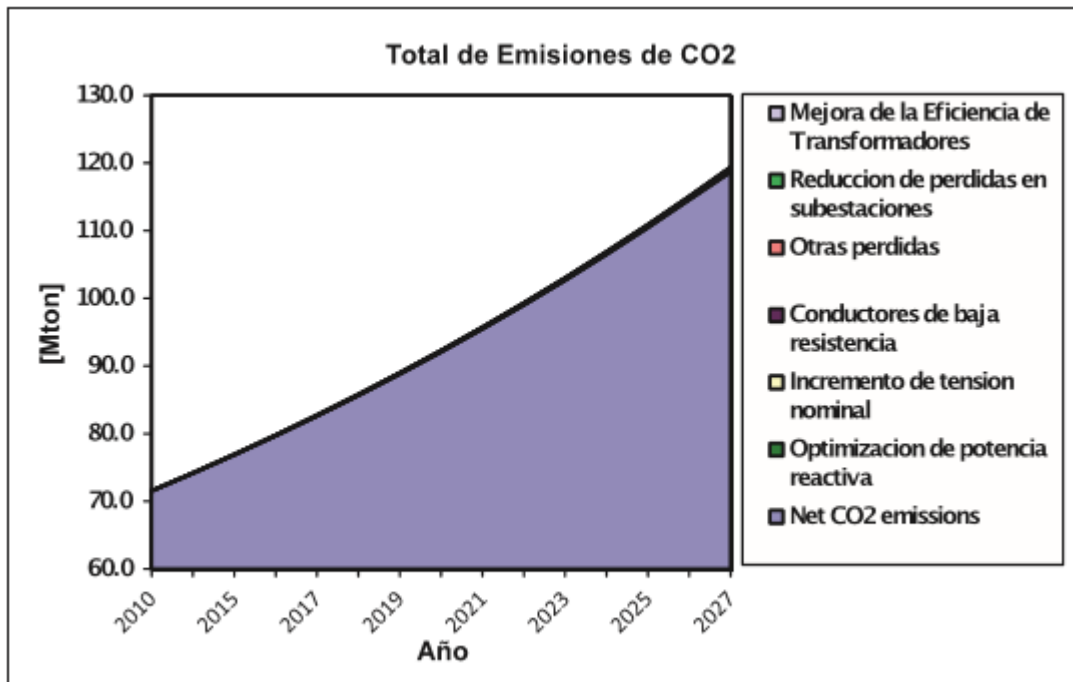
Figura 31. **Reducción porcentual de pérdidas de transmisión por tipo de tecnología/medida**



Fuente: GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 28.

La figura 32 muestra el total de emisiones de CO₂ producida por el sistema eléctrico y la contribución de la reducción de pérdidas en transmisión. Como se observa el aporte de reducción de emisiones es muy poco significativo, menor del 1 %. Esto se debe fundamentalmente que el impacto de las pérdidas en transmisión frente al total de emisiones es de por si bajo.

Figura 32. **Contribución de la reducción de pérdidas en transmisión a la disminución del total de emisiones de CO2 producidas por el sistema eléctrico**



Fuente: GHIA, Andrés; DEL ROSSO, Alberto. *Reducción de pérdidas en el sistema de transmisión y distribución. Beneficios económicos y ambientales*. p. 29.

Es importante destacar que el análisis presentado en este informe es muy simplificado y tiene por objeto estimar en forma general el orden de magnitud de los ahorros de energía, potencia y emisiones que podrían lograrse con la implementación masiva de tecnologías para reducir el consumo y las pérdidas en los sistemas de transmisión y distribución.

6.4. Resultados para la industria

Las soluciones de eficiencia energética en la industria del café- han demostrado una documentada capacidad de:

- Mejorar la eficiencia energética de las centrales.
- Elevar la producción eléctrica de la planta mediante la corrección de las ineficiencias del proceso.
- Generar más energía con menos combustible al disminuir el consumo de combustible de la planta.
- Aumentar los ingresos de la planta mediante la venta de más energía y reducir el desperdicio de combustible.
- Extender la vida útil de la planta mediante la optimización del rendimiento de activos.
- Mejorar la flexibilidad operativa mediante la maximización de la eficiencia del proceso.
- Reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, reduciendo al mínimo la huella de carbono de la planta.

6.4.1. Motores eléctricos de alta eficiencia

“Los motores eléctricos son los usuarios de mayor consumo de energía eléctrica en plantas industriales. Aproximadamente entre el 60 % y 70 %”³⁹ del consumo de energía eléctrica de una industria corresponde a equipos electromotrices: ventiladores, bombas, compresores, bandas transportadoras, entre otros.

Es evidente el gran impacto de los motores eléctricos en el consumo de energía en el sector industrial, por tanto, resalta la importancia de identificar y evaluar oportunidades de ahorro de energía en ellos. Sin embargo, es necesario determinar con precisión el estado energético actual de los mismos (factor de carga, eficiencia, factor de potencia, antigüedad, etc.) y conocer sistemas alternativos como son motores de alta eficiencia y variadores de frecuencia entre otros.

6.4.2. Pérdidas de energía y eficiencias

La función de un motor eléctrico es convertir la energía eléctrica en energía mecánica para realizar un trabajo útil. En la transformación una parte de la energía eléctrica tomada de la red se convierte en calor, constituye una pérdida inherente al motor.

6.4.2.1. Eficiencia

La eficiencia de un motor es la relación entre la potencia mecánica de salida y la potencia eléctrica de entrada. Este es el concepto más importante

³⁹ CNEE/ FIDE. *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, motores eléctricos*. p. 2.

desde el punto de vista del consumo de energía y del costo de operación de un motor eléctrico. La eficiencia se puede expresar de las siguientes maneras:

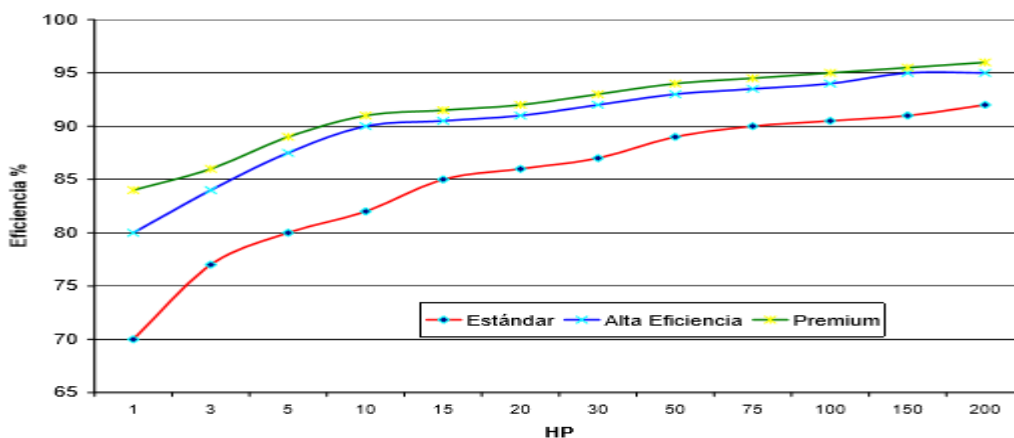
- Eficiencia= potencia mecánica de salida / potencia eléctrica que entra.
- Eficiencia = potencia eléctrica que entra – pérdidas / potencia eléctrica que entra.

El valor más alto de eficiencia sería la unidad, si acaso las pérdidas fueran cero, como lo indica la segunda expresión. Por ello los fabricantes de motores están haciendo innovaciones tecnológicas tendientes a disminuir las pérdidas al máximo posible y lo están logrando con un diseño mejorado empleando materiales de alta calidad y un mejor proceso de fabricación.

Conforme la eficiencia pueden considerarse tres géneros de motores eléctricos:

- Motores de eficiencia estándar
- Motores de alta eficiencia
- Motores de eficiencia premium

Figura 33. **Comparativo de eficiencia**



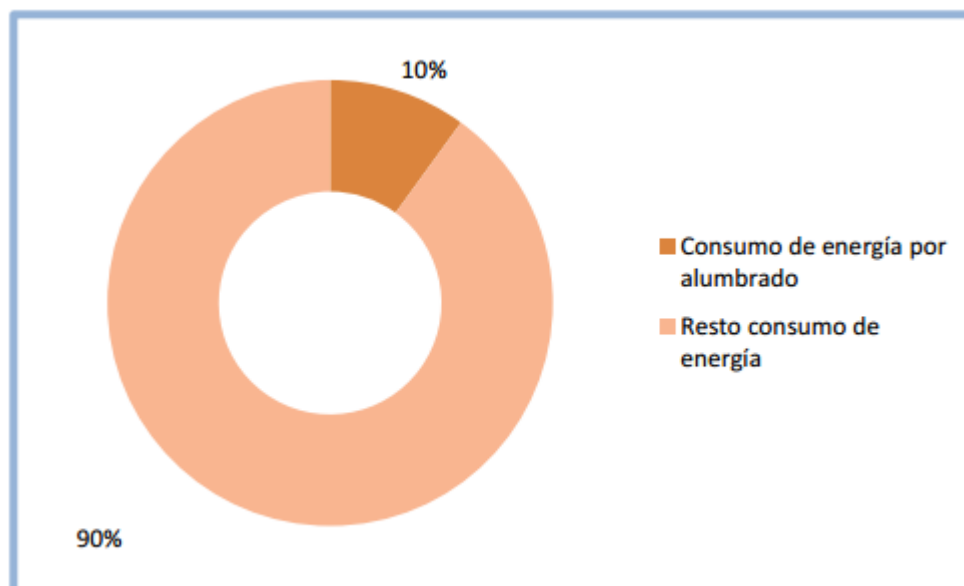
FUENTE: CNEE/ FIDE. *Promotores de ahorro y eficiencia de energía eléctrica, motores eléctricos.* p. 3.

Los motores estándar no consideran la eficiencia como la principal cualidad, más bien privilegian la funcionalidad y precio, prácticamente, los motores con más de 15 años podrían considerarse de eficiencia estándar. El concepto de alta eficiencia surge en la década de los años noventa, como consecuencia de contrarrestar los altos precios de la energía y por la necesidad ya existente de hacer un uso eficiente y racional de la energía. La innovación de los premium se da en la actual década con la pretensión de elevar aún más la eficiencia de los motores eléctricos, para ellos se ha perfeccionado el proceso de manufactura y se utilizan materiales muy superiores, ello acarrea que el diferencial en precio sea también más elevado, comparativo el cual se observa en la figura 33.

6.4.2.2. Iluminación

La iluminación representa más del 50 % de la factura de electricidad en locales comerciales y en torno al 10 % en industrias; en general, supone una repercusión en el gasto energético que debe tenerse en cuenta.

Figura 34. **Consumo de energía debido al alumbrado en industrias (estimación)**



Fuente: Optimagrid. *Buenas prácticas para el ahorro de energía en la empresa*. p. 19.

Un sistema de alumbrado energéticamente eficiente permite obtener una importante reducción del consumo sin necesidad de disminuir sus prestaciones de calidad, confort y nivel de iluminación. En la eficiencia de la iluminación influyen:

- Eficiencia energética de los componentes (lámparas, luminarias, equipos auxiliares).
- Uso de la instalación (régimen de utilización, utilización de sistemas de regulación y control, aprovechamiento de la luz natural).
- Mantenimiento (limpieza, reposición de lámparas).

El resultado final es una reducción de la potencia reactiva consumida que se traduce en un menor gasto energético y, por lo tanto, en una mayor eficiencia energética de la instalación. Las pérdidas en los condensadores suponen entre el 0,5 % - 1 % de la potencia de la lámpara. En los equipos auxiliares se emplean diferentes tecnologías:

- Resistiva: emplea una resistencia como balasto. Es una tecnología de muy baja eficiencia. En la actualidad está prácticamente en desuso.
- Inductiva: equipos electromagnéticos. Es la tecnología más empleada aunque tiende a sustituirse por la electrónica.
- “Electrónica: un equipo electrónico realiza las funciones de balasto y cebador. Además, en muchos casos, elimina la necesidad de condensador. De esta manera, usando un equipo electrónico en lugar de uno convencional se pueden conseguir ahorros de un 25 % - 30 %. Y en caso de usar equipos electrónicos con posibilidad de regulación en lugares donde se puede aprovechar la luz natural estos ahorros pueden alcanzar el 70 %”⁴⁰

⁴⁰ Fenercom. *Guía técnica de iluminación eficiente sector residencial y terciario*. p. 30

CONCLUSIÓN

1. La eficiencia energética tiene un importante efecto productivo que busca la reducción en las pérdidas desde la generación, la red eléctrica de distribución, la transmisión y la industria; además, una correcta instalación y el uso correcto en relación a los requerimientos de la actividad productiva, lo cual reduce el costo de insumos en las empresas.
2. Se analizó una mejora en la red de distribución, planificaron y estudiaron las características técnicas de los elementos y esquemas de conexión normados para identificar los cambios a realizar, los cuales se traducirán en una reducción de pérdidas en la energía eléctrica, tanto en media tensión como en baja tensión.
3. Con la mejor aplicación de nuevas tecnologías en la industria se logra elevar la producción derivada del uso de energía, la cual significa una reducción en los costos y el aumento en los ingresos; además, se logra reducir la emisión de gases de efecto invernadero mediante la eficiencia del proceso en su producción.
4. Del diagnóstico de la eficiencia en la industria del café ha consistido en determinar las áreas en donde hay un mal uso de los equipos y recursos energéticos en los cuales se puede enfocar para obtener mas beneficios usando estos recursos más eficientes.

5. Las mejoras y correcciones en las redes de baja tensión permitirán en un futuro tener más aplicaciones de red sencillas, ordenadas y económicamente variables, sin afectar los sistemas ya existentes.
6. El análisis de resultados ha consistido en hacer una estimación de la reducción de las pérdidas y el consumo de la energía eléctrica que se puede lograr si se implementa una mejora de la red y la utilización de tecnologías tendientes a mejorar la eficiencia energética en las redes de transmisión, distribución y la industria.

RECOMENDACIONES

1. Aplicar las acciones de reducción de consumo de energía eléctrica derivadas del diagnóstico realizado en la aldea Feria, San Rafael Pie de la Cuesta, con lo cual se alcanzará un 30 % de ahorro energético utilizando las soluciones y tecnologías disponibles.
2. Contar con correctas instalaciones que en conjunto con las condiciones de la red de conducción y distribución permitan alcanzar un ahorro global que permita la reducción en el uso de recursos en la producción eléctrica, principalmente, en los procesos que utilizan combustibles fósiles.
3. Implementar un debido control y supervisión en las viviendas para reducir las pérdidas de energía que se da por el mal uso de conectores, alumbrado público, usuarios sin medidores, ferias, medidor intervenido, sellos violados, representa pérdidas de energía no técnicas.
4. Tomar las medidas correctas en el uso de motores e instalaciones según el requerimiento productivo para reducir el consumo de energía, con los dispositivos automáticos; al apagar maquinaria encendida sin producir, así como otros puntos de consumo innecesarios.

BIBLIOGRAFÍA

1. Agencia Andalusadela Energía. *Consejos de desarrollo en el hogar*. [En línea]. <<https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/noticias/consejosdeahorroenelhogarcalefaccion2013>>. [Consulta: 29 de julio de 2016].
2. Anacafé. *Asociación Nacional del Café, Anacafé*. [En línea]. <[https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_Beneficiado Humedo](https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_Beneficiado_Humedo)>. [Consulta: 12 de abril de 2016].
3. Camarco. *Get public file*. [En línea]. <www.camarco.org.ar/File/GetPublicFile?id=1707>. [Consulta: 29 de julio de 2016].
4. Carbontradewatch. *kyoto*. [En línea]. <<http://www.carbontradewatch.org/>>. [Consulta: 29 de julio de 2016],
5. CASAS ÚBEDA, José Manuel. *Educación ambiental*. Zaragoza, España: ECU Club Universitario, 2007. 171 p.
6. Comisión Nacional de Energía Eléctrica. *Eficiencia energética*. [En línea]. <www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20Módulo%20IV%2... />. [Consulta: 29 de julio de 2016].
7. _____. *Reglamento de la ley general de electricidad*. Guatemala: CNEE, Acuerdo Gubernativo núm. 256-97, 1997. 44 p.

8. Congreso de la República de Guatemala. *Ley general de electricidad*. Guatemala: Ministerio de Energía y Minas, 1996. 20 p.
9. Energuate. *Instalación*. [En línea]. <www.energuate.com/.../NG.0003.GT%20Instalacion%20de%20redes%20...>. [Consulta: 29 de julio de 2016].
10. Fenercom. *Guía técnica de iluminación eficiente*. [En línea]. <<https://www.fenercom.com/.../guia-tecnica-de-iluminacion-eficiente-sect>>. [Consulta: 16 de abril de 2016].
11. Gazeta de antropología. *Postura actores principales*. [En línea]. <<http://www.publico.es/actualidad/postura-actores-principales.html>>. [Consulta: 16 de julio de 2016].
12. Grupoar. *Motores eléctricos*. [En línea]. <www.grupoar.com.ec/descargas/motores_electricos.pdf>. [Consulta: 12 de abril de 2016].
13. Infoiarna. *Rediarna*. [En línea]. <www.infoiarna.org.gt/rediarna/2008/Red%20IARNA.../articulo_red_9.p..>. [Consulta: 16 de julio de 2016].
14. Memoria de labores. *Norma de coordinación comercial No. 4*. Guatemala: El administrador del mercado mayorista, 2002. 10 p.
15. Ministerio de Energía y Minas. *Contenido*. [En línea]. <www.mem.gob.gt/wp-content/uploads/2013/02/PE20132027.pdf>. [Consulta: 29 de julio de 2016].

16. Monografías. *Manual eficiencia energética medianas y pequeñas industrias*. [En línea]. <[http://www.monografias.com/trabajos104/manual-eficiencia-energetica-medianas-y-pequenasindustrias / manual - eficiencia - energetica - medianas - y - pequenasindustrias2.shtml](http://www.monografias.com/trabajos104/manual-eficiencia-energetica-medianas-y-pequenasindustrias/manual-eficiencia-energetica-medianas-y-pequenasindustrias2.shtml)>. [Consulta: 29 de julio de 2016].
17. PÉREZ IRUNGARAY, Gerónimo Estuardo. *Aspectos importantes sobre la electricidad en Guatemala*. Guatemala: IARNA/URL, 2009. 4 p.
18. Schneider Electric. *Eficiencia energética, manual de soluciones*. [En línea]. <http://www.schneider-electric.com.ar/documents/solutions/catalogo_soluciones.pdf>. [Consulta: 16 de julio de 2016].
19. *Sistema de energía eléctrica en Guatemala*. [En línea]. <http://www.deguate.com/artman/publish/ecofin_articulos/Sistema-de-energia-electrica-en-Guatemala.shtml#.Vw_RIKjhDIW>. [Consulta: 12 de abril de 2016].
20. TROMBOTTO, Víctor Gabriel. *Complejo hidroeléctrico Río Grande en caverna de acumulación por bombeo*. Ciudad de Cordoba, Argentina: Boletín Energético No. 14, 2005. 11 p.
21. UCATEE. *Manual para la preparación de auditorías energéticas y evaluación financiera de proyectos de eficiencia energética*. Honduras: Iniciativa PYMES VERDES, 2010.80 p.
22. VILLATORO LÓPEZ, Miranda Raquel. *Propuesta del cambio de visión que debe asumir la industria del café en Guatemala para su adecuada incorporación al TLC*. Trabajo de graduación de Ing.

Mecánica Industrial. Universidad de San Carlos de Guatemala,
Facultad de Ingeniería, 2004. 167 p.