



**Desarrollo de una propuesta para un programa de gestión energética inteligente
aplicado a la pyme EMFALU**

Chicaiza Leon, Anthony Luis

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,
Automatización y Control

Ing. Ludeña Granja, Fausto Marcelo, M.Sc.

26 de enero del 2021













Document Information

Analyzed document	TRABAJO_DE_TITULACION_CHICAIZA_ANTHONY.docx (D93743722)
Submitted	1/27/2021 12:33:00 PM
Submitted by	Ludeña Granja Fausto Marcelo
Submitter email	fmludena@espe.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	fmludena.espe@analysis.arkund.com

Fausto Ludeña

Sources included in the report

SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TRABAJO_DE_TITULACION_CHICAIZA_DUY.docx Document TRABAJO_DE_TITULACION_CHICAIZA_DUY.docx (D84395886) Submitted by: fmludena@espe.edu.ec Receiver: fmludena.espe@analysis.arkund.com	 6
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS completa con normas apa.docx Document TESIS completa con normas apa.docx (D41058357) Submitted by: rpleon1@espe.edu.ec Receiver: rpleon1.espe@analysis.arkund.com	 13
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / Tesis UTC Final- Hernan V Morales V 2-1 mdf3.3 09 de julio.docx Document Tesis UTC Final- Hernan V Morales V 2-1 mdf3.3 09 de julio.docx (D14946958) Submitted by: hhiza@espe.edu.ec Receiver: hhiza.espe@analysis.arkund.com	 4
SA	Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / TESIS14_AYALARENATO.docx Document TESIS14_AYALARENATO.docx (D12342565) Submitted by: renatoal_92@hotmail.com Receiver: eepomboza.espe@analysis.arkund.com	 1
W	URL: https://docplayer.es/86274709-Universidad-tecnica-del-norte.html Fetched: 11/30/2019 7:40:41 AM	 1
SA	PI 9 (1).docx Document PI 9 (1).docx (D90958432)	 1
W	URL: https://get.dexmatech.com/hubfs/Whitepapers/SMEs_ES.pdf?t=1496303022320EATON Fetched: 1/27/2021 12:35:00 PM	 2
SA	THESIS.docx Document THESIS.docx (D59373965)	 1
W	URL: http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/3532/Quintana%20Alcocer.pdf?s... Fetched: 12/16/2020 11:05:38 AM	 1
W	URL: https://docplayer.es/89120854-Universidad-de-cuenca-facultad-de-ingenieria-escuela... Fetched: 2/4/2020 4:10:38 AM	 1



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Desarrollo de una propuesta para un programa de gestión energética inteligente aplicado a la pyme EMFALU**” fue realizado por el señor: **Chicaiza Leon Anthony Luis** el cual ha sido revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 27 de enero del 2021

Firma:

.....
Ing. Ludeña Granja, Fausto Marcelo, M.Sc.

C. C. 1704136384.....



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA

Yo, **Chicaiza Leon Anthony Luis**, con cédula de ciudadanía n° 1720677416, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Desarrollo de una propuesta para un programa de gestión energética inteligente aplicado a la pyme EMFALU**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 27 de enero del 2021

Firma:

Chicaiza León Anthony Luis

C.C.: 1720677416



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

Yo, **Chicaiza Leon Anthony Luis**, con cédula de ciudadanía n° 1720677416, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Desarrollo de una propuesta para un programa de gestión energética inteligente aplicado a la pyme EMFALU** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 27 de enero del 2021

Firma:

Chicaiza Leon Anthony Luis

C.C.: 1720677416

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres, ya que fueron el pilar fundamental de apoyo continuo y permanente para poder alcanzar este logro, ustedes siempre serán mi mayor orgullo y ejemplo a seguir durante toda mi vida, este logro esta tan mío como de ustedes.

A mis hermanos, Leo y Joha, ustedes más que nadie comprende el sacrificio y esfuerzo que demanda el estar y culminar la etapa universitaria.

A mis queridas mascotas, Cami y Bruno por todas esas noches de desvelo y esfuerzo, por acompañarme en aquellas madrugadas donde ustedes me brindaban su amor incondicional sin nada a cambio.

Anthony Luis Chicaiza Leon

Agradecimiento

En primer lugar, agradezco a Dios, por brindarme su amor incondicional, por ser tan bueno conmigo, ser mi guía y darme salud para así poder lograr esta meta.

A mi querida madrecita Maggy, por ser la mejor madre que cualquier ser humano desearía tener, gracias por su apoyo incondicional, su amor infinito hacia mí, gracias por siempre recibir su apoyo, mil gracias por esos abrazos amorosos y consejos valiosos en los momentos más difíciles de la carrera.

A mi valiente y aguerrido padre Luis, ya que, gracias a sus consejos, valentía y el don de nunca darse por vencido ante toda adversidad que nos pone la vida, sirvieron de mucho para concluir esta etapa, gracias por su ayuda incondicional en todo momento de mi vida.

Un gran agradecimiento a mis amigos y amigas que conocí en esta etapa universitaria, especialmente a Yomara, Katheryne, Francisco, Silvana, Javier, gracias por todos los momentos compartidos, sus consejos y su ayuda en esta etapa universitaria.

Finalmente, un agradecimiento a todos los docentes que supieron impartir su conocimiento, para formar profesionales que aporten a la sociedad, especialmente un agradecimiento al ingeniero Fausto Ludeña, por darme apertura y permitirme realizar el presente trabajo en su empresa.

Anthony Luis Chicaiza Leon

Índice de Contenido

Urkund.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria	6
Agradecimiento	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Tablas	12
Índice de Figuras.....	16
Resumen.....	20
Abstract.....	21
Capítulo I.....	22
Introducción.....	22
La Empresa	22
Definición del Proyecto	24
Antecedentes.....	24
Justificación e Importancia	27
Alcance del Proyecto	29
Objetivos del Proyecto	30
Objetivo General	30
Objetivos Específicos	30
Capítulo II.....	31
Marco Teórico	31
Calidad de la Energía Eléctrica y Principales Parámetros Eléctricos.....	31
Análisis de Tensión	31
Análisis de Factor de Potencia	32
Análisis de THD (Distorsión Armónica Total).....	36
Análisis de Carga	37
Demanda y Consumo.....	37
Eficiencia Energética	38
Eficiencia Energética en Pequeñas y Medianas Empresas	39

Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica.....	40
Evolución del Estándar de Gestión Energética	42
Gestión de Energía mediante monitoreo de Energía	42
Normativa Ecuatoriana Referente a Eficiencia Energética	42
Sector Industrial, Comercial y la Gestión Energética.....	44
Eficiencia Energética en Sistemas de Iluminación Industrial	44
Eficiencia Energética en Motores	46
Requisitos para Eficiencia Energética en Motores.....	47
Eficiencia Nominal.....	48
Factor de Carga	48
Levantamiento de Carga en Instalaciones Eléctricas	49
Auditoría Energética.....	49
Beneficios de una Auditoría Energética	50
Auditoría Eléctrica.....	50
Objetivos de una Auditoría Eléctrica.....	51
Ventajas de una Auditoría Eléctrica.....	51
Aspectos Importantes para una Auditoría Energética	51
El Camino a través de la Auditoría	51
Auditoría Estándar.....	52
Evaluación Económica para Alternativas de Ahorro Energético	52
Valor Actual Neto (VAN).....	53
Tasa Interna de Retorno (TIR).....	53
Periodo Simple de Recuperación (PSR).....	54
Capítulo III.....	56
Análisis de la Condición Actual del Sistema Eléctrico de la Empresa EMFALU.....	56
Auditoría Energética en la Empresa “EMFALU Cía. Ltda.”	56
Identificación Del Proceso Productivo y/o Áreas Principales	56
Identificación de la Capacidad Instalada y Horas de Operación	60
Facturación Eléctrica en “EMFALU Cía. Ltda.”	62
Consumo de Energía Eléctrica Mensual EMFALU Sangolquí – Energía Consumida	62
Energía Consumida.....	62
Potencia Demandada.....	65
Consumo De Energía Eléctrica Mensual EMFALU San Rafael	68

	10
Energía Consumida.....	68
Potencia Demandada.....	70
Descripción del Sistema Eléctrico Actual.....	72
Diagramas Unifilares Eléctricos.....	72
Tableros de Distribución.....	72
Levantamiento de Carga.....	76
Distribución de Carga por cada Sector de la Empresa.....	81
Medición del Sistema de Puesta a Tierra de EMFALU.....	82
Medición de Resistencia Eléctrica de las tierras.....	83
Análisis del Sistema de Puesta a Tierra de EMFALU.....	89
Termografías.....	89
Termografías en Motores y Tableros Eléctricos.....	92
Termografías en EMFALU Sangolquí.....	92
Termografías en EMFALU San Rafael.....	94
Medición y Análisis de Datos.....	95
Metodología para el Monitoreo de Parámetros Eléctricos.....	95
Equipo Utilizado.....	95
Análisis de los Motores y Tableros Eléctricos en Operación.....	126
Sistema de Iluminación.....	128
Equipo Utilizado (Luxómetro).....	128
Mediciones de los Niveles de Iluminación.....	128
Capítulo IV.....	134
Oportunidades de Ahorro De Energía.....	134
Corrección del Factor de Potencia.....	134
Corrección del Factor de Potencia en EMFALU Sangolquí.....	134
Corrección del Factor de Potencia en EMFALU San Rafael.....	144
Análisis Financiero.....	149
Implementación de Energía Fotovoltaica.....	156
Implementación de Energía Fotovoltaica en EMFALU Sangolquí.....	156
Implementación de Energía Fotovoltaica en EMFALU San Rafael.....	163
Implementación de Variadores de Frecuencia en las Sierras Verticales y Extractores.....	169
Análisis para Implementación de Variadores de Frecuencia en la Sierra Vertical y Extractor en EMFALU Sangolquí.....	169
Escenario Propuesto.....	170

	11
Estimación de Energía Ahorrada.	171
Análisis Financiero.....	171
Análisis para Implementación de Variadores de Frecuencia en las Sierras Verticales y Extractores en EMFALU San Rafael.....	176
Medidas y Acciones que Promueven el Ahorro y Eficiencia Energética	186
Identificación de los Indicadores Claves de Desempeño (KPI's) para la Gestión Energética en EMFALU.....	196
Software para la Visualización y Análisis de la Gestión Energética en EMFALU	198
Capítulo V	205
Conclusiones y Recomendaciones.....	205
Conclusiones	205
Recomendaciones	206
Referencias Bibliográficas	207
Anexos	212

Índice de Tablas

Tabla 1 <i>Límites para el índice de nivel de tensión</i>	32
Tabla 2 <i>Causas y consecuencias para llegar a tener un bajo factor de potencia</i>	33
Tabla 3 <i>Detalle de los tipos de lámparas más importantes</i>	45
Tabla 4 <i>Valores de eficiencia Nominal destinado a Motores Eléctricos Trifásicos, con tensión nominal de con límite de 600 V</i>	48
Tabla 5 <i>Decisiones a tomar de acuerdo al TIR</i>	54
Tabla 6 <i>Características transformador EMFALU Sangolquí</i>	60
Tabla 7 <i>Características transformador EMFALU San Rafael</i>	61
Tabla 8 <i>Costo de la energía y potencia del suministro de EMFALU Sangolquí</i>	62
Tabla 9 <i>Detalle de consumo mensual de energía eléctrica 2019 del suministro "EMFALU Sangolquí"</i>	63
Tabla 10 <i>Detalle de demanda de potencia eléctrica 2019 Suministro "EMFALU Sangolquí"</i>	65
Tabla 11 <i>Costo de la energía y potencia del suministro "EMFALU San Rafael"</i>	68
Tabla 12 <i>Costo actual de la energía y potencia del suministro "EMFALU San Rafael" ..</i>	68
Tabla 13 <i>Detalle de Consumo mensual de energía eléctrica 2019 del suministro "EMFALU San Rafael"</i>	68
Tabla 14 <i>Levantamiento de carga de iluminación exterior en EMFALU Sangolquí</i>	76
Tabla 15 <i>Levantamiento de carga iluminación interior en EMFALU Sangolquí</i>	76
Tabla 16 <i>Levantamiento de carga equipos eléctricos de oficina en EMFALU Sangolquí</i>	77
Tabla 17 <i>Levantamiento de cargas equipos eléctricos cafetería en EMFALU Sangolquí</i>	77
Tabla 18 <i>Levantamiento de cargas equipos eléctricos baños en EMFALU Sangolquí</i> ..	78
Tabla 19 <i>Levantamiento de carga equipos eléctricos Proceso Productivo en EMFALU Sangolquí</i>	78
Tabla 20 <i>Levantamiento de Carga Total en EMFALU Sangolquí</i>	78
Tabla 21 <i>Levantamiento de carga de iluminación interior en EMFALU San Rafael</i>	79
Tabla 22 <i>Levantamiento de carga equipos eléctricos de oficina en EMFALU San Rafael</i>	79
Tabla 23 <i>Levantamiento de cargas equipos eléctricos cafetería en EMFALU San Rafael</i>	80
Tabla 24 <i>Levantamiento de cargas equipos eléctricos baños en EMFALU San Rafael</i> ..	80
Tabla 25 <i>Levantamiento de carga equipos eléctricos Proceso Productivo en EMFALU San Rafael</i>	80

	13
Tabla 26 Levantamiento de Carga Total en EMFALU San Rafael	81
Tabla 27 Clase de motor de aislamiento y su temperatura máxima permitida medida en la carcaza.....	90
Tabla 28 Especificaciones técnicas cámara termográfica Fluke Ti25 IR Fusion Technology.....	91
Tabla 29 Termografía en motor de extractor 1 de EMFALU Sangolquí.....	92
Tabla 30 Termografía en tablero principal de EMFALU Sangolquí	93
Tabla 31 Termografía en motor de extractor 1 de EMFALU San Rafael	94
Tabla 32 Termografía en Tablero Principal de EMFALU San Rafael.....	94
Tabla 33 Especificaciones Técnicas Generales Fluke 1736	96
Tabla 34 Mediciones del nivel de voltaje de línea en EMFALU Sangolquí.....	97
Tabla 35 Mediciones del nivel de voltaje de fase EMFALU Sangolquí.....	99
Tabla 36 Mediciones de corriente en EMFALU Sangolquí en un día laborable.....	102
Tabla 37 Distorsión Armónica de Voltaje EMFALU Sangolquí.....	103
Tabla 38 Distorsión Armónica de Corriente en un día laborable en EMFALU Sangolquí	105
Tabla 39 Valores potencia aparente de un día laborable en EMFALU Sangolquí.....	107
Tabla 40 Porcentaje total que opera el transformador EMFALU Sangolquí	108
Tabla 41 Valores potencia real de un día laborable en EMFALU Sangolquí.....	109
Tabla 42 Valores factor de potencia de un día laborable en EMFALU Sangolquí.....	110
Tabla 43 Comparación entre potencia real y potencia aparente EMFALU Sangolquí..	111
Tabla 44 Mediciones del nivel de voltaje de línea EMFALU San Rafael	112
Tabla 45 Mediciones del Nivel de Voltaje de fase EMFALU San Rafael.....	114
Tabla 46 Mediciones de corriente EMFALU San Rafael en un día laborable.....	116
Tabla 47 Distorsión Armónica de Voltaje EMFALU San Rafael	118
Tabla 48 Distorsión Armónica de Corriente en EMFALU San Rafael.....	120
Tabla 49 Valores potencia aparente de un día laborable EMFALU San Rafael.....	122
Tabla 50 Valores potencia real de un día laborable en EMFALU San Rafael	123
Tabla 51 Valores factor de potencia de un día laborable EMFALU San Rafael	124
Tabla 52 Comparación entre Potencias Real y Aparente en EMFALU San Rafael.....	126
Tabla 53 Especificaciones Técnicas Generales Luxómetro AMPROBE LM531A	128
Tabla 54 Niveles de iluminación de EMFALU Sangolquí	129
Tabla 55 Niveles de iluminación de EMFALU San Rafael.....	131
Tabla 56 Valores calculados iniciales de Qc necesarios para corregir el factor de potencia en EMFALU Sangolquí	136

Tabla 57	<i>Valores calculados finales de Qc necesarios para corregir el factor de potencia en EMFALU Sangolquí</i>	137
Tabla 58	<i>Valores máximos y mínimos de potencia reactiva Qc calculada EMFALU Sangolquí</i>	139
Tabla 59	<i>Penalizaciones por bajo factor de potencia EMFALU Sangolquí 2018</i>	140
Tabla 60	<i>Penalizaciones por bajo factor de potencia EMFALU Sangolquí 2019</i>	141
Tabla 61	<i>Pérdida de potencias en conductores de EMFALU Sangolquí</i>	141
Tabla 62	<i>Potencias perdidas y ahorro anual de EMFALU Sangolquí</i>	142
Tabla 63	<i>Valores calculados iniciales de Qc necesarios para corregir el factor de potencia en EMFALU San Rafael</i>	145
Tabla 64	<i>Valores calculados finales de Qc necesarios para corregir el factor de potencia en EMFALU San Rafael</i>	147
Tabla 65	<i>Valores máximos y mínimos de potencia reactiva Qc calculada EMFALU San Rafael</i>	148
Tabla 66	<i>Pérdida de potencias en conductores de EMFALU San Rafael</i>	151
Tabla 67	<i>Potencias pérdidas y ahorro anual de EMFALU San Rafael</i>	152
Tabla 68	<i>Consumo diario y promedio de energía eléctrica (kWh) en días enteros EMFALU Sangolquí</i>	160
Tabla 69	<i>Consumo diario y promedio de energía eléctrica (kWh) en días enteros EMFALU San Rafael</i>	167
Tabla 70	<i>Estimación de energía ahorrada Extractor CORAL de 5.5 Kw</i>	171
Tabla 71	<i>Estimación de energía ahorrada Sierra Vertical HOLZHER 1255</i>	174
Tabla 72	<i>Estimación de energía ahorrada Extractor CORAL de 7.5 kW</i>	178
Tabla 73	<i>Estimación de energía ahorrada Sierra Vertical HOLZHER 1265</i>	181
Tabla 74	<i>Estimación de energía ahorrada Sierra Vertical HOLZHER 1255</i>	184
Tabla 75	<i>Características de arranque de los equipos eléctricos y su costo de “EMFALU Sangolquí”</i>	190
Tabla 76	<i>Características de arranque de los equipos eléctricos y su costo de “EMFALU San Rafael”</i>	191
Tabla 77	<i>Consumo de energía durante las noches y fines de semana en “EMFALU Sangolquí”</i>	193
Tabla 78	<i>Consumo de energía durante las noches y fines de semana en “EMFALU San Rafael”</i>	193
Tabla 79	<i>Consumo y costo mensual aproximado de energía durante las noches y fines de semana en EMFALU</i>	194
Tabla 80	<i>Identificación de los KPI's a ser evaluados</i>	196
Tabla 81	<i>Formato de medición y evaluación del Consumo de Energía Eléctrica</i>	196
Tabla 82	<i>Formato de medición y evaluación de la Demanda Máxima</i>	197

Tabla 83 <i>Formato de medición y evaluación de las Medidas y Acciones que promueven el ahorro y eficiencia energética</i>	198
--	-----

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación de EMFALU Sangolquí.....	22
Figura 2 Ubicación de EMFALU San Rafael.....	23
Figura 3 Triángulo de potencia	34
Figura 4 Sistema de microgeneración fotovoltaica “ON GRID”	41
Figura 5 Consumo de Energía Eléctrica y número de usuarios comerciales.....	43
Figura 6 Etiqueta de Eficiencia Energética	45
Figura 7 Áreas principales de EMFALU Sangolquí	57
Figura 8 Áreas principales de EMFALU San Rafael.....	58
Figura 9 Diagrama de flujo del proceso productivo de EMFALU	59
Figura 10 Transformador EMFALU Sangolquí.....	60
Figura 11 Acometida subterránea hacia el transformador de EMFALU San Rafael	61
Figura 12 Consumo mensual de energía eléctrica 2019 en "EMFALU Sangolquí".....	64
Figura 13 Porcentaje de consumo promedio de energía por horarios durante 2019 en "EMFALU Sangolquí"	64
Figura 14 Demanda mensual de potencia eléctrica 2019 Suministro "EMFALU Sangolquí".....	66
Figura 15 Porcentaje de demanda por horarios de potencia eléctrica 2019 Suministro "EMFALU Sangolquí"	66
Figura 16 Tendencia de la potencia demandada por EMFALU Sangolquí en un día laborable	67
Figura 17 Tendencia de la potencia demandada por EMFALU Sangolquí de toda una semana	67
Figura 18 Consumo mensual de energía eléctrica 2019 "EMFALU San Rafael"	70
Figura 19 Tendencia de la potencia demandada por EMFALU San Rafael en un día laborable	71
Figura 20 Tendencia de la potencia demandada por EMFALU San Rafael de toda una semana	71
Figura 21 Tablero Principal EMFALU Sangolquí	72
Figura 22 Tablero secundario oficinas EMFALU Sangolquí.....	73
Figura 23 Tablero secundario Máquinas EMFALU Sangolquí.....	73
Figura 24 Tablero Principal de Distribución EMFALU San Rafael.....	74
Figura 25 Tablero secundario 1 EMFALU San Rafael (Tablero secundario 4, Sierra Vertical HOLZHER 1265, Bisagradora BLUM)	74
Figura 26 Tablero secundario 2 EMFALU San Rafael (Sierra HOLZHER 1255 y Laminadora Olympic K360).....	75

Figura 27 <i>Tablero secundario 3 EMFALU San Rafael (Extractor CORAL, Compresor SCHULZ)</i>	75
Figura 28 Tablero secundario 3 EMFALU San Rafael (iluminación y tomacorrientes) ..	75
Figura 29 Composición de la energía eléctrica consumida EMFALU Sangolquí	82
Figura 30 Composición de la energía eléctrica consumida EMFALU San Rafael	82
Figura 31 Cable que se conecta a la malla del sistema de puesta a tierra.....	83
Figura 32 Equipo AMPROBE DMIII MULTITEST	84
Figura 33 Configuración de conexiones de equipo para medición del valor de resistencia de tierra con el método de caída de potencial	85
Figura 34 <i>Configuración de conexiones del equipo AMPROBE DMIII MULTITEST</i>	85
Figura 35 Equipo AMPROBE DMIII MULTITEST muestra la medición tomada en la malla de puesta a tierra en EMFALU Sangolquí (RT = 2.97 Ω)	86
Figura 36 Cable que se conecta a la malla del sistema de puesta a tierra.....	87
Figura 37 Equipo AMPROBE DMIII MULTITEST muestra la medición tomada en la malla de puesta a tierra en EMFALU San Rafael (RT = 15.94 Ω).....	88
Figura 38 Cámara Termográfica Fluke Ti25 IR Fusion Technology	91
Figura 39 <i>Registrador de Calidad de Energía Eléctrica Fluke 1736</i>	96
Figura 40 Curva de voltaje de línea semanal EMFALU Sangolquí.....	99
Figura 41 Curva de voltaje de fase semanal EMFALU Sangolquí.....	100
Figura 42 Formas de Onda de Voltaje EMFALU Sangolquí.....	101
Figura 43 Comportamiento de la corriente durante una semana EMFALU Sangolquí.....	102
Figura 44 Formas de Onda de Corriente EMFALU Sangolquí	102
Figura 45 Curva de THD de voltaje durante una semana EMFALU Sangolquí	104
Figura 46 Armónicos de voltaje en un día laborable EMFALU Sangolquí	105
Figura 47 <i>Curva de THD de corriente durante una semana en EMFALU Sangolquí</i>	106
Figura 48 Armónicos de corriente en un día laborable EMFALU Sangolquí.....	106
Figura 49 Curva de potencia aparente durante una semana EMFALU Sangolquí	108
Figura 50 Curva de potencia real durante una semana en EMFALU Sangolquí	109
Figura 51 Curva de factor de potencia en una semana EMFALU Sangolquí.....	111
Figura 52 Datos de energía consumida y demanda máxima EMFALU Sangolquí	112
Figura 53 Curva de voltaje de línea semanal EMFALU San Rafael	114
Figura 54 Curva de voltaje de fase semanal EMFALU San Rafael	115
Figura 55 Formas de Onda de Voltaje EMFALU San Rafael	115
Figura 56 Comportamiento de la corriente durante una semana EMFALU San Rafael	117
Figura 57 Formas de Onda de Corriente EMFALU San Rafael.....	117

Figura 58 Curva de THD de voltaje durante una semana EMFALU San Rafael.....	119
Figura 59 Armónicos de voltaje en un día laborable EMFALU San Rafael.....	119
Figura 60 Curva de THD de corriente durante una semana en EMFALU San Rafael .	121
Figura 61 Armónicos de corriente en un día laborable EMFALU San Rafael	121
Figura 62 Curva de potencia aparente en un día laborable EMFALU Sangolquí	123
Figura 63 Curva de potencia real durante una semana en EMFALU San Rafael.....	124
Figura 64 Curva de factor de potencia en una semana EMFALU San Rafael.....	125
Figura 65 Datos de energía consumida y demanda máxima EMFALU San Rafael.....	126
Figura 66 Curvas de arranque con respecto a tipos de arranque.....	127
Figura 67 Luxómetro AMPROBE LM631A	128
Figura 68 Curva de potencia reactiva necesaria para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU Sangolquí	139
Figura 69 Curva de potencia reactiva necesaria para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael.....	148
Figura 70 Datos preliminares de HSP en EMFALU Sangolquí.....	157
Figura 71 Horas solar pico 2019 en EMFALU Sangolquí.....	157
Figura 72 Radiación promedio mensual 2019 en EMFALU Sangolquí.....	159
Figura 73 Consumo de energía (kWh) durante una semana en EMFALU Sangolquí..	160
Figura 74 Datos preliminares de HSP en EMFALU San Rafael	163
Figura 75 Horas solar pico 2019 en EMFALU San Rafael	164
Figura 76 Radiación promedio mensual 2019 en EMFALU San Rafael	165
Figura 77 Consumo de energía (kWh) durante una semana en EMFALU San Rafael	166
Figura 78 Curva de potencia Extractor CORAL EMFALU Sangolquí	170
Figura 79 Curva de potencia Sierra Vertical HOLZHER 1255.....	173
Figura 80 Curva de potencia Extractor CORAL EMFALU San Rafael.....	177
Figura 81 Curva de potencia Sierra Vertical HOLZHER 1265 EMFALU San Rafael ...	180
Figura 82 Curva de potencia Sierra Vertical HOLZHER 1255 EMFALU San Rafael ...	183
Figura 83 Variables del Software de Gestión Energética en EMFALU	199
Figura 84 Consumo de energía, demanda y su costo de los años 2017, 2018 y 2019 EMFALU Sangolquí.....	200
Figura 85 Gráficos y tablas del costo de energía eléctrica y su consumo en kWh de los años 2017, 2018 y 2019 EMFALU Sangolquí.....	200
Figura 86 Gráficos y tablas del costo de la demanda máxima y su registro en kW de los años 2017, 2018 y 2019 EMFALU Sangolquí	201
Figura 87 Ejemplo de variables relevantes de los años 2017, 2018 y 2019 EMFALU Sangolquí.....	202

Figura 88 Ejemplo de gráficos y tablas de las variables relevantes y sus respectivos datos	202
Figura 89 Ejemplo de gráficos y tablas de las variables relevantes y sus respectivos datos	203
Figura 90 Ejemplo de comparación entre las fuentes de energía y las variables relevantes.....	204

Resumen

En el presente proyecto se realiza una propuesta para establecer un programa de ahorro y gestión energética para pyme EMFALU, mediante alternativas de gestión energética detectadas a través de visitas in situ, además se plantea alternativas que permitan mejorar la eficiencia energética, lo cual implica analizar valoraciones técnicas y económicas aplicables a la empresa. Por medio de una auditoría energética se realizó el análisis de la calidad de la energía en el cual se compara las mediciones realizadas con las respectivas normas según cada parámetro eléctrico; se analizó los principales equipos eléctricos logrando determinar los principales consumidores de energía y su comportamiento en operación sobre el sistema eléctrico de la empresa. Se ejecutó un mantenimiento preventivo que permitió indagar el funcionamiento de estos equipos. Además, se implementó un software que permite analizar el comportamiento de la gestión energética. En base a una inversión inicial establecida en cada oportunidad de ahorro de energía, se proponen las medidas y acciones que promueven el ahorro y eficiencia energética, así se logra examinar si son rentables o no para la empresa; mediante un programa de gestión energética, se plantea acciones culturales y de concientización, todo esto conlleva al uso racional de la energía que permita mejorar el desempeño energético de la empresa.

Palabras clave:

- **PYMES**
- **GESTIÓN ENERGÉTICA**
- **AUDITORÍA ENERGÉTICA**
- **EFICIENCIA ENERGÉTICA**
- **CALIDAD DE LA ENERGÍA**

Abstract

The present project, a proposal is made to establish an energy saving and management program for SME EMFALU, through energy management alternatives detected through visits in situ, also, it raises alternatives that allow to get a better energy efficiency, which implies analyzing technical valuations and economic applicable to the company.

Through an energy audit, it was made the energy quality analysis in which is compared the measurements made with the respective standards according to each electrical parameter; the mains electrical equipment's were analyzed, managing to determine the main energy consumers and their behavior in operation over in the company's electrical system. Preventive maintenance was carried out that made it possible to investigate the operation of these equipment. In addition, a software was implemented to analyze the behavior of energy management. It was in base on an initial investment established in each opportunity of saving electrical, measures and actions that promote energy saving and efficiency are proposed, of this way it is possible to examine whether or not they are profitable for the company; through an energy management program, cultural and awareness actions are proposed, all this leads to the rational use of energy that allows to get a better energy performance of the company.

Keywords:

- **SMES**
- **ENERGY MANAGEMENT**
- **ENERGY AUDIT**
- **ENERGY EFFICIENCY**
- **ENERGY QUALITY**

Capítulo I

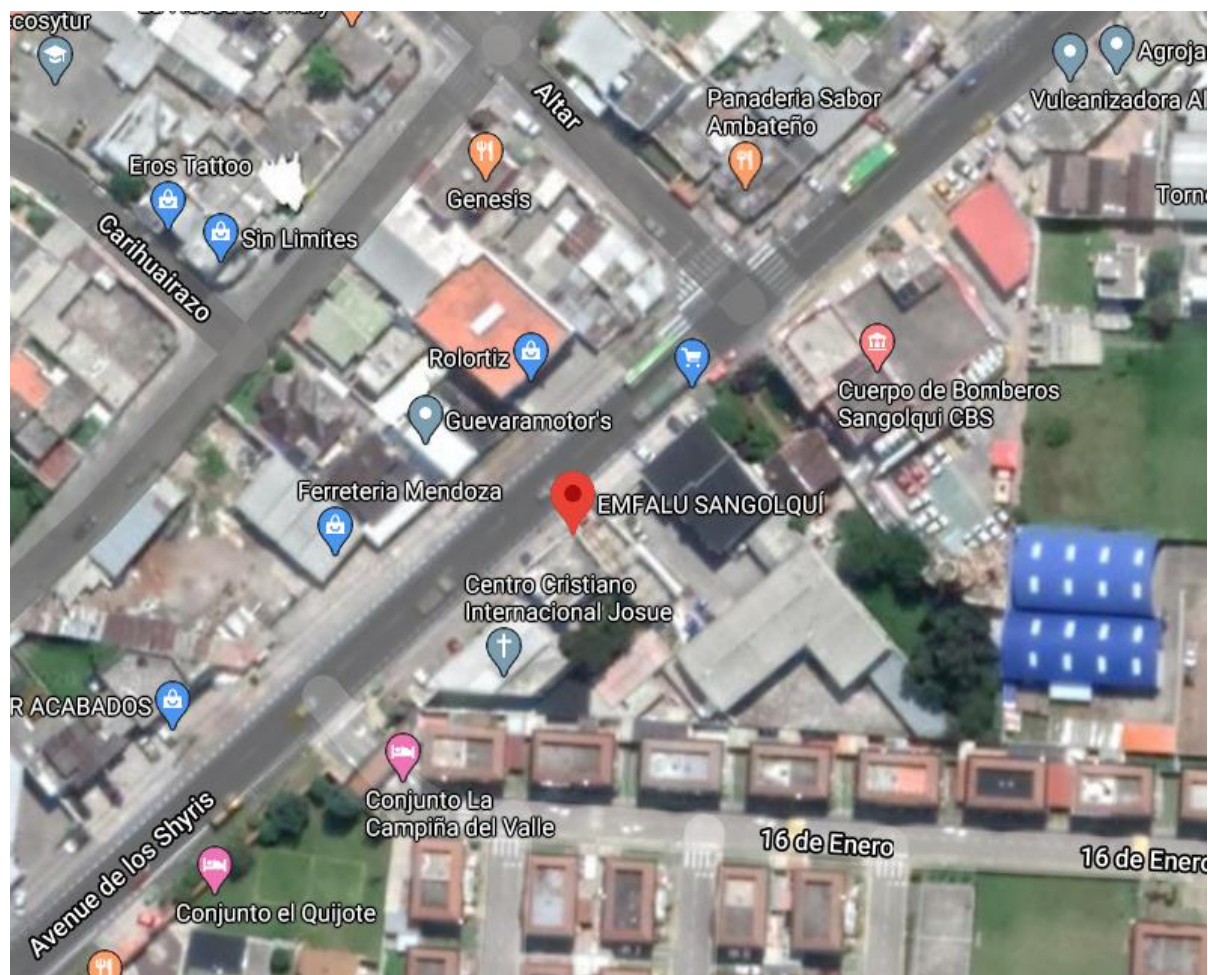
Introducción

La Empresa

Actualmente, Servicios Integrados y Corporativos EMFALU Cía. Ltda. pertenece a la franquicia de las empresas NOVOPAN & CODESA, su sede matriz se encuentra en la ciudad de Sangolquí, La Palma, Av. Shyris s/n y Altar y su sucursal está ubicado en San Rafael, Calle Isla Española 64 y Av. Ilaló.

Figura 1

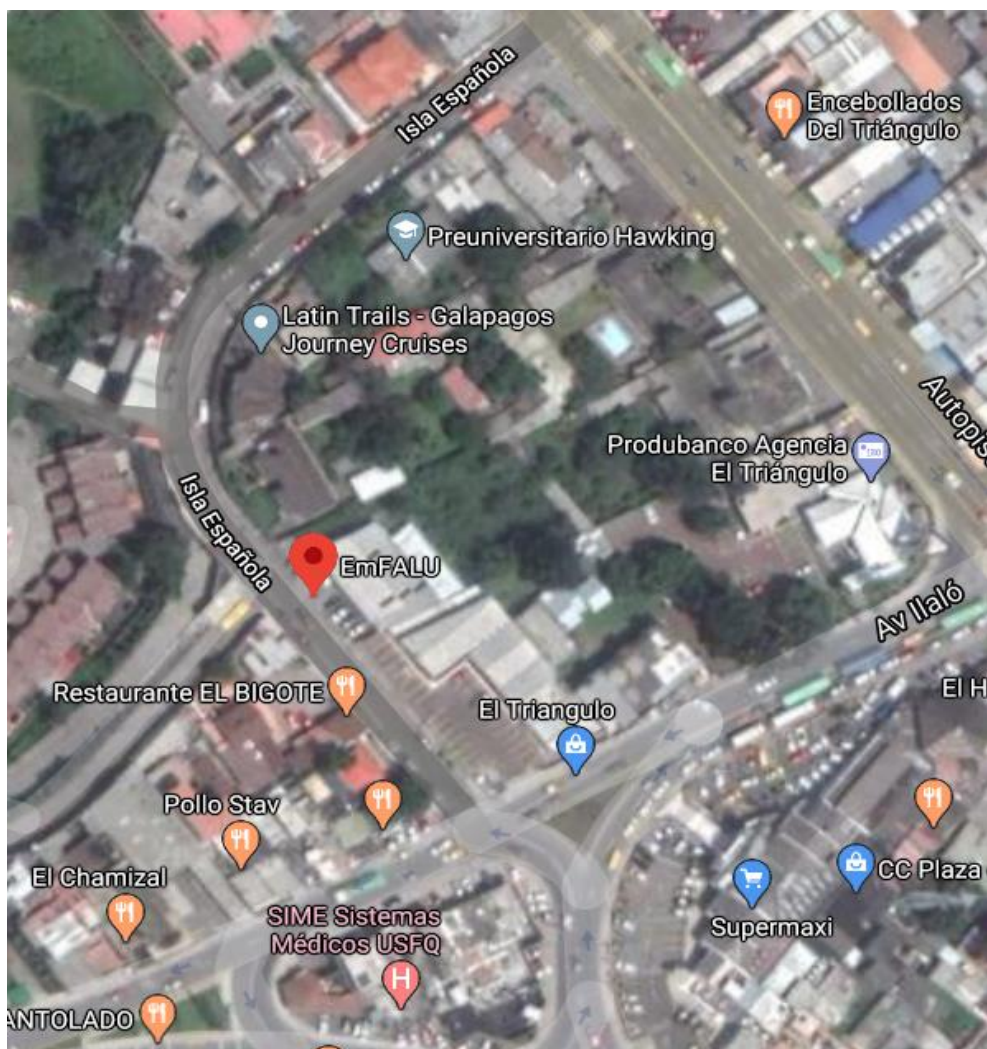
Ubicación de EMFALU Sangolquí



Nota. Tomado de: (Google, s.f.)

Figura 2

Ubicación de EMFALU San Rafael



Nota. Tomado de: (Google, s.f.).

EMFALU provee servicios de diseño de interiores, asesoría técnica, transporte de materiales, corte, laminado y bisagrado, ofrece productos de construcción, muebles en diferentes materiales y acabados y complementarios como lo son repisas decorativas flotantes, entre otros.

Las aplicaciones dependerán de las exigencias de cada cliente y la versatilidad del producto.

Entre los diferentes productos que ofrece la empresa se encuentran:

- Tableros de MDF
- Tableros de MDP
- Accesorios y herrajes para armar muebles especialmente en la construcción, oficina y hogar.
- Repisas decorativas
- Filos para recubrimiento de los cantos de los tableros (Ludeña Granja, 2017).

Definición del Proyecto

En función de los resultados de un análisis energético en EMFALU, se presentará una propuesta de eficiencia energética a nivel de iluminación, energía renovable, corrección de factor de potencia entre otras medidas correctivas que permitan la reducción del costo por consumo de energía, para así poder identificar las múltiples oportunidades de ahorro además de una calidad de energía eléctrica adecuada para la empresa.

Antecedentes

Las pymes (pequeñas y medianas empresas) representan comúnmente una parte que no se menciona cuando se hace referencia al tema del consumo energético, pero se debería cambiar ese concepto, puesto que éstas tienen gran importancia en la economía global ya que a nivel mundial representan el 99% de los todos los negocios y llegan a ser el 60% de los trabajos del mundo. Si se analizara a las pymes por sí solas, en torno a su consumo energético, no se tiene registros de grandes cantidades de energía, pero al referirse de forma colectiva, su demanda incrementa notoriamente.

Si bien la eficiencia energética logra ayudar a las pymes a reducir los costes de consumo energético, uno de los principales objetivos de la eficiencia energética es poder ayudar a las pequeñas y medianas empresas para que se les facilite liberar recursos, con ello se podrá invertir en acciones que favorezcan a la producción de la empresa. La eficiencia energética conlleva un gran lanzamiento al crecimiento, como, por ejemplo, al mejorar la productividad y por ende la calidad del producto o productos que ofrece una empresa. (DEXMA, 2016).

Para las pymes, es primordial realizar una inversión en infraestructura e innovación puesto que son aspectos fundamentales del desarrollo económico además del crecimiento. La energía renovable cada vez se vuelve más necesaria puesto que más de la mitad de la población mundial se encuentra viviendo en ciudades, así como también la evolución de las nuevas industrias. En este punto también se toma muy en cuenta a los avances y desarrollos tecnológicos puesto que se necesita encontrar soluciones permanentes a los desafíos ambientales y económicos, al igual que la oferta de empleos innovadores y la promoción de la eficiencia energética (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2019).

La eficiencia energética se presenta como la disminución de la energía y las diferentes potencias demandadas al sistema eléctrico general, teniendo en cuenta que éstas no afecten a las acciones comunes que se realiza en industrias, edificios, etc. (Circutor, 2015). Generar un ahorro en el consumo energético es un componente clave en la optimización de recursos, se puede lograr un ahorro de energía hasta en un 40%, en ciertos casos sin inversión de capital todo ellos gracias a la aplicación de métodos de gestión energética.

Todo tipo de energía tiene un coste: ecológico y económico, si se apaga una luz que no se está utilizando, se ahorrará en ambos sentidos. La energía eléctrica y la

energía en general más barata es la que no se consume. Pero se debe tener en cuenta que el consumo eléctrico domiciliario y comercial es tan solo un parte del total de energía que se distribuye a través de las redes eléctricas por tanto existe otro consumo muy importante: el consumo industrial. Existen plantas industriales que facturan un bajo consumo energético, entre ellas se encuentran aquellas que solo almacenan material y también necesitan iluminación. La mayoría del consumo de electricidad se reparte en la iluminación, climatización y maquinaria (Ventura, 2019).

La eficiencia energética está apuntada como una preferencia en la mayoría de industrias y pymes, si bien el aspecto económico es muy importante, también se lo realiza por el uso responsable de los recursos y de ser más cuidadoso con la contaminación al medio ambiente. El objetivo más puntual de la eficiencia energética es la creación de un rendimiento energético recomendable para los diferentes procesos productivos sin promover una reducción de la producción o la calidad del servicio o producto de la pyme o industria (La Verdad, 2019).

Para establecer ahorros por consumo energético, se tiene que relacionar a una combinación entre tres aspectos: el aspecto económico, el aspecto energético y el aspecto productivo; ya que el ahorro surge en la instancia en que se logra utilizar menos energía para compensar las demandas, esto se consigue con la creación de un sistema más eficaz que el que ya se estaba utilizando hasta el momento, entonces se debe basar en un Programa de Gestión Energética el cual debe contener ámbitos como: el consumo eficiente, la disminución de los consumos de energía, mejora continua en el empleo de la energía, los costes financieros asociados, así como también incentivar al uso de energías alternativas y renovables.

Según (Ruiz Larrea, 2018), la competitividad es uno de los elementos fundamentales en el entorno de una economía globalizada como es el caso del

Ecuador. Teniendo en cuenta que una de las maneras de llegar a ser competitivos con las demás pymes e industrias es reduciendo los costes de producción, el uso de la energía está relacionado de manera directa a la producción, motivo por el cual se debe optimizar el uso de ésta. Como primer paso para la puesta en marcha de un programa para gestión energética enfocado al consumo eléctrico, se basa en un análisis del uso actual de la energía con el que, a partir de este conocimiento, se pueden tomar medidas concretas con el propósito de determinar posibilidades de ahorro y disminuir los consumos energéticos innecesarios sin que afecte a la producción y productos que ofrece la empresa.

Justificación e Importancia

La disminución del uso de energías cuyas fuentes son habituales se ha vuelto tendencia a nivel global, se tiene como enfoque principal aprovechar en todo sentido las fuentes renovables de energía.

La energía es un componente fundamental en la matriz energética no únicamente en Ecuador si no a nivel mundial, sin embargo, la falta de políticas y regulaciones que promuevan el ahorro de energía hace que la mayoría de las industrias no consideren el ahorro energético como una opción de optimización de gastos y aporte a la conservación del medio ambiente.

Diversos estudios muestran que tanto en establecimientos industriales como comerciales el uso de motores eléctricos mal dimensionados, ineficientes o sistemas de arranque inadecuados aumentan el consumo de energía eléctrica, de allí la importancia de un adecuado dimensionamiento de motores, debemos tomar en cuenta que el torque es proporcional a la potencia eléctrica, por otro lado, la implementación de sistemas electrónicos que limiten la corriente de arranque y el uso de motores eficientes conllevará a una reducción en las tarifa y demanda energética.

Servicios Integrados y Corporativos EMFALU Cía. Ltda. tiene la necesidad de administrar eficientemente de mejor manera el consumo de energía, para lo cual se tiene como prioridad el ahorro y gestión de la energía.

La energía eléctrica desempeña un papel muy importante dentro del progreso financiero y económico de cualquier pyme o industria. Las pymes se encuentran rezagadas en ciertos aspectos para aumentar la eficiencia energética por falta de información, de competencias y de recursos, es por ello que EMFALU Cía. Ltda., considerando que se encuentra dentro de las pymes, tiene la necesidad de ahorrar y gestionar la energía para reducir costos de producción, para ello se debe realizar una auditoría energética para hallar las deficiencias energéticas y acoger medidas de ahorro, es por ello que se debe tener en cuenta los siguientes aspectos para apuntar a alcanzar la eficiencia energética:

- Mejoras de los procesos productivos
- Ahorro de costes por optimización con respecto al uso de recursos
- Competitividad y rentabilidad en los mercados
- Huella positiva en el medio ambiente
- Mayor prestigio de la empresa (ConnectAmericas, 2015).

En definitiva, el presente programa de gestión energética tiene dos tipos de justificaciones: justificación técnica y justificación económica.

Para el caso de la justificación técnica, se obtendrá una propuesta para una mejor eficiencia energética haciendo enfoque en la calidad de la energía y los equipos que se encuentren en la empresa sin afectar a la producción y a las instalaciones para lo cual, si se toma las medidas de la propuesta, se obtendrá un ahorro en el consumo de energía. Por otro lado, se tiene a la justificación económica la cual se basa en una propuesta para la implementación de un programa de gestión energética que ayudará a

la empresa a reducir y optimizar el consumo de energía y con ello habrá un ahorro importante en el gasto económico por consumo de energía.

Alcance del Proyecto

Para efectuar una Propuesta para un Programa de Gestión Energética Inteligente, se realizará un análisis técnico – económico de la calidad de la energía eléctrica y el uso que se le da a la misma, a través de una auditoría energética en la que se pondrá mayor enfoque en los sectores de la empresa que conlleven un mayor consumo y de manera más puntual, a los equipos eléctricos que demandan mayor consumo de energía, es decir se realizará un análisis global de la empresa.

Para detectar los problemas que afecte a la calidad de la energía eléctrica, se procederá a realizar mediciones de parámetros eléctricos (tensión, intensidad de corriente, potencia activa, factor de potencia, energía consumida), todo ellos con la ayuda de un analizador de energía eléctrica. Realizar una valoración a los equipos eléctricos más característicos y que mayor energía consuman en EMFALU en los cuales se podrá definir sus características principales en el momento en el que se encuentren trabajando.

Realizar un estudio de iluminación para así determinar la calidad y nivel de iluminación en todos los sectores y áreas principales de la empresa.

En el presente trabajo, se planteará ciertas medidas que permiten optimizar la energía eléctrica destinada a la empresa EMFALU en los siguientes aspectos:

Para el ámbito tecnológico se propondrá el cambio de los equipos eléctricos por equipos eléctricos de alta eficiencia de ser el caso, analizar si es conveniente o no el uso de arrancadores, se implementará un software que permita visualizar el comportamiento de la gestión de la energía eléctrica.

En el ámbito de Gestión se debe optimizar los recursos de la empresa para así

poder producir el mismo producto de igual calidad, pero a un coste energético de menor cantidad.

En el otro aspecto se encuentra influenciar la concienciación como parte de la gestión energética el cual se verá involucrado el personal que trabaja en la empresa en las distintas áreas para usar la energía de una manera eficiente.

Ya culminado el presente proyecto, se tendrá un plan con una propuesta para implementar mejoras de eficiencia energética en el campo eléctrico y un análisis técnico – económico el cual debe justificar una inversión planificada en la empresa. Las normativas se deben basar en la establecida por la Empresa Eléctrica Quito.

Objetivos del Proyecto

Objetivo General

- Establecer un programa de ahorro y gestión energética para la empresa “Servicios Integrados y Corporativos EMFALU Cía. Ltda.”.

Objetivos Específicos

- Analizar los equipos eléctricos que se encuentren en la empresa, para así establecer las áreas de mayor consumo dentro de la empresa mediante la Auditoría Energética.
- Efectuar mediciones de los principales parámetros eléctricos para así establecer la calidad de la energía eléctrica de la empresa.
- Implementar un software que permita visualizar y analizar el comportamiento de la gestión de la energía en la empresa EMFALU.
- Analizar el impacto de los motores eléctricos durante su operación sobre el sistema eléctrico de la empresa, para establecer indicadores de eficiencia energética en los mismos.

Capítulo II

Marco Teórico

Calidad de la Energía Eléctrica y Principales Parámetros Eléctricos

La Calidad de la Energía Eléctrica representa un conjunto de características que permiten al producto y servicio eléctrico, cumplir con las expectativas de cada cliente (Morocho Quisaguano, 2019). Anteriormente la Resolución CONECEL 004/01 establecía los parámetros para la calidad de la energía, desde el 2015 la ARCONEL es la entidad sucesora del CONECEL por lo que se actualizó a la Resolución Nro. ARCONEL - 053/18 para determinar la calidad de energía eléctrica en el Ecuador. Si bien la Resolución anteriormente mencionada, establece parámetros para Nivel de voltaje, perturbaciones de voltaje, factor de potencia, entre otros, no se establece normas para todos los parámetros eléctricos, por lo que también se debe analizar normativas internacionales válidas en el Ecuador.

Análisis de Tensión

Los inconvenientes de estabilidad de tensión han recogido una atención particular durante los últimos años, muchas publicaciones exponen ventajas de una gestión, la jerarquía del problema y varios acontecimientos alrededor del mundo han evidenciado que este fenómeno puede tener serias consecuencias, como caída excesiva de la tensión o pérdida de la estabilidad transitoria, un sistema pasa a un estado inestable cuando una perturbación (aumento de carga u otro cambio del sistema) causa que la tensión caiga rápidamente y la acción de los operadores y los mandos del sistema automático no mejoran el nivel de tensión. El descenso de tensión puede durar desde unos segundos a varios minutos.

Es importante en los análisis de tensión determinar cómo y por qué ocurre el fenómeno, qué factores son los de mayor participación, cuáles son las áreas con

problemas de tensión y qué medidas son las más efectivas para evitar el colapso de tensión.

Según la Resolución ARCONEL - 053/18, en el caso del nivel de tensión, para estar dentro de la regulación vigente, se tiene las variaciones de tensión admitidas con respecto al valor de la tensión nominal, los límites para el índice de nivel de tensión se observan en la tabla 1.

Tabla 1

Límites para el índice de nivel de tensión

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje (Grupo 1 y Grupo 2)	±5.0 %
Medio Voltaje	±6.0 %
Bajo Voltaje	±8.0 %

Nota. Tomado de: (ARCONEL, 2018)

Según la Resolución ARCONEL - 053/18, en el caso del nivel de voltaje, para estar dentro de la regulación vigente, se tiene las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor de voltaje nominal, los límites para el índice de nivel de voltaje se observan en la tabla 1.

Es decir, si se analizara el voltaje nominal de 127 V, este no puede superar valores desde 137.16 ni tampoco tener valores inferiores a 116.84 que corresponde al ± 8.0 % admitido por dicha resolución.

Análisis de Factor de Potencia

El factor de potencia es la relación entre la potencia real (W) y la potencia aparente (kVA), esta relación indica cuanto realmente del total de la potencia consumida se convirtió en trabajo útil. De igual manera, el factor de potencia es un indicador del correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, este indicador puede tomar valores

entre 0 y 1, donde el valor de 1 representa el mejor aprovechamiento de la energía (Morocho Quisaguano, 2019).

Las causas y consecuencias de un bajo factor de potencia se las puede detallar en la tabla 2.

Tabla 2

Causas y consecuencias para llegar a tener un bajo factor de potencia

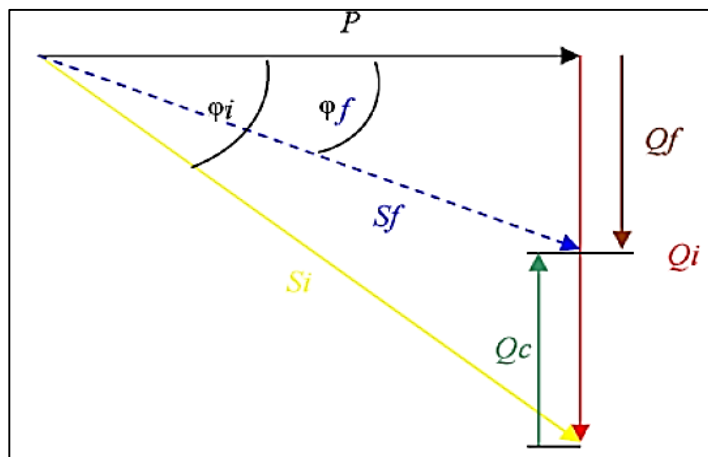
Causas	Consecuencias
<ul style="list-style-type: none"> • Defectuoso estado de la red eléctrica • Presencia de motores eléctricos en una cantidad considerable • Presencia de equipos de aire acondicionado y de refrigeración 	<ul style="list-style-type: none"> • Caídas de tensión • Disminución de la vida útil de equipos y conductores eléctricos • Reducción de la vida útil del aislamiento del conductor • Incremento de la intensidad de corriente • Aumento de la planilla eléctrica

Nota. Tomado de: (Morocho Quisaguano, 2019)

En el momento en el que el valor del factor de potencia sea menor a 0.92, la Empresa Eléctrica tendrá derecho a añadir al usuario una penalización en la planilla eléctrica mensual.

Por otro lado, cuando el valor del factor de potencia registrado en el periodo de consumo mensual sea inferior a 0,60, para cualquier tipo de consumidor con medición de energía reactiva, la distribuidora, previa notificación, tendrá la obligación de suspender el servicio de energía eléctrica hasta que el consumidor adapte sus instalaciones con el objetivo de superar dicho valor límite (ARCONEL, 2019).

En la figura 3 se puede apreciar el triángulo de potencia en el cual la potencia reactiva Q_c es necesaria para dimensionar el sistema de corrección del factor de potencia.

Figura 3*Triángulo de potencia*

Nota. Tomado de: (Llumiuinga Loya, 2012)

“Donde:

P : Potencia activa [W]

Q_i : Potencia reactiva inductiva inicial [VAr]

S_i : Potencia aparente inicial [VA]

φ_i : ángulo inicial

Q_c : Potencia reactiva capacitiva [VAr]

Q_f : Potencia reactiva inductiva final [VAr]

S_f : Potencia aparente final [VA]

φ_f : ángulo final corregido” (Llumiuinga Loya, 2012, p. 17).

Según la figura 3, el ángulo de fase inicial φ_i corresponde al valor del ángulo que posee actualmente en un sistema eléctrico con bajo factor de potencia y el ángulo de fase final φ_f corresponde al factor de potencia al que se desea alcanzar.

Para obtener el valor de potencia Q_f , se debe restar la potencia Q_i de la potencia Q_c , la cual es suministrada por los condensadores trifásicos, basándose en la figura 3,

se realiza el análisis del triángulo de potencia para encontrar la capacidad de condensadores que requiere para mejorar el factor de potencia, entonces se tiene:

$$Q_i = P * \tan \varphi_i$$

$$Q_f = P * \tan \varphi_f$$

$$Q_c = Q_i - Q_f$$

$$Q_c = P * \tan \varphi_i - P * \tan \varphi_f$$

$$Q_c = P * (\tan \varphi_i - \tan \varphi_f) \quad (2.1)$$

Otra de los parámetros a tomar en cuenta con respecto al factor de potencia, son las pérdidas en los conductores que esto conlleva, estas pérdidas están atribuidas al calor que se genera en una resistencia en el momento que una corriente circula por ella, también es conocido como Efecto Joule y este presenta una potencia que se pierde por el calor que es producido por la resistencia interna de cada conductor (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019), en este caso se considera al conductor que va desde la acometida comprendidas entre el transformador hasta el tablero principal de distribución.

Para calcular la potencia que se pierde perdida se tiene la siguiente fórmula:

$$P = I^2 \times R \quad (2.2)$$

Donde:

P: Potencia perdida

I: Corriente promedio en el conductor

R: Resistencia del conductor medido en (Ω /Km)

La reducción de las pérdidas (Δp), una vez realizada la compensación de la potencia reactiva por bajo factor de potencia, viene dada por:

$$\Delta p = p_1 \left[1 - \left(\frac{\cos \theta_1}{\cos \theta_2} \right)^2 \right] \quad (2.3)$$

Donde:

p_1 : significa las pérdidas antes de la corrección del factor de potencia

$\cos \theta_1$: viene dado por el factor de potencia antes de la corrección del mismo

$\cos \theta_2$: viene dado por el factor de potencia después de la corrección del mismo

(Garza, Martínez, & Ramón, 2012).

La corrección del factor de potencia genera grandes beneficios en la instalación eléctrica entre los cuales se tiene:

- Incremento de la vida útil de las instalaciones de la empresa
- Reducción de pérdidas en los conductores
- Disminución del costo de su facturación de energía eléctrica
- Disminución de las pérdidas de las caídas de tensión
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores (Bazail, 2017).

Análisis de THD (Distorsión Armónica Total)

La cantidad de armónicos presentes en un sistema eléctrico se miden mediante el valor THD (Total Harmonic Distorsion). El exceso de armónicos conlleva a inconvenientes como, por ejemplo: disparo imprevisto de interruptores termomagnéticos, caída del FP (factor de potencia), sobrecalentamiento de conductores, entre otros. Es trascendente examinar y determinar las características más importantes de la energía que será adjudicada por el sistema eléctrico, las cuales

pueden operar de modo inapropiado debido a una fuente de provisión eléctrica con gran cantidad de armónicos.

La Distorsión Armónica Total (THD) es un índice el cual cuantifica la cantidad de distorsión en la forma de onda de corriente o voltaje. Según la normativa IEEE 519-1992, se define como la relación entre la raíz cuadrada de la suma de las magnitudes de todos los armónicos y su magnitud fundamental, expresada en porcentaje (IEEE 519, 1992).

Análisis de Carga

Los análisis de carga en el sector industrial y comercial favorecen al ahorro energético, también contribuye a mejorar la seguridad de la distribución de alimentación eléctrica. Según (FLUKE, 2013):

Los análisis y el estudio de la carga y potencia instalada es una partida de información de gran beneficio para pymes e industrias consumidoras de energía eléctrica en lo que a rendimiento, seguridad y beneficios hace referencia. Gracias al análisis de la carga instalada, se puede establecer si el sistema eléctrico de una pyme o industria puede admitir cargas nuevas, comprobar la capacidad del sistema eléctrico, distribuir de manera correcta la carga entre las tres fases, efectuar un seguimiento del factor de potencia y conocer el consumo de energía eléctrica antes y después de las mejoras implantadas para argumentar de esta forma las acciones adoptadas para el ahorro energético.

Demanda y Consumo

La demanda significa la cantidad de energía la cual se necesita en un momento determinado y se mide en kilovatios (kW). Se determina a partir del consumo de energía de uno o varios equipos eléctricos y corresponde al valor promedio de potencia eléctrica tomado en un intervalo de 15 minutos, pese a que su unidad de medida es la misma que la potencia eléctrica, la metodología para hallar este valor es distinto ya que la

potencia eléctrica corresponde a un valor instantáneo en un momento determinado.

Por otro lado, el consumo o energía es la cantidad de energía que se utiliza en el transcurso de un periodo de tiempo determinado la cual se mide el kilovatio-hora (kWh), está relacionada de manera directa con la producción y con las horas de operación de las máquinas y equipos eléctricos de una empresa o los equipos electrónicos de una residencia (CNFL, 2015).

Eficiencia Energética

La Eficiencia Energética se la puede definir como la práctica empleada durante el uso de la energía que tiene como objetivo principal la reducción del consumo de energía en la cual se conserva los idénticos servicios energéticos sin disminuir la calidad de vida y el confort, protegiendo al medio ambiente y promoviendo un comportamiento razonable de su uso (AIDIMA, 2011).

Existen factores que favorecen a la eficiencia energética en industrias como lo son:

- Tecnología actual
- Cultura acerca de eficiencia y gestión energética
- Sobredimensionamiento e infra dimensionamiento de equipos

Para el sector industrial, la eficiencia energética tiene objetivos el de reducir los costos de producción, cumplir las exigencias ambientales, mejorar la competitividad global, entre otros (Ministerio de Minas y Energía, 2007), los usuarios comerciales e industriales de igual manera pueden inclinarse hacia la eficacia y maximizar así su beneficio, teniendo como punto clave los antecedentes a la eficiencia energética para así disminuir costos y tener una responsabilidad con el medio ambiente (Vintimilla Cordova & Paladines Eras, 2012).

Eficiencia Energética en Pequeñas y Medianas Empresas

La Gestión Energética también es para las PYMES, si bien los proyectos y programas de eficiencia energética en su gran mayoría son dedicadas hacia las industrias, en los últimos años se ha impulsado que las pymes tengan acceso a la eficiencia energética ya que, si bien de forma individual no consumen grandes cantidades de energía, de forma colectiva su demanda energética es representa un gran consumo.

En el continente europeo, hay mucha decisión e culminaciones para la eficiencia energética en las pymes, pero se tuvo y aún se tiene numerosas dificultades que les imposibilita adoptar alternativas para la eficiencia energética. Según información del Observatorio Europeo de las pymes, menos del 30% en el continente europeo han realizado medidas de disminución energética y apenas el 4% tiene un plan global de eficiencia en sus empresas. El Artículo 8 de la Directiva Europea de Eficiencia Energética requiere que los estados miembros "fomenten la realización de auditorías" en las pymes, a pesar de este artículo, no se ha ejecutado dichas auditorías (DEXMA, 2016).

En Latinoamérica, uno de los países que impulsan más la eficiencia energética es México, pero de igual manera que en Europa, se han encontrado con obstáculos al momento de implementar este tipo de acciones, según (Robles López, Torres Hernández, & Robles López, 2016), en un análisis se pudo confirmar que los problemas para que las pymes acceda a programas de eficiencia energética son, entre otras:

- El mantenimiento en el o los equipos no es de forma habitual
- La desinformación
- Costos altos de inversión
- La una falta de controles para regular el consumo de energía

- Falta de fuentes oficiales de información

Al momento de hacer énfasis sobre el mismo tema hacia las pymes es muy limitado, existe un estudio realizado en el año 2013 denominado “Estado de la Eficiencia Energética en Ecuador: Identificación de Oportunidades y Cuantificación de Inversiones” en la cual se enfoca en la implantación de la norma ISO: 50001 en las industrias que permitirá la mejora sistemática de la gestión de la energía en la que se consigue la reducción de consumo energético, esto llevará a las disminución de los costes de operación y de las emisiones de gases de efecto invernadero vinculadas a las fuentes energéticas, por lo cual, cualquier inversión en esta línea obtiene un retorno económico. La gran mayoría de las industrias y/o pymes son permisibles clientes para implementar la ISO 50001 (Dirección de Análisis y Estrategia de Energía DAEE, 2016).

Se debe tener en cuenta que, al momento de referirse a las pymes, se involucra directamente el sector comercial, ya que la gran mayoría de pymes pertenecen a este sector, por ello, en el Plan Maestro de Electrificación 2013 – 2022 de Ecuador menciona en el plan de eficiencia en clientes comerciales, optimizar el consumo a través de las diferentes líneas, es por esto que se involucra directamente a los importantes usos finales de la energía eléctrica dentro de esta clase que son: la refrigeración, la climatización, y la iluminación (CONELEC, 2013).

Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica

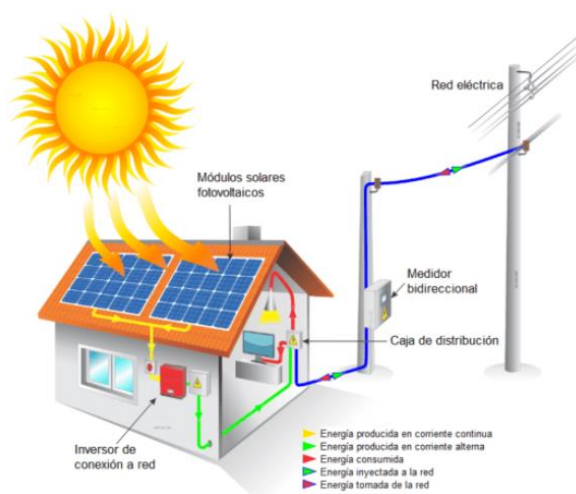
La Energía Renovable en el Ecuador está en incremento en los últimos años, hace algunos años la ejecución de fuentes de energía renovables, como, por ejemplo, la energía solar fotovoltaica, significaba una inversión demasiado costosa y su retorno tomaba muchos años. Actualmente en el Ecuador está vigente la Regulación Nro. ARCONEL – 003/18, la cual, mediante el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, promueve el uso de tecnologías de características limpias y energías

alternativas, lo cual se sustenta el aprovechamiento de los varios recursos renovables de energía.

Esta regulación que se denomina “Generación fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica”, tiene como principal objetivo, establecer las condiciones adecuadas para la implementación, desarrollo y participación de usuarios (consumidores) que se abastezcan con sistemas de microgeneración fotovoltaica de hasta 100 kW de capacidad nominal instalada, estos sistemas se ubican en techos de viviendas, superficies elevadas o edificaciones para las categorías residencial y comerciales, además deben detallar en su pliego tarifario como clientes de bajo o medio voltaje. Este sistema, como se indica en la figura 4, debe operar en sincronismo con la red eléctrica de la empresa distribuidora, la producción es autoconsumida por las mismas instalaciones comerciales o residenciales y en caso de existir eventuales excedentes de energía, se los inyecta a la red de distribución (ARCONEL, 2018).

Figura 4

Sistema de microgeneración fotovoltaica “ON GRID”



Nota. Tomado de: (SOLARTIK, s.f.)

Evolución del Estándar de Gestión Energética

Gestión de Energía mediante monitoreo de Energía

La gestión energética se define como la efectiva utilización de energía para aumentar las ganancias o reducir el costo de energía por unidad para una organización. Esta estrategia es implementada estableciendo los procedimientos para minimizar la energía, cumple con los requisitos por unidad de los sistemas. El objetivo primordial de la gestión energética es:

- Lograr una utilización óptima de la energía en toda la organización
- Minimizar el costo de energía por unidad o desperdicio de energía sin afectar calidad y producción
- Minimizar los efectos ambientales.

Normativa Ecuatoriana Referente a Eficiencia Energética

Ante una gran demanda de la energía eléctrica en el país se requiere de leyes y normas las cuales regulen y normalicen el uso eficiente y sostenible de la energía en el país ecuatoriano. Por ello se tiene los artículos más representativos de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética como:

- Art 5. Sistema Nacional de Eficiencia Energética.
- Art 8. Funciones del Comité Nacional de Eficiencia Energética (CNEE)
- Art 13. Eficiencia Energética en la Construcción.

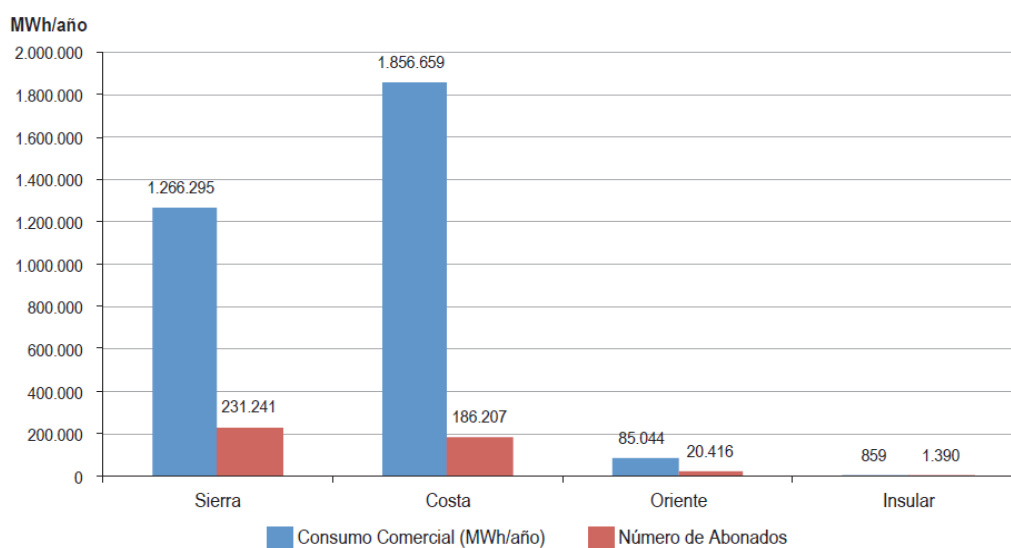
Igualmente, según (CONELEC, 2013) el sector comercial, significó en el año 2012 el 20% de la demanda de energía a nivel nacional, su progreso de evolución está profundamente relacionado al crecimiento económico del país.

Se procede a identificar el consumo de energía de clientes comerciales del sector eléctrico ecuatoriano tanto costa, sierra, oriente y región insular, esta gráfica

consta del consumo industrial al año referente al número de abonados tal como se muestra a continuación en la figura 5:

Figura 5

Consumo de Energía Eléctrica y número de usuarios comerciales



Nota. Tomado de: (CONELEC, 2013)

El MEER (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable), planifica la eficiencia energética, en el sector residencial, comercial e industrial, con miras a mejorar su competitividad y reducir las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), se encuentra efectuando el Proyecto Eficiencia Energética en la Industria colectivamente con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) (CONELEC, 2013).

En marzo de 2012 el INEN implementó oficialmente la norma ISO 50001 “Sistemas de Gestión de la Energía, Requisitos con Orientación Para su Uso”, un aspecto importante para la eficiencia energética es que el Ecuador adopte un estándar

nacional para la implementación de la energía, compatible con la norma ISO 50001. Este estándar debe ser implementado por las empresas distribuidoras industriales y comerciales (CONELEC, 2013).

Sector Industrial, Comercial y la Gestión Energética

La gestión energética en el sector empresarial ha tomado una gran notabilidad para la competencia de las organizaciones innovadoras, esto se debe a su relación con la mejora de la productividad, pues una aceptable gestión energética permite a las empresas recortar los consumos, conseguir mayor eficiencia en su manejo y obviamente en su competitividad.

La experiencia a nivel mundial en la ejecución de programas para el uso eficiente de energía en el sector industrial, ha demostrado que no es la infraestructura o actualización de la tecnología derivada, más bien es la inadecuada gestión y en la gestión de estos recursos (Pérez Tristancho & Vera Méndez, 2012).

Para las industrias y para las empresas en general el uso de un plan de eficiencia energética genera beneficios como una gran reducción en costos de electricidad, una mayor competitividad, además de una más eficiente productividad y esto representa un alza en las ganancias de la empresa o de la industria.

Eficiencia Energética en Sistemas de Iluminación Industrial

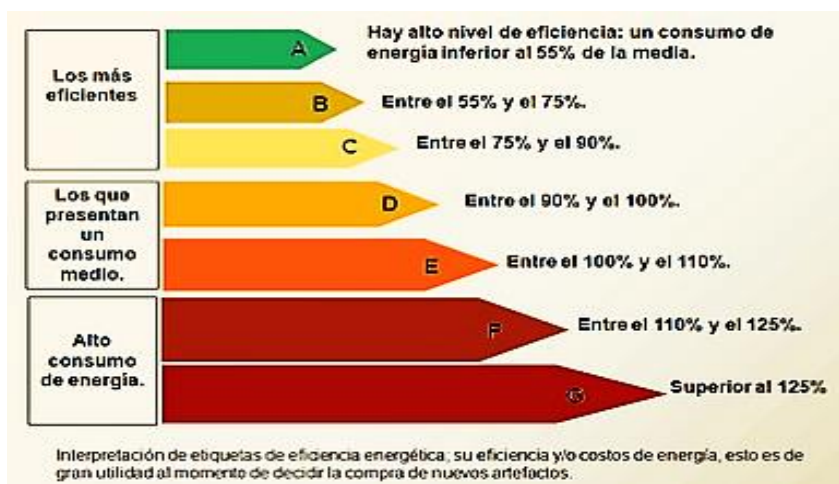
La normativa obligatoria respecto a la eficiencia energética en sistema de iluminación, según (MEER, s.f.) indica que el reglamento RTE INEN 036 es el reglamento preciso a efectuar en sistemas de iluminación en un esquema eléctrico. Además, normaliza las importaciones para que se permita la exposición en el mercado de lámparas fluorescentes compactas marcados con las jerarquías de desempeño energéticos A y B.

La verificación de etiquetado constará con 7 barras las cuales se deben identificar por colores en ellas se detallarán la eficiencia del producto a consumirse

como se detalla en la figura 6:

Figura 6

Etiqueta de Eficiencia Energética



Nota. Tomado de: (MEER, s.f.)

En la siguiente tabla se observa una comparativa de eficiencia energética lumínica (Con envoltente y Sin envoltente).

Para elegir un tipo de lámpara en un establecimiento comercial o industrial, es necesario conocer las características de cada una de ellas, se necesita seleccionar la lámpara que más se acerque a las exigencias de cada usuario, con mayor rentabilidad y consuma la menor opción de energía. En la tabla 3 se detalla las lámparas más importantes:

Tabla 3

Detalle de los tipos de lámparas más importantes

Tipo de Lámpara	Eficacia (Lm/W)	Vida útil (Horas)	Reproducción cromática Ra	Gama Potencias (W)
Incandescente Estándar	10-17	1000	100	15-2000
Halógena	16-25	2000	100	20-2000
Fluorescente	40-104	8000-12000	60-95	6-65
Fluorescente Compacta	50-87	6000-10000	80	5-200
Vapor Sodio Alta Presión	80-120	8000-16000	20	33-1000
Vapor Sodio Baja Presión	100-200	10000	0	18-180
Vapor de Mercurio	36-60	12000-16000	45	50-400
Vapor de Mercurio con Halogenuros	58-88	5000-9000	70-95	70-3500
Inducción	65-72	60000	80	55-85
LED	70-100	50000-90000	60-80	3-100

Nota. Tomado de: (OptimaGrid, 2017)

Como se puede observar en la tabla 3, las Lámparas fluorescentes compactas (LFC) y las Lámparas LED poseen características importantes como la eficacia, la vida útil y su potencia, por lo que son muy demandados para su uso en las diferentes industrias y locales comerciales, adicionando también su bajo costo.

Eficiencia Energética en Motores

Para determinar la eficiencia energética en motores existen normas y

regulaciones las cuales permiten un mejor uso de estas máquinas eléctricas, una de ellas es el Reglamento Técnico Ecuatoriano ya que se caracteriza por aprobar y oficializar leyes o normas sobre eficiencia energética.

Este reglamento de eficiencia energética en motores eléctricos será aplicado para motores eléctricos de inducción como son motores de corriente alterna, monofásicos, tipo jaula de ardilla, enfriadores con aire con una potencia nominal de 0.18 kW hasta 1.5 kW de una sola rotación, y de 2, 4, 6 polos, también motores de fase partida o capacitores de arranque, abierto y cerrado, motores como bombas, ventiladores, compresores, convertidores (RTE INEN, 2017).

Requisitos para Eficiencia Energética en Motores.

Estos productos basados al reglamento técnico ecuatoriano deberán cumplir con los requisitos de la norma IEC 60034-1.

Los requisitos para la eficiencia energética en motores se basarán en las normas IEC 60034-2-1 e IEC 60034-30-1 o Norma NTE INEN 2498 (RTE INEN, 2017).

Según la norma INEN 2498 detalla que la eficiencia se define como una relación entre potencia de salida y potencia de entrada de un motor eléctrico, la cual se expresa en porcentaje y se la calcula de las siguientes maneras:

$$\frac{POTENCIA DE SALIDA}{POTENCIA DE ENTRADA} \times 100 \quad (2.1)$$

$$\frac{POTENCIA DE ENTRADA - PERDIDAS}{POTENCIA DE ENTRADA} \times 100 \quad (2.2)$$

$$\frac{POTENCIA\ DE\ SALIDA}{POTENCIA\ DE\ SALIDA + PERDIDAS} \times 100 \quad (2.3)$$

Eficiencia Nominal

Este valor es el que se indica en la placa de características o de datos informativa de un motor eléctrico.

En la tabla 4 se indica los valores de eficiencia Nominal para ciertos Motores Eléctricos Trifásicos, con tensión nominal con límite de 600V, estos datos se encuentran en porcentaje según la norma INEN 2498.

Tabla 4

Valores de eficiencia Nominal destinado a Motores Eléctricos Trifásicos, con tensión nominal de con límite de 600 V

Potencia Nominal (kW)	Motor de Inducción Trifásico			
	2 polos	4 polos	6 polos	8 polos
0.746	75.5	82.5	80.0	74.0
1.119	82.5	84.0	85.5	77.0
1.492	84.0	84.0	86.5	82.5
2.238	85.5	87.5	87.5	84.0
3.730	87.5	87.5	87.5	85.5
5.595	88.5	89.5	89.5	85.5
7.460	89.5	89.5	89.5	88.5

Nota. Tomado de: (NTE INEN 2 498:2009, 2009)

Factor de Carga

El factor de carga en un motor se define como un índice que muestra la potencia que entrega el motor el momento que se encuentra en operación con relación a la que puede permitir, así, por ejemplo, un motor trifásico con potencia nominal de 10 hp que trabaja entregando solamente 5 hp, está trabajando al 50% (FIDE, 2010).

$$\text{Factor de carga} = \frac{\text{Potencial Real Entregada}}{\text{Potencia de placa del motor}} \quad (2.4)$$

Levantamiento de Carga en Instalaciones Eléctricas

Para el levantamiento de cargas se especifica que es un estudio en la cual se verifican todas las cargas que el usuario implemente en un diseño eléctrico tal sea comercial, residencial o en la industria, se registra todos los dispositivos eléctricos a efectuarse cumpliendo absolutamente con los requerimientos del consumidor para que así se realice un diseño eléctrico convincente, selectivo y seguro (Andrade Valarezo, 2016).

Adicionalmente si el consumidor requiere modificaciones de las cargas implementadas (ARCONEL, 2017) afirma que: Cuando un consumidor estime la incorporación de nueva carga en sus instalaciones; la misma que cause que la demanda total de dicho consumidor sea superior a la demanda de carga declarada en el contrato de suministro, deberá tramitar el incremento de demanda declarada ante la distribuidora.

Auditoría Energética

La auditoría energética es un análisis en el cual se detalla cómo y dónde se utilizan los diferentes tipos de energía en una instalación (vivienda, edificio, comercio, industria, entre otros), esto con el objetivo de utilizarla de manera eficiente y racional. Mediante una auditoría energética se consigue entender cómo se utiliza y distribuye la energía en una industria o pyme y a raíz de ello, identificar los costos incorporados, asemejando las áreas en las que se pueden presentar pérdidas y en donde es posible realizar mejoras (Ministerio de Minas y Energía, 2007).

Beneficios de una Auditoría Energética

A continuación, se enlistan los principales beneficios de una auditoría energética.

- Disminuir los costos energéticos.
- Tener conocimiento a través del diagrama unifilar, la distribución de las cargas eléctricas de los principales equipos eléctricos y sectores de la empresa.
- Optimizar la eficiencia energética a través del conocimiento de los consumos y cargas en la empresa.
- Analizar la posibilidad de tener herramientas de registro que den en tiempo real la información de los consumos energéticos.
- A través del análisis de la potencia y el factor de carga, se debe estimar el potencial de ahorro.
- Tener conocimiento de la capacidad requerida del banco de condensadores precisos para evitar el consumo de energía reactiva en una empresa.
- A través de las mediciones verificadas, tener conocimiento del estado en que se encuentra la red eléctrica que llega al consumidor.
- Procesar el plan de acción de ahorro de energía eléctrica.

Auditoría Eléctrica

La Auditoría Eléctrica es un medio que se basa en una investigación, análisis y estudio de los flujos energéticos en una fábrica edificio, pyme u otro tipo de establecimiento, lo que se necesita es lograr un conocimiento admisible de las mediciones de los principales parámetros eléctricos en una industria o pyme, detectando y dando a conocer las alternativas de ahorro energético desde el punto de vista financiero y técnico. Si se desea controlar los costos de energía en una institución o empresa, la auditoría eléctrica es un segmento elemental para la administración energética. (Vintimilla Cordova & Paladines Eras, 2012)

Objetivos de una Auditoría Eléctrica

En la etapa previa para la realización de la auditoría eléctrica, se debe conocer los objetivos que se deben tener en cuenta en este procedimiento:

- Adquirir un conocimiento eficaz de los consumos energéticos
- Mejorar el suministro de energía
- Optimizar la contratación de la energía eléctrica de parte de la empresa abastecedora
- Identificar el coste energético de la instalación
- Revelar, examinar y estimar las alternativas de ahorro y de mejora de la eficiencia energética de la empresa
- Identificar los sitios en los cuales existen pérdidas energéticas (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019).

Ventajas de una Auditoría Eléctrica

La energía en un establecimiento ya sea en una industria o pyme, simboliza una necesidad ineludible para su labor día a día, aunque su uso debe ser de manera recomendable y considerada, para así hallar los sitios en los cuales se pueda obtener un ahorro, para la economía de la empresa también representa un beneficio importante, entre los cuales se puede indicar otros tipos de beneficios o ventajas:

- La competitividad de la empresa presenta una mejora
- Existe la optimización en el consumo de la energía
- Aumento en la vida útil de los equipos eléctricos de la empresa
- Disminución del consumo de energía eléctrica (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019).

Aspectos Importantes para una Auditoría Energética***El Camino a través de la Auditoría***

Incluye la evaluación de datos de consumo de energía para analizar las

cantidades de uso de energía y patrones, así como proporcionar comparaciones con la industria promedios o puntos de referencia para instalaciones similares (Chacón Cordero, 2015). Puede producir una estimación preliminar de ahorro potenciales y sugieren oportunidades de ahorro de costos a través de mejoras en las prácticas operativas y de mantenimiento

Auditoría Estándar

La auditoría estándar es un proceso más detallado. Incluye un análisis de equipos, sistemas y sus características operacionales. Esto se lleva a cabo a través de algunas mediciones y pruebas in situ para cuantificar el uso de energía y la eficiencia energética de varios sistemas (Chacón Cordero, 2015). Se realizan cálculos estándar para formular ahorros de costes basados en mejoras y cambios en los sistemas.

Evaluación Económica para Alternativas de Ahorro Energético

Si se necesita saber si un proyecto de cualquier índole, en este caso de eficiencia energética, es adaptable o financieramente viable examinando los factores tanto internos como externos, se debe realizar una evaluación ante tal proyecto.

Los proyectos de eficiencia energética frecuentemente se comparan con otros proyectos que presentan una menor inversión inicial, careciendo de un análisis más detallado de los factores que deben analizarse como:

- Escasa durabilidad
- Un alto consumo de energía
- Mayores costes de operación
- Eficiencia relativamente baja
- El uso y utilización de dispositivos y materiales de baja calidad (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019).

Para realizar un análisis económico, se tiene indicadores financieros como: VAN (valor actual neto), TIR (tasa interna de retorno) y PSR (periodo simple de

recuperación).

Valor Actual Neto (VAN)

El Valor Actual Neto o Valor Presente Neto, (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019) afirma que es un indicador que significa, en valor vigente, la dimensión absoluta de la diferencia entre los datos de ingresos y egresos de un flujo de fondos. Para calcular el VAN se usa la ecuación 2.8.

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} \quad (2.8)$$

$$= -I_0 + \frac{F_1}{(1+k)} + \frac{F_2}{(1+k)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+k)^n}$$

- VAN >0: el valor restablecido de las cobranzas y cancelaciones en un futuro de la inversión, a la tasa de rebaja electa creará beneficios futuros.
- VAN=0: el proyecto de inversión no creará ni beneficios ni pérdidas.
- VAN<0: el proyecto de inversión creará pérdidas.

Donde:

F_t : son los flujos de capital en cada periodo t

I_0 : es la inversión elaborada en el momento inaugural (t=0)

n: es el número de etapas en el tiempo

k: es el tipo de rebaja o tipo de interés requerido a la inversión

Tasa Interna de Retorno (TIR)

La Tasa Interna de Retorno según (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019): Es una tasa anual que calcula los beneficios forjados por una inversión en un etapa de tiempo expreso. La TIR de inversión debe ser superior al costo del capital para que el proyecto sea ejecutable mediante la inversión.

Para calcular la TIR se usa la ecuación 2.9.

$$\begin{aligned}
 -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} & \quad (2.9) \\
 & = -I_0 + \frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} \\
 & = 0
 \end{aligned}$$

Tabla 5

Decisiones a tomar de acuerdo al TIR

Parámetros respecto al TIR y la rentabilidad de un proyecto	
TIR ≥ r	Se admitirá el proyecto, por la razón de que el proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida o también llamado, costo de oportunidad.
TIR < r	Se rechazará el proyecto ya que el proyecto proporciona una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima pretendida.

Nota. Tomado de: (Muñoz Saona & Vergara Reyes, 2011)

Donde:

F_t: son los flujos de dinero en cada periodo t

I₀: es la inversión realizada en el momento inicial (t=0)

n: es el número de periodos en el tiempo

r: rentabilidad mínima requerida

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

El periodo simple de recuperación (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019) afirma que es una forma espontánea de hallar el tiempo en el cual se va a recuperar la inversión de un proyecto. Se calcula utilizando la ecuación 2.10 descrita a continuación:

$$PSR = \frac{\textit{Inversión Inicial}}{\textit{Ahorro o Ganancia Anual}} \quad (2.10)$$

Este valor se lo analiza en años y simplemente se concluye el tiempo en años en los cuales la inversión va a ser recuperada.

Capítulo III

Análisis de la Condición Actual del Sistema Eléctrico de la Empresa EMFALU

Auditoría Energética en la Empresa “EMFALU Cía. Ltda.”

Identificación Del Proceso Productivo y/o Áreas Principales

La empresa EMFALU es una PYME que vende tableros de madera y accesorios para realizar muebles en general y para carpintería. (Ludeña Granja, 2017)

El proceso productivo de EMFALU se basa en tres aspectos: Diseño, Producción y Distribución.

Diseño: Consiste en el pedido del cliente hacia los diferentes productos que ofrece la empresa, si bien puede ir desde la elección de tableros de madera enteros, hasta tableros de madera con varias y diferentes medidas, para lo cual entra en cuestión la modulación de la madera, es decir un programa especializado para mejorar los cortes de los tableros y alcanzar un pequeño desperdicio y mayor producción del material. (EMFALU, s.f.), el cliente también puede elegir en su pedido el corte, laminado, bisagrado y el transporte del material si así lo requiere.

Producción: Esta sección del proceso productivo de la empresa se trata de la transformación del producto o de definir los pormenores del servicio, para lo cual, una vez atendido el diseño, se procede a realizarlo según los parámetros impuestos por el cliente, para ello, se tiene los principales servicios de la empresa que son:

- Corte
- Laminado
- Bisagrado

Distribución: Consta en la entrega del producto final al cliente, ya sea en la misma empresa o mediante pedidos de transporte de los productos. En esa sección también se debe tomar en cuenta la acción de colocar en el mercado el resultado de la

producción, que puede ser mediante publicidad, por ejemplo, mediante sus mostradores o vendedores especializados y capacitados quienes tienen el trabajo de visitar los diferentes puntos de venta para promocionar y exhibir el producto. (Promonet Comunicaciones S.L., 2018)

Figura 7

Áreas principales de EMFALU Sangolquí

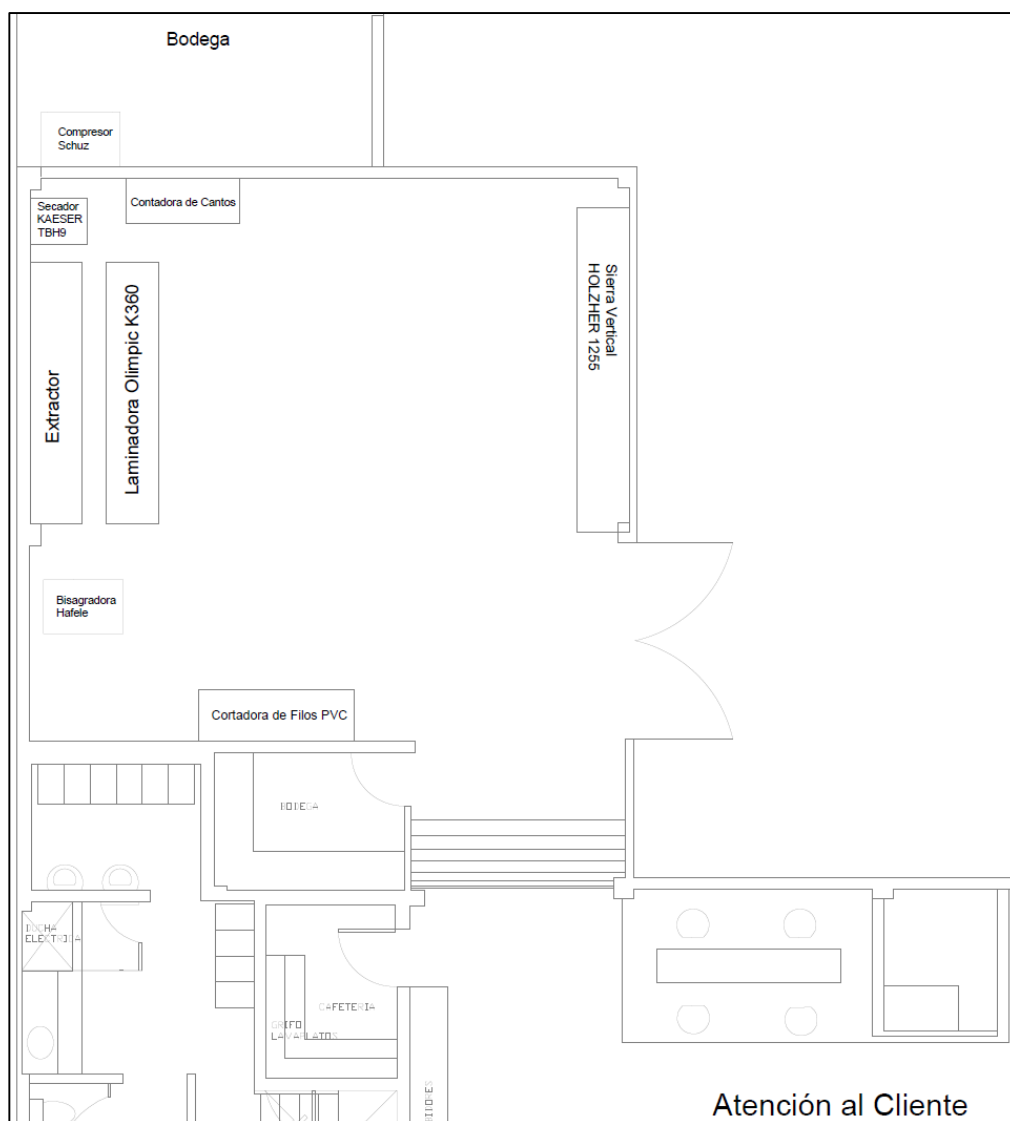


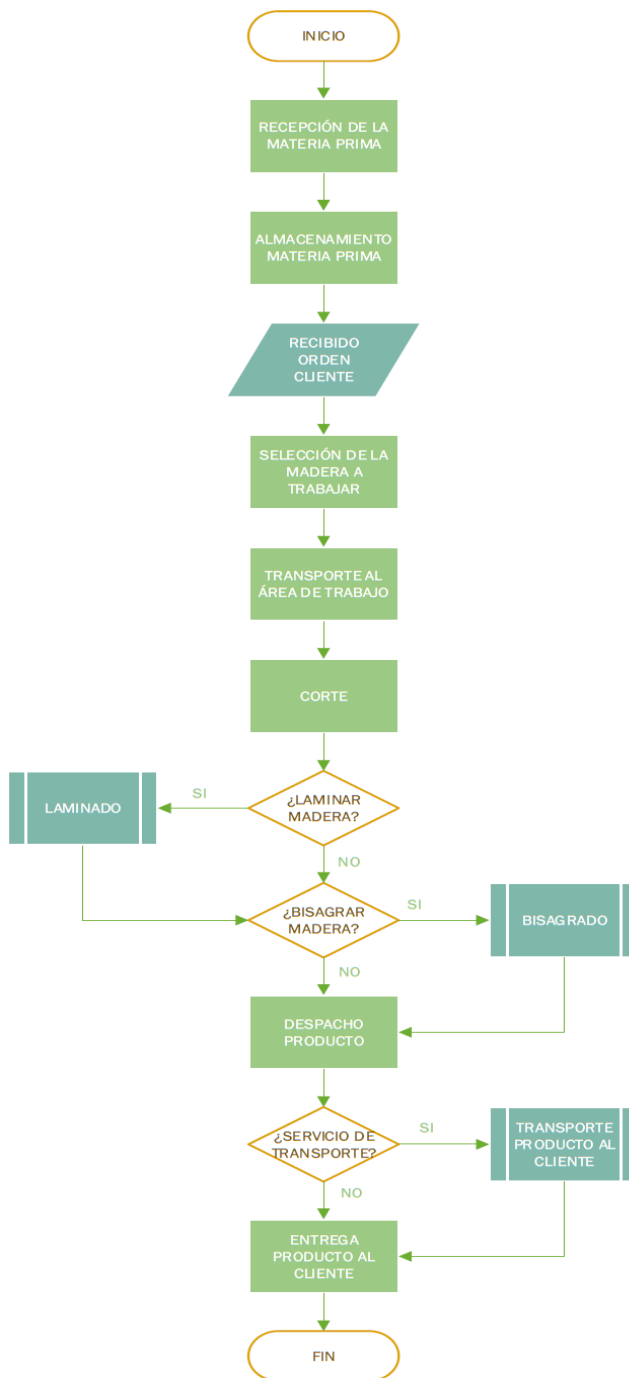
Figura 8

Áreas principales de EMFALU San Rafael



Figura 9

Diagrama de flujo del proceso productivo de EMFALU



Identificación de la Capacidad Instalada y Horas de Operación

Capacidad Instalada en EMFALU SANGOLQUÍ. EMFALU Sangolquí posee un abastecimiento de un transformador trifásico, está ubicado en torre y tiene una capacidad de 50 kVA.

Las características del transformador se muestran en la tabla 6.

Tabla 6

Características transformador EMFALU Sangolquí

Especificación	Característica
Montaje	Transmisión Aéreo
Marca	INATRA
Fecha de fabricación	Septiembre, 2011
Potencia	50 [kVA]
Tensión [AT]	22.8 [kV]
Tensión [BT]	220 / 127 [V]
Corriente Nominal Secundaria	131 A
Frecuencia	60 [Hz]

Figura 10

Transformador EMFALU Sangolquí



Capacidad Instalada en EMFALU San Rafael. Por otro lado, EMFALU San Rafael posee abastecimiento subterráneo de un transformador trifásico el cual tiene una capacidad de 300 kVA, considerando que este transformador suministra y pertenece a varios locales comerciales cercanos a la empresa.

Las características del transformador se muestran en la tabla 7.

Tabla 7

Características transformador EMFALU San Rafael

Especificación	Característica
Montaje	Transmisión Subterráneo
Marca	ECUATRANS
Potencia	300 [kVA]
Tensión [AT]	22.8 [kV]
Tensión [BT]	220 / 127 [V]
Frecuencia	60 [Hz]

Figura 11

Acometida subterránea hacia el transformador de EMFALU San Rafael



El personal que trabaja en EMFALU, tanto en Sangolquí como en San Rafael laboran desde las 8h00 hasta las 18h00, especificando que en la noche no se realiza

ningún tipo de trabajo en las instalaciones.

Facturación Eléctrica en “EMFALU Cía. Ltda.”

EMFALU Cía. Ltda. cuenta con dos suministros, uno en cada instalación y lugar respectivo:

- EMFALU Sangolquí: Este suministro se encuentra con una tarifa de Baja Tensión Comercial con Demanda Horaria.
- EMFALU San Rafael: Este suministro se encuentra con una tarifa de Baja Tensión Comercial (actualmente se está facturando con una tarifa de Baja Tensión Comercial con Demanda previo a las especificaciones realizadas por la Empresa Eléctrica Quito).

Consumo de Energía Eléctrica Mensual EMFALU Sangolquí – Energía Consumida Tarifa asignada a EMFALU Sangolquí.

Tabla 8

Costo de la energía y potencia del suministro de EMFALU Sangolquí

Horario	Energía (USD/kWh)	Demanda (USD/kW-mes)
08h00 – 22h00	0,088	
22h00 – 08h00	0,070	4,182

Nota. Tomado de: (ARCONEL, 2019)

Se presenta en el Anexo 1 el documento para tarifa de Baja Tensión Comercial con Demanda Horaria de la ARCONEL.

Energía Consumida

Energía Consumida del Año 2019 en EMFALU Sangolquí. En la tabla 9 se indica el consumo de energía en EMFALU Sangolquí del año 2019 y el costo respectivo

por el consumo de energía en los tres horarios correspondientes detallados en la planilla de la Empresa Eléctrica Quito.

Tabla 9

Detalle de consumo mensual de energía eléctrica 2019 del suministro “EMFALU

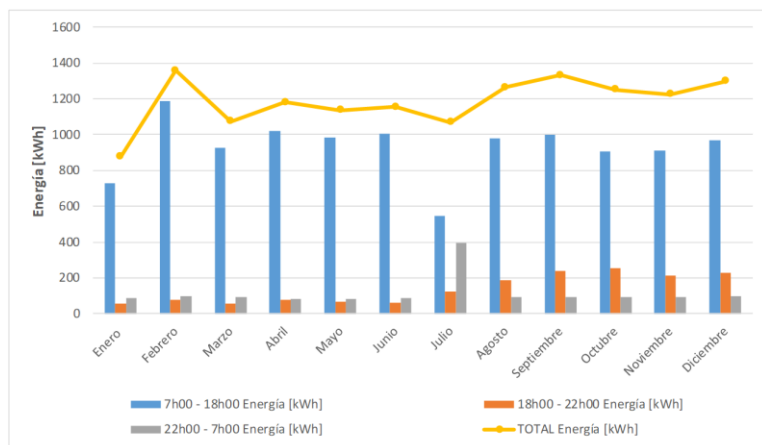
Sangolquí”

Horario	7h00 - 18h00	18h00 - 22h00	22h00 - 7h00	Total	
Mes	Energía [kWh]	Energía [kWh]	Energía [kWh]	Energía [kWh]	Costo [\$]
Enero	731.44	57.22	88.33	876.99	75.59
Febrero	1186.36	76.09	96.19	1358.64	117.83
Marzo	925.14	54.57	93.74	1073.45	92.77
Abril	1020.82	76.19	84.05	1181.06	102.41
Mayo	986.54	66.81	83.54	1136.89	98.55
Junio	1006.23	64.16	85.78	1156.17	100.2
Julio	547.35	126.09	396.05	1069.49	84.26
Agosto	981.44	186.76	95.98	1264.18	93.58
Septiembre	998.78	238.58	93.84	1331.2	99.17
Octubre	906.88	252.45	91.7	1251.03	93.77
Noviembre	913	215.83	95.47	1224.3	91.3
Diciembre	970.53	228.17	99.25	1297.95	96.75
Máximo	1186.36	252.45	396.05	1358.64	117.83
Mínimo	547.35	54.57	83.54	876.99	75.59
Promedio	931.2	136.91	116.99	1185.11	95.51
Total	11174.51	1642.92	1403.92	14221.35	1146.18

El consumo de energía del año 2019 de EMFALU Sangolquí se la puede apreciar en la figura 12, se observa que la curva de energía consumida en donde se presenta el pico más alto es el mes de febrero, seguido de los meses de agosto y septiembre en el cual representa un uso considerable de consumo energético.

Figura 12

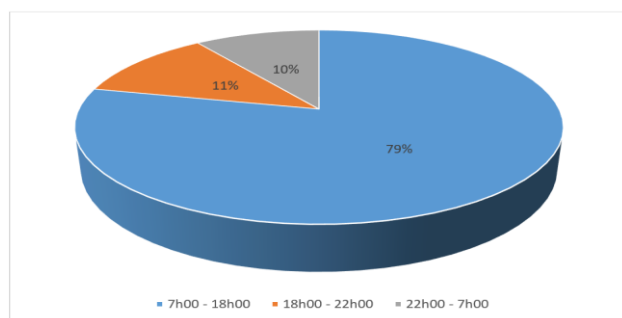
Consumo mensual de energía eléctrica 2019 en "EMFALU Sangolquí"



En la figura 13 se puede observar que el mayor consumo de energía eléctrica en EMFALU Sangolquí durante el año 2019 se da durante el horario de 7h00 – 18h00, a diferencia de los anteriores años, en el horario de 18h00 – 22h00 se ha notado un incremento por las horas extras que laboraba el personal de EMFALU Sangolquí. Los detalles de consumo de energía eléctrica de EMFALU Sangolquí de los años 2017 y 2018 se puede observar en el anexo 2.

Figura 13

Porcentaje de consumo promedio de energía por horarios durante 2019 en "EMFALU Sangolquí"



Potencia Demandada

Potencia Demandada del Año 2019 en EMFALU Sangolquí. En la tabla 10 se

muestra la potencia mensual demandada para el suministro de EMFALU Sangolquí durante el año 2019, según las planillas eléctricas de la Empresa Eléctrica Quito.

Tabla 10

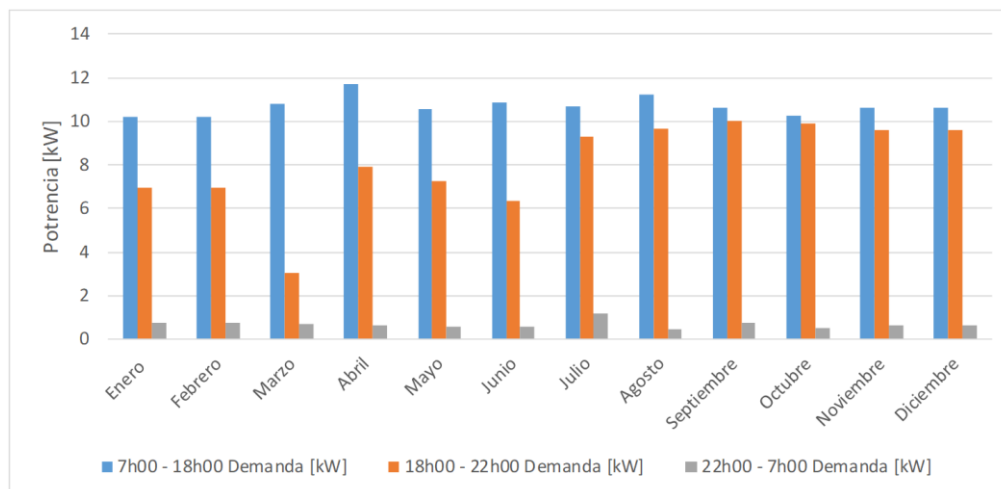
Detalle de demanda de potencia eléctrica 2019 Suministro "EMFALU Sangolquí"

Horario	7h00 - 18h00	18h00 - 22h00	22h00 - 7h00	Total	
Mes	Demanda [kW]	Demanda [kW]	Demanda [kW]	Demanda [kW]	Costo [\$]
Enero	10.18	6.97	0.73	10.18	29.72
Febrero	10.18	6.97	0.73	10.18	29.72
Marzo	10.81	3.06	0.68	10.81	27.68
Abril	11.68	7.91	0.66	11.68	33.73
Mayo	10.57	7.28	0.55	10.57	31.05
Junio	10.88	6.32	0.55	10.88	27.85
Julio	10.69	9.28	1.16	10.69	39.56
Agosto	11.25	9.66	0.44	11.25	41.24
Septiembre	10.63	10	0.74	10.63	42.66
Octubre	10.29	9.92	0.49	10.29	42.33
Noviembre	10.63	9.58	0.62	10.63	40.87
Diciembre	10.63	9.58	0.62	10.63	40.87
Máximo	11.68	10	1.16	11.68	42.66
Mínimo	10.18	3.06	0.44	10.18	27.68
Promedio	10.7	8.04	0.66	10.7	35.6
Total	128.42	96.53	7.97	128.42	427.28

La representación gráfica de la demanda de potencia del año 2019 en EMFALU Sangolquí se puede apreciar en la figura 14.

Figura 14

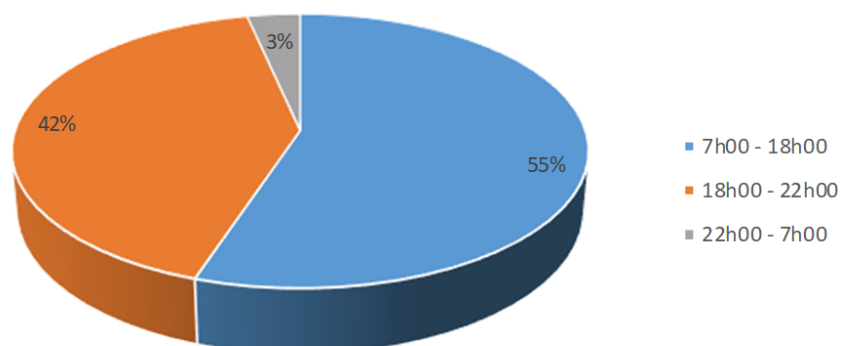
Demanda mensual de potencia eléctrica 2019 Suministro "EMFALU Sangolquí"



En la figura 15 se puede observar que la mayor demanda de potencia en EMFALU Sangolquí durante el año 2019 se da durante el horario de 7h00 – 18h00, seguido del horario de 18h00 – 22h00. Los detalles de demanda de potencia de EMFALU Sangolquí de los años 2017 y 2018 se puede observar en el anexo 2.

Figura 15

Porcentaje de demanda por horarios de potencia eléctrica 2019 Suministro "EMFALU Sangolquí"

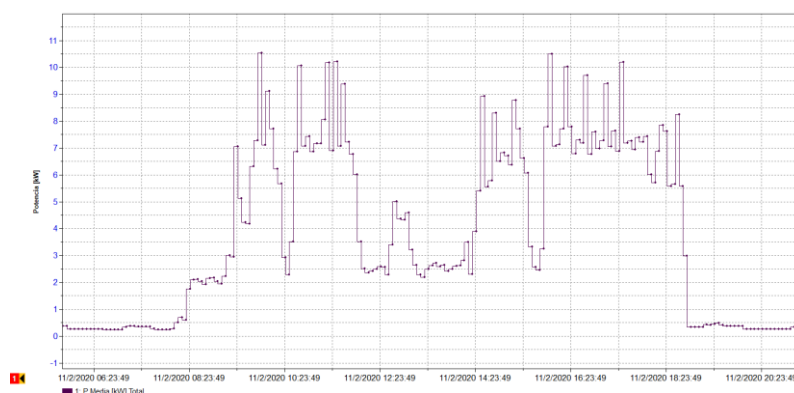


La tendencia de la potencia demandada por EMFALU Sangolquí en un día

normal de trabajo se puede apreciar en la figura 16, se ve claramente que la potencia empieza a incrementar en el inicio de labores de la empresa, alrededor de las 8h00 y finaliza a las 18h30 cumpliendo con los pedidos y requerimientos de la producción de la empresa.

Figura 16

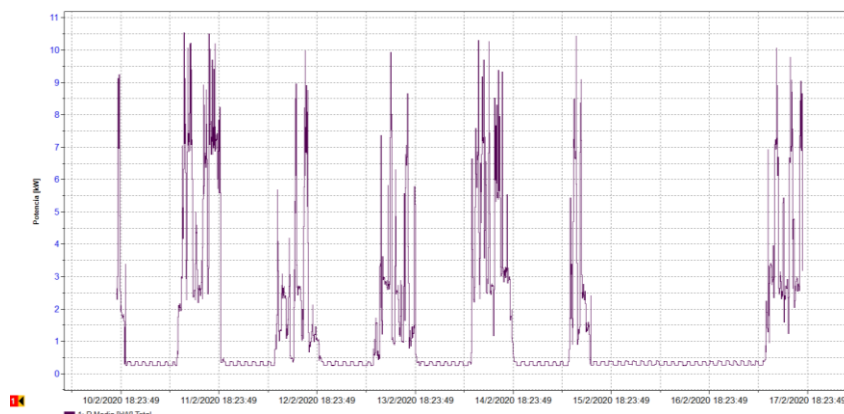
Tendencia de la potencia demandada por EMFALU Sangolquí en un día laborable



En la figura 17, se puede observar la tendencia de la potencia demandada por EMFALU Sangolquí durante toda una semana, denotando que el día domingo no se labora por lo que aparece un espacio en la curva que no demanda potencia consumida.

Figura 17

Tendencia de la potencia demandada por EMFALU Sangolquí de toda una semana



Consumo De Energía Eléctrica Mensual EMFALU San Rafael
EMFALU San Rafael.

Tabla 11

Costo de la energía y potencia del suministro “EMFALU San Rafael”

Rango de Consumo (kWh)	Energía (USD/kWh)
1 - 300	0,081
Superior	0,104

Nota. Tomado de: (ARCONEL, 2019)

Se presenta en el Anexo 1 el documento para tarifa de Baja Tensión Comercial de la ARCONEL.

A partir del mes de abril del 2020 se factura con la tarifa de Baja Tensión Comercial con Demanda, con el costo de la energía y potencia conforme a la tabla 12:

Tabla 12

Costo actual de la energía y potencia del suministro “EMFALU San Rafael”

Energía (USD/kWh)	Demanda (USD/kW-mes)
0,088	4,182

Nota. Tomado de: (ARCONEL, 2019)

Energía Consumida

Año 2019. En la tabla 13 se muestra el costo respectivo por el consumo de energía para el suministro de EMFALU San Rafael durante el año 2019, según las planillas eléctricas de la Empresa Eléctrica Quito.

Tabla 13

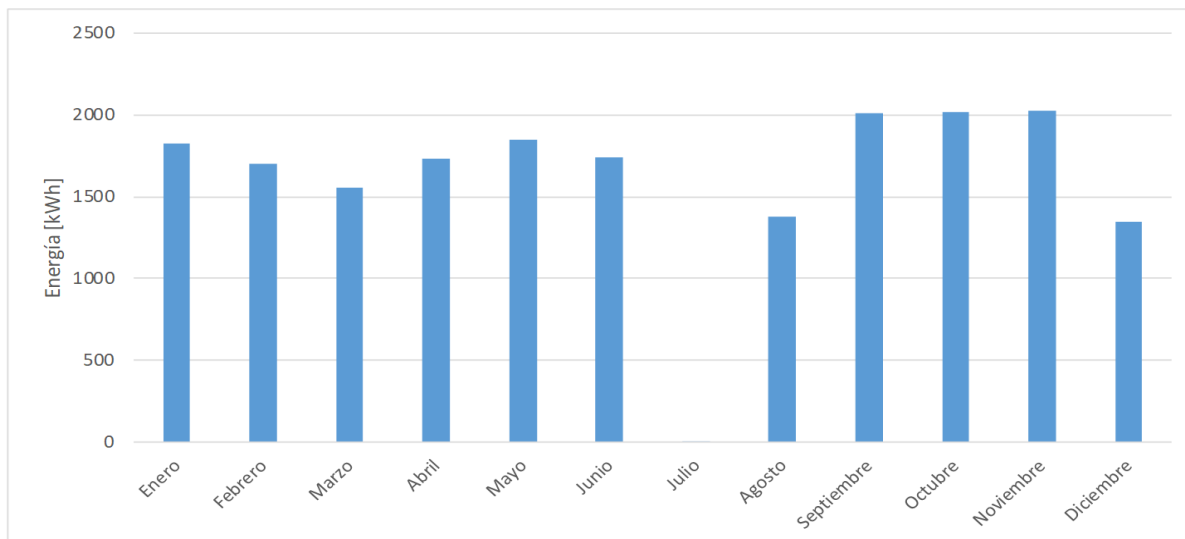
Detalle de Consumo mensual de energía eléctrica 2019 del suministro “EMFALU San Rafael”

Mes	Energía [kWh]	Costo [\$]
Enero	1821	182.48
Febrero	1699	169.8
Marzo	1551	154.4
Abril	1729	172.92
Mayo	1847	185.19
Junio	1738	173.85
Julio	1	0.08
Agosto	1380	136.62
Septiembre	2012	202.35
Octubre	2019	203.08
Noviembre	2021	203.28
Diciembre	1344	132.88
Máximo	2021	203.28
Mínimo	1	0.08
Promedio	1596.83	159.74
Total	19162	1916.93

El consumo de energía del año 2019 de EMFALU San Rafael se puede apreciar en la figura 18, se observa que el mes que más se ha consumido energía eléctrica es noviembre, seguido de los meses de octubre y septiembre. En el mes de julio, EMFALU San Rafael se cambió la acometida y se instaló un nuevo medidor por lo que no hubo consumo de energía eléctrica. Los detalles de consumo de energía eléctrica de EMFALU San Rafael de los años 2017 y 2018 se puede observar en el anexo 3.

Figura 18

Consumo mensual de energía eléctrica 2019 "EMFALU San Rafael"

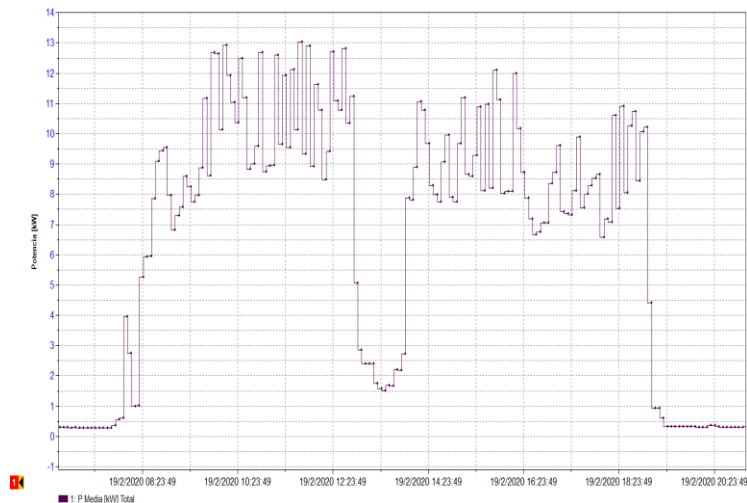


Potencia Demandada

En el caso de la demanda en EMFALU San Rafael, debido a que este suministro se encuentra con una tarifa de Baja Tensión Comercial (no posee demanda ni penalización por bajo factor de potencia), no existe un registro mensual como en el caso anterior. Sin embargo, gracias al analizador de redes, se puede observar en la figura 19, la tendencia de potencia demandada en un día normal de trabajo. Observándose que el periodo de mayor consumo está entre las 8h00 a las 18h30, al igual que ocurría en el caso del establecimiento de Sangolquí. A partir del mes de abril del 2020 se factura con la tarifa de Baja Tensión Comercial con Demanda.

Figura 19

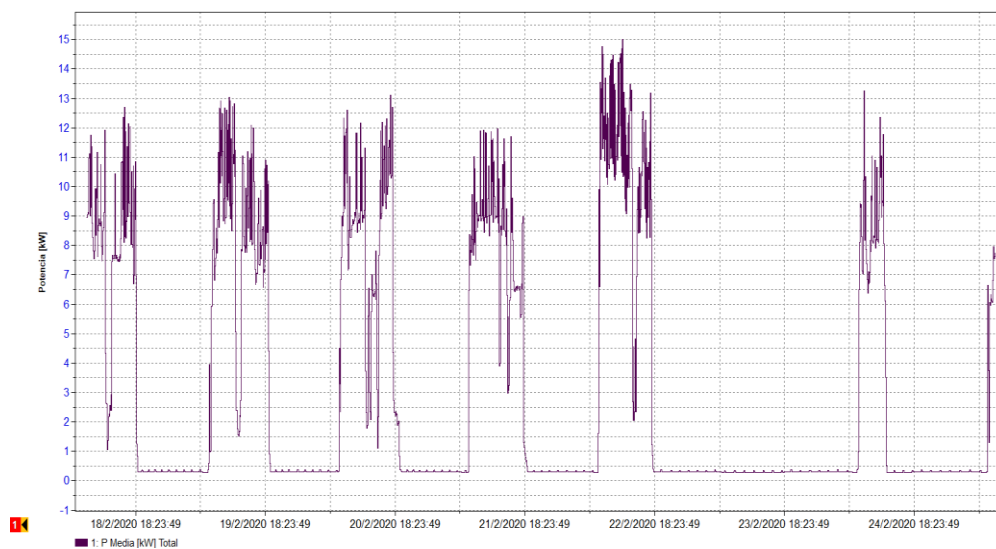
Tendencia de la potencia demandada por EMFALU San Rafael en un día laborable



En la figura 20, se puede observar la tendencia de la potencia demandada por EMFALU San Rafael durante toda una semana, de igual manera, el día domingo no se labora por lo que aparece un espacio en la curva que no demanda potencia consumida.

Figura 20

Tendencia de la potencia demandada por EMFALU San Rafael de toda una semana



Descripción del Sistema Eléctrico Actual

A continuación, se analizan los sistemas eléctricos de los establecimientos comerciales de Sangolquí y San Rafael pertenecientes a la empresa EMFALU. La alimentación es abastecida por la Empresa Eléctrica Quito, trabajando a un nivel de voltaje de 220 trifásico. Para realizar el estudio se debe obtener los datos que identifican a las máquinas, iluminación y demás insumos eléctricos, así como su ubicación por lo que se requiere realizar una inspección física y analizar la documentación de la parte eléctrica y civil de los establecimientos comerciales.

Diagramas Unifilares Eléctricos

Los diagramas unifilares eléctricos se encuentran en el anexo 4.

Tableros de Distribución

Tableros Eléctricos de EMFALU Sangolquí.

Figura 21

Tablero Principal EMFALU Sangolquí



Figura 22

Tablero secundario oficinas EMFALU Sangolquí

**Figura 23**

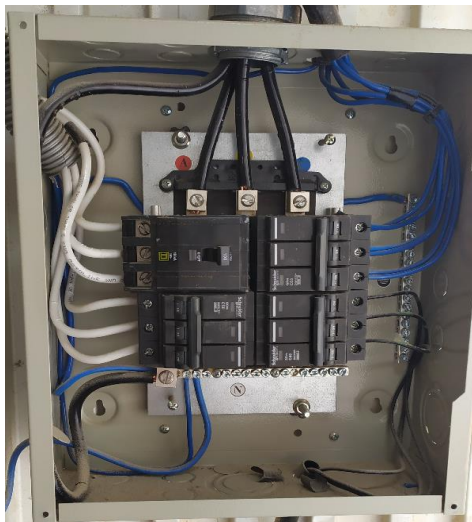
Tablero secundario Máquinas EMFALU Sangolquí



Tableros Eléctricos de EMFALU San Rafael

Figura 24

Tablero Principal de Distribución EMFALU San Rafael

**Figura 25**

Tablero secundario 1 EMFALU San Rafael (Tablero secundario 4, Sierra Vertical HOLZHER 1265, Bisagradora BLUM)



Figura 26

Tablero secundario 2 EMFALU San Rafael (Sierra HOLZHER 1255 y Laminadora Olympic K360)

**Figura 27**

Tablero secundario 3 EMFALU San Rafael (Extractor CORAL, Compresor SCHULZ)

**Figura 28**

Tablero secundario 3 EMFALU San Rafael (iluminación y tomacorrientes)



Levantamiento de Carga

Levantamiento de Carga EMFALU Sangolquí.

Tabla 14

Levantamiento de carga de iluminación exterior en EMFALU Sangolquí

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Bombillo LED	9	8.5	76.5
TOTAL			76.5

Tabla 15

Levantamiento de carga iluminación interior en EMFALU Sangolquí

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Bombillo LED	7	8.5	59.5
Lámpara Fluorescente T8	40	32	1280
Panel LED	10	40	400

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
TOTAL			1739.5

Tabla 16

Levantamiento de carga equipos eléctricos de oficina en EMFALU Sangolquí

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Computadora de escritorio	8	350	2800
Impresora Láser	1	1440	1440
Radio Sony	1	15	15
Impresora LX-350	2	23	64
Impresora LX-300	1	120	120
TV Smart	1	122	122
Servidor de internet	1	1000	1000
UPS "Back APC"	2	330	660
UPS "INS"	1	725	725
UPS "OMNISMART"	1	175	175
UPS "TRIPP LITE"	4	300	1200
TELEFONOS IP	7	3.84	26.88
TOTAL			8347.88

Tabla 17

Levantamiento de cargas equipos eléctricos cafetería en EMFALU Sangolquí

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Refrigeradora	1	250	250
Calentador de agua	1	4800	4800
Cafetera	1	1000	1000
TOTAL			6050

Tabla 18*Levantamiento de cargas equipos eléctricos baños en EMFALU Sangolquí*

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Ducha eléctrica	1	5500	5500
TOTAL			5500

Tabla 19*Levantamiento de carga equipos eléctricos Proceso Productivo en EMFALU Sangolquí*

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Sierra Vertical Holzher 1255	1	4000	4000
Extractor 1	1	1500	1500
Contadora de Cantos	1	150	150
Secador KAESER TBH9	1	328.11	328.11
Extractor 2	1	5500	5500
Laminadora Olimpik K360	1	5500	5500
Bisagradora "Hafele"	1	1100	1100
Cortadora de Filos PVC	1	870	870
Compresor SCHUZ	1	7457	7457
TOTAL			26405.11

Tabla 20*Levantamiento de Carga Total en EMFALU Sangolquí*

Levantamiento de Carga	Potencia [W]
Iluminación exterior	76,5
Iluminación interior	1739.5

Levantamiento de Carga	Potencia [W]
Equipos eléctricos de oficina	8347.88
Equipos eléctricos cafetería	6050
Equipos eléctricos baños	5500
Equipos eléctricos Proceso Productivo	26405.11
Total [W]	48118.99
Total [kW]	48.11

Levantamiento de Carga EMFALU San Rafael.

Tabla 21

Levantamiento de carga de iluminación interior en EMFALU San Rafael

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Foco interior	9	8.5	76.5
Lámpara Fluorescente T8	86	32	2752
Panel LED	15	40	600
TOTAL			3428.5

Tabla 22

Levantamiento de carga equipos eléctricos de oficina en EMFALU San Rafael

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Computadora de escritorio	7	350	2450
Enfriador evaporativo de aire	1	1300	1300

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Impresora LX-606	1	11	11
Impresora LX-300	1	120	120
Radio Sony	1	15	15
Servidor de internet	1	1000	1000
UPS "CDF"	1	900	900
UPS "APC BACK"	2	865	1730
UPS "TRIPP LITE"	1	300	300
UPS "FORZA"	1	375	375
Teléfonos IP	4	3.84	15.36
TOTAL			8216.36

Tabla 23

Levantamiento de cargas equipos eléctricos cafetería en EMFALU San Rafael

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Cafetera Universal	1	800	800
Refrigeradora	1	90	90
TOTAL			890

Tabla 24

Levantamiento de cargas equipos eléctricos baños en EMFALU San Rafael

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Ducha eléctrica	1	3200	3200
TOTAL			3200

Tabla 25

Levantamiento de carga equipos eléctricos Proceso Productivo en EMFALU San Rafael

Tipo de Carga	Cantidad	Potencia [W]	Total [W]
Sierra Vertical Holzher 1265	1	3200	3200
Sierra Vertical Holzher 1255	1	4000	4000
Extractor 1	1	2237.1	2237.1
Contadora de Cantos	1	150	150
Secador KAESER TAH10	1	261	261
Extractor 2	1	7500	7500
Laminadora Olympic K203	1	5100	5100
Laminadora Olympic K360	1	5500	5500
Bisagradora "BLUM"	1	1200	1200
Compresor SCHUZ	1	7457	7457
TOTAL			36605.1

Tabla 26

Levantamiento de Carga Total en EMFALU San Rafael

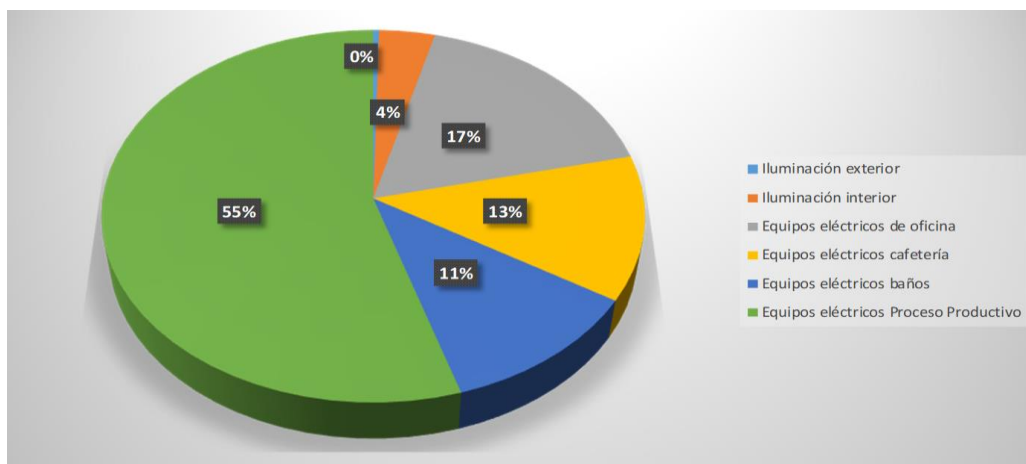
Levantamiento de Carga	Potencia [W]
Iluminación interior	3428.5
Equipos eléctricos de oficina	8216.36
Equipos eléctricos cafetería	890
Equipos eléctricos baños	3200
Equipos eléctricos Proceso Productivo	36605.1
Total [W]	52339.96
Total [kW]	52.34

Distribución de Carga por cada Sector de la Empresa

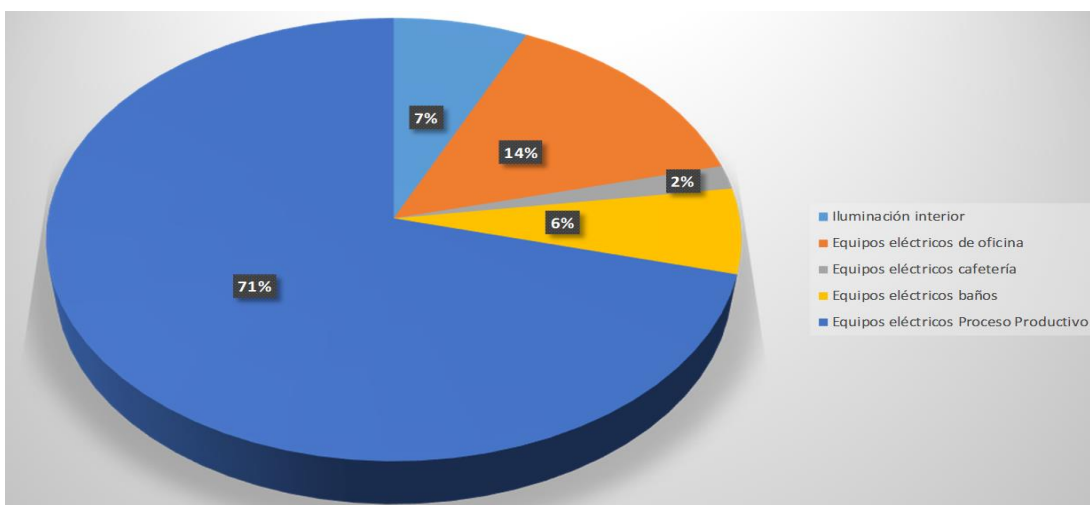
Porcentaje Estimado por Sector de Consumo Eléctrico de la Empresa.

Figura 29

Composición de la energía eléctrica consumida EMFALU Sangolquí

**Figura 30**

Composición de la energía eléctrica consumida EMFALU San Rafael



Medición del Sistema de Puesta a Tierra de EMFALU

Actualmente la empresa EMFALU posee un sistema de puesta a tierra tipo malla, en cada uno de sus establecimientos, tanto en Sangolquí como en San Rafael.

Para analizar el sistema de puesta a tierra se debe hacer una verificación visual en el sitio para determinar el actual estado físico de cada sistema, de las conexiones existentes, además la medición eléctrica de la resistencia de cada una de las mallas de tierras para determinar su valor de resistencia de tierra.

Inspección del Sistema de Puesta a Tierra en EMFALU Sangolquí.

Figura 31

Cable que se conecta a la malla del sistema de puesta a tierra



La conexión del cable de tierra el cual se dirige a la malla carece de un pozo para conexión entre ellos, por lo que se tuvo que desconectar el cable del tablero más cercano a la malla, para realizar la respectiva medición del sistema de puesta a tierra.

Medición de Resistencia Eléctrica de las tierras

Equipo de medición. La medición se lo realizó utilizando un equipo marca AMPROBE DMIII MULTITEST usándolo como telurómetro con dos picas de referencia, este método es muy confiable para medir la resistencia eléctrica R_T entre una malla de tierras y el suelo físico.

Este equipo tiene los siguientes componentes:

Figura 32

Equipo AMPROBE DMIII MULTITEST



Configuración utilizada para la medición. Método de Caída de Potencial:

Medición de resistencia eléctrica total de la malla de tierra

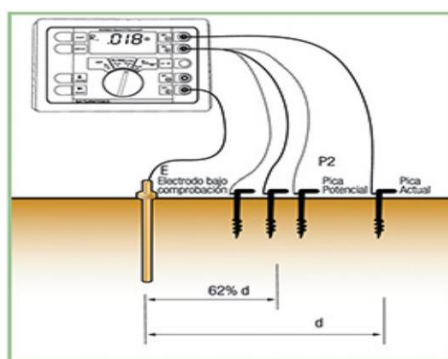
Con el establecimiento comercial totalmente detenido, se pudo desconectar sus conexiones de referencias a tierra, en estas circunstancias, se hizo la medición del valor de la resistencia eléctrica total (R_T) de la malla de puesta a tierra existente, utilizando el método denominado de caída de potencial. Al equipo de medición se lo utilizó en modo “Ground Test” con picas de referencia.

Este método de medición es muy confiable ya que permite obtener valores reales de resistencia eléctrica, en vista que, para aplicar esta metodología de medición,

la malla de tierra necesariamente debe estar desconectada y aislada del sistema eléctrico y de la estructura metálica del local comercial, por tanto, el valor de resistencia de tierras (R_T) obtenido es el valor real existente en ohmios.

Figura 33

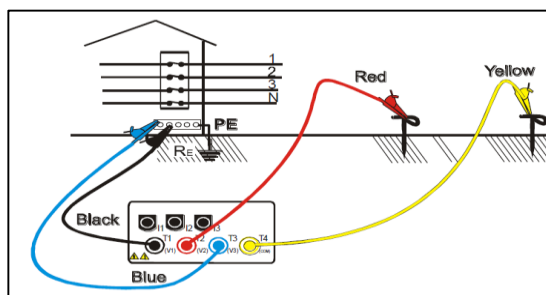
Configuración de conexiones de equipo para medición del valor de resistencia de tierra con el método de caída de potencial



Nota. Tomado de: (Gálvez, 2017)

Figura 34

Configuración de conexiones del equipo AMPROBE DMIII MULTITEST



Nota. Tomado de: (AMPROBE, 2005)

Como se puede observar en la figura 33 y 34 la conexión es sencilla:

- La primera pica de referencia se instala a 30 metros (distancia máxima del cable) de distancia desde el punto de medición, el otro extremo del cable se conecta en el punto T4 del equipo.
- La segunda pica de referencia se instala al 61.8% de la distancia máxima entre la

primera pica y el punto de medición (30 m), es decir 18.54 metros de distancia desde el punto de medición y el otro extremo del cable se conecta en el punto T2 del equipo.

- Los puntos T1 y T3 del equipo se conectan al punto de medición.
- Luego de verificar la correcta conexión de cada extremo del cable y además constatar que la malla o puesta a tierra existente no toque con ninguna conexión eléctrica ni metálica y procedemos con la medición presionando el botón "START" del equipo de medición.

Aplicando este procedimiento se realizó las mediciones de resistencia eléctrica en cada la malla de puesta a tierra, en la cual se obtuvo el siguiente resultado:

Se realizó 10 mediciones en el equipo AMPROBE DMIII MULTITEST para realizar la medición del sistema de puesta a tierra de EMFALU Sangolquí, para tener un valor confiable del mismo.

Figura 35

Equipo AMPROBE DMIII MULTITEST muestra la medición tomada en la malla de puesta a tierra en EMFALU Sangolquí ($RT = 2.97 \Omega$)



Luego de seguir todo el procedimiento de conexiones con el equipo de medición se obtuvo el siguiente valor de resistencia total R_T :

$$R_T = 2.97 \Omega$$

Inspección del Sistema de Puesta a Tierra en EMFALU San Rafael:

Figura 36

Cable que se conecta a la malla del sistema de puesta a tierra



Como se aprecia en la figura 36, la conexión del cable de tierra el cual se dirige a la malla carece de un pozo para conexión entre el cable y la malla, para ello se tuvo que desconectar el cable de una bornera y sacarlo al exterior del terreno para realizar la respectiva medición del sistema de puesta a tierra.

Utilizando el mismo equipo de medición AMPROBE DMIII MULTITEST como telurómetro y el método anteriormente descrito de Caída de Potencial se procedió a

realizar las mediciones de la malla del sistema de puesta a tierra, la malla de tierra de igual manera debe estar desconectada y aislada del sistema eléctrico y de la estructura metálica del local comercial para hallar el valor de resistencia de tierra correspondiente.

Se realizó 10 mediciones en el equipo AMPROBE DMIII MULTITEST para justificar la medición del sistema de puesta a tierra de EMFALU San Rafael, del cual se tiene un valor confiable del mismo.

Figura 37

Equipo AMPROBE DMIII MULTITEST muestra la medición tomada en la malla de puesta a tierra en EMFALU San Rafael ($R_T = 15.94 \Omega$)



Luego de seguir todo el procedimiento de conexiones con el equipo de medición se obtuvo el siguiente valor de resistencia total R_T :

$$R_T = 15.94 \Omega$$

Análisis del Sistema de Puesta a Tierra de EMFALU

Existe cierto desconocimiento al momento de referirse a que constituye una buena conexión a tierra, es decir, cual sería un valor de resistencia de tierra correcto, lo ideal sería que una conexión en un sistema de puesta a tierra sea de cero ohmios o cercano a ese valor.

La Empresa Eléctrica Quito establece que el valor de resistencia de puesta a tierra para instalaciones aéreas sea de 25 ohmios y para instalaciones subterráneas de 5 ohmios (Empresa Eléctrica Quito, 2014).

Medición de la malla del sistema de puesta a tierra EMFALU Sangolquí. El valor medido fue de $R_T = 2.97 \Omega$ el cual es muy bueno desde el punto de vista eléctrico, por tanto, se puede afirmar que esta malla a tierra cumple con su función de drenar todas las corrientes fluctuantes y parásitas, además es una excelente referencia de tierra en los sistemas electrónicos.

Medición de la malla del sistema de puesta a tierra EMFALU San Rafael. El valor medido fue de $R_T = 15.94 \Omega$ el cual es un valor defectuoso desde el punto de vista eléctrico, conforme al tipo de instalación que tiene EMFALU San Rafael que es subterránea, debe tener una resistencia hasta de 5 ohmios.

Termografías

Gracias a la tecnología termográfica, el mantenimiento predictivo en máquinas, estructuras y sistemas se ha convertido en una de las herramientas de diagnóstico más valiosas actualmente, ya que permite detectar imperfecciones que no son visibles a simple vista, el objetivo primordial de la tecnología termográfica es permitir ejecutar correcciones antes de que se origine altos fallos en el sistema. Las cámaras termográficas son instrumentos únicos que admiten establecer cuando y donde se solicita un mantenimiento ya que las infraestructuras eléctricas son propensos a incrementar su temperatura antes de mostrar algún defecto (FLIR, 2011).

Se detallarán las mediciones de termografías tanto de motores eléctricos y de tableros eléctricos de cada establecimiento de la empresa.

En el caso de los motores eléctricos, estos poseen un enemigo muy común, el calor. El calor se genera por la propia operación del motor o también por las condiciones ambientales en el cual se encuentra operando el mismo.

El instante en el que un motor eléctrico trabaja, este incrementa su temperatura y en ciertas situaciones las particularidades del sistema de aislamiento soportan un proceso inalterable de decadencia, es decir, envejece.

Según la IEEE, por cada 10 grados centígrados de temperatura que baje un motor eléctrico, la vida útil del aislamiento se duplica. (Núñez Mata, 2010)

Para el análisis de cada motor eléctrico, se basa en la norma estándar NEMA MG-1, el cual clasifica el sistema de aislamiento por la capacidad de soporte al calor, es muy común encontrar en la placa de cada motor eléctrico, aparece en la placa con letras como: A, B, F, y H, cómo se detalla en la tabla 27.

Tabla 27

Clase de motor de aislamiento y su temperatura máxima permitida medida en la carcasa

Clase de Aislamiento	Tipo de Motor	Temp. Amb.	Incremento temperatura medido en carcasa	Tolerancia de punto caliente	Temp. Total Sistema
A	Abierto	40 °C	55 °C	15 °C	105 °C
	Cerrado	40 °C	60 °C	10 °C	105 °C
B	Abierto	40 °C	70 °C	20 °C	130 °C
	Cerrado	40 °C	75 °C	15 °C	130 °C
F	Abierto	40 °C	90 °C	25 °C	155 °C
	Cerrado	40 °C	95 °C	20 °C	155 °C
H	Abierto	40 °C	110 °C	30 °C	180 °C
	Cerrado	40 °C	115 °C	25 °C	180 °C

Nota. Tomado de: (Núñez Mata, 2010)

Para el caso de tableros y conexiones eléctricas se basará en la norma NTC2050 la cual se deriva de la norma NEC (National Electrical Code).

Según esta norma, todos los puntos de conexión, equipos de instalación eléctrica y cables deberán soportar 60 °C si conducen 100 amperios o menos, si conducen más de 100 amperios podrán soportar 75 °C (Davila Posada & Villa Castaño, 2008).

Equipo Utilizado. Para la toma de las mediciones de temperatura se utiliza el equipo de radiación infrarroja mostrado en la figura 38 y tabla 28 donde se presentan las características técnicas principales de la cámara termográfica.

Tabla 28

Especificaciones técnicas cámara termográfica Fluke Ti25 IR Fusion Technology

Especificaciones Técnicas	
Operación Normal	-10 °C a 50 °C
Duración Batería	3 – 4 horas de uso continuo con brillo de pantalla al 50%
Rango de medición	-20 °C a +350 °C
Precisión	±2%
Distancia mínima de enfoque	15 [cm]
Alimentación	110 – 220 AC[V]

Nota. Tomado de: (Conrad, 2020)

Figura 38

Cámara Termográfica Fluke Ti25 IR Fusion Technology



Nota. Tomado de: (Conrad, 2020)

Termografías en Motores y Tableros Eléctricos

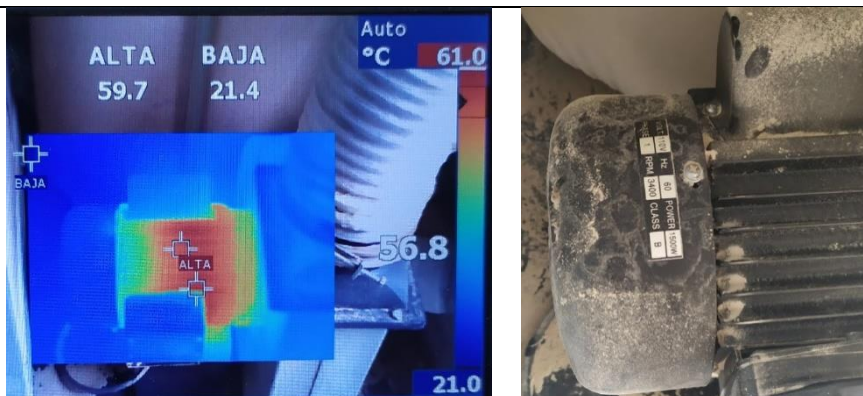
Termografías en EMFALU Sangolquí

Termografías en Motores Eléctricos de EMFALU Sangolquí.

Tabla 29

Termografía en motor de extractor 1 de EMFALU Sangolquí

Servicios Integrados y Corporativos EMFALU Cía. Ltda.		
Dirección: La Palma, Av. Shyris s/n y Altar, Sangolquí		
Equipo: Extractor 1 (127 V)	Fecha: 18/02/2020	Clase de Aislamiento: B
Imagen térmica:	Imagen visible:	Temperatura medida: 59.7 °C



Observaciones: La temperatura de operación de este motor es normal

Termografías en Tableros Eléctricos de EMFALU Sangolquí.

Tabla 30

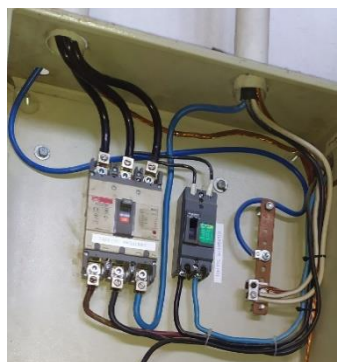
Termografía en tablero principal de EMFALU Sangolquí

Servicios Integrados y Corporativos EMFALU Cía. Ltda.	
Dirección: La Palma, Av. Shyris s/n y Altar, Sangolquí	
Equipo: Tablero Principal	Fecha: 18/02/2020

Imagen térmica:

Imagen visible:

Temperatura
medida: 40.0
°C



Observaciones: La temperatura de operación es normal.

Termografías en EMFALU San Rafael
Termografías en Motores Eléctricos de EMFALU San Rafael.

Tabla 31

Termografía en motor de extractor 1 de EMFALU San Rafael

Servicios Integrados y Corporativos EMFALU Cía. Ltda.		
Dirección: Calle Isla Española 64 y Avda. Ilaló, San Rafael		
Equipo: Extractor 1	Fecha: 18/02/2020	Clase de Aislamiento: F
<p>Imagen térmica:</p> 	<p>Imagen visible:</p> 	<p>Temperatura medida: 37.7 °C</p>
Observaciones: Temperatura de operación del motor normal		

Termografías en Tableros Eléctricos de EMFALU San Rafael.

Tabla 32

Termografía en Tablero Principal de EMFALU San Rafael

Servicios Integrados y Corporativos EMFALU Cía. Ltda.	
Dirección: Calle Isla Española 64 y Avda. Ilaló, San Rafael	
Equipo: Tablero principal	Fecha: 18/02/2020

 Imagen térmica:


Imagen visible:


 Temperatura
 medida:
 20.9 °C

 Observaciones: Temperatura de operación normal

En el anexo 5 se incluyen las demás especificaciones de termografías de tableros y motores eléctricos tanto de EMFALU Sangolquí como de en EMFALU San Rafael.

Medición y Análisis de Datos

Metodología para el Monitoreo de Parámetros Eléctricos

El estudio de la calidad de la energía se lo realizó en los tableros principales de EMFALU Sangolquí y EMFALU San Rafael.

Para la toma de mediciones de parámetros eléctricos se utilizó un Registrador de Calidad de Energía Eléctrica (Fluke 1736), este equipo se conecta en la entrada de la alimentación proveniente de la Empresa Eléctrica Quito. La medición se realizó el mes de febrero durante 7 días consecutivos. Con intervalos de medición de 5 minutos con una tasa de 2016 muestras por intervalo para cada estudio eléctrico. Con las magnitudes obtenidas se puede verificar que los parámetros eléctricos estén conforme a la norma nacional de ARCONEL 053/18 y en el caso de no cumplir los parámetros establecido en la norma se dará recomendaciones para su cumplimiento.

Equipo Utilizado

Registrador de Calidad de Energía Eléctrica Fluke 1736. El equipo utilizado

para la toma de muestras es el Registrador de Calidad de Energía Eléctrica Fluke 1736 mostrado en la figura 39, cuyas características principales se presentan en la tabla 33. Este dispositivo permite la medición de las magnitudes básicas de voltaje y corriente, potencia activa, reactiva, aparente, factor de potencia, energía consumida, demanda y el contenido armónico. Estos valores se pueden observar directamente en el equipo ya que dispone de un panel táctil, pero además se puede utilizar el software Fluke Energy Analyze Plus para revisar de manera más detallada el histórico de datos registrado usando una computadora.

Figura 39

Registrador de Calidad de Energía Eléctrica Fluke 1736



Nota. Tomado de: (Triplepoint, 2018)

Tabla 33

Especificaciones Técnicas Generales Fluke 1736

Parámetro	Rango
Alimentación AC	100 – 240 [V]
Entradas de voltaje	3 fases y neutro
Voltaje máximo de entrada	1000 Vrms fase – neutro
Entradas de corriente	3 fases y neutro
Corriente de entrada	1 – 150 [A]/ 10 – 1500 [A]
Ancho de banda	42.5 [Hz] – 3.5 [kHz]

Parámetro	Rango
Resolución	16 bits
Tamaño de memoria	10 sesiones de 8 semanas con intervalos de 1 minutos y 100 eventos

Nota. Tomado de: (Triplepoint, 2018)

Medición de Parámetros Eléctricos en Tablero Principal de EMFALU

Sangolquí. Para analizar la calidad de energía en EMFALU Sangolquí con el equipo anteriormente mencionado, se tomó mediciones de las siguientes fechas

Inicio de la Medición: 10/febrero/2020, 17h15

Fin de la Medición: 17/febrero/2020, 17h15

Nivel de Tensión

En el caso específico de nivel de tensión, se fundamentará en la regulación ARCONEL - 053/18, la cual determina que en baja tensión debe tener un nivel del $\pm 8\%$ y para dar con el acatamiento del índice de nivel de tensión en el punto de medición, este no debe sobrepasar el 5 % (porcentaje de incumplimiento) de los registros de las variaciones de tensión, en el período de evaluación que debe ser de al menos de 7 días consecutivos (ARCONEL, 2019).

Tabla 34

Mediciones del nivel de voltaje de línea en EMFALU Sangolquí

Voltaje	Voltaje [V]			Muestra total	Muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Cumple
	Promedio	Máximo	Mínimo				

V_{AB}	219.548	224.588	194.897	2016	11	0.54%	SI
V_{BC}	217.703	223.454	51.109	2016	12	0.59%	SI
V_{CA}	217.260	222.440	182.823	2016	12	0.59%	SI

En este caso se hizo el análisis del voltaje de línea de suministro de EMFALU Sangolquí en el cual se puede verificar que sí cumple con la regulación ARCONEL-053/18 ya que el porcentaje de incumplimiento está por debajo del 5%. En la figura 40 se observa la curva de voltaje semanal en EMFALU Sangolquí, también se aprecia las tensiones máxima, media y mínima en cada uno de los voltajes de línea.

Desbalance de Voltaje

El desbalance de voltaje se calcula como la desviación máxima de la media de los voltajes trifásicos, dividida para el promedio de los voltajes trifásicos, que se expresa en voltaje, según la norma IEEE 1159-1995. El desbalance de voltaje no debe superar el 5% (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019).

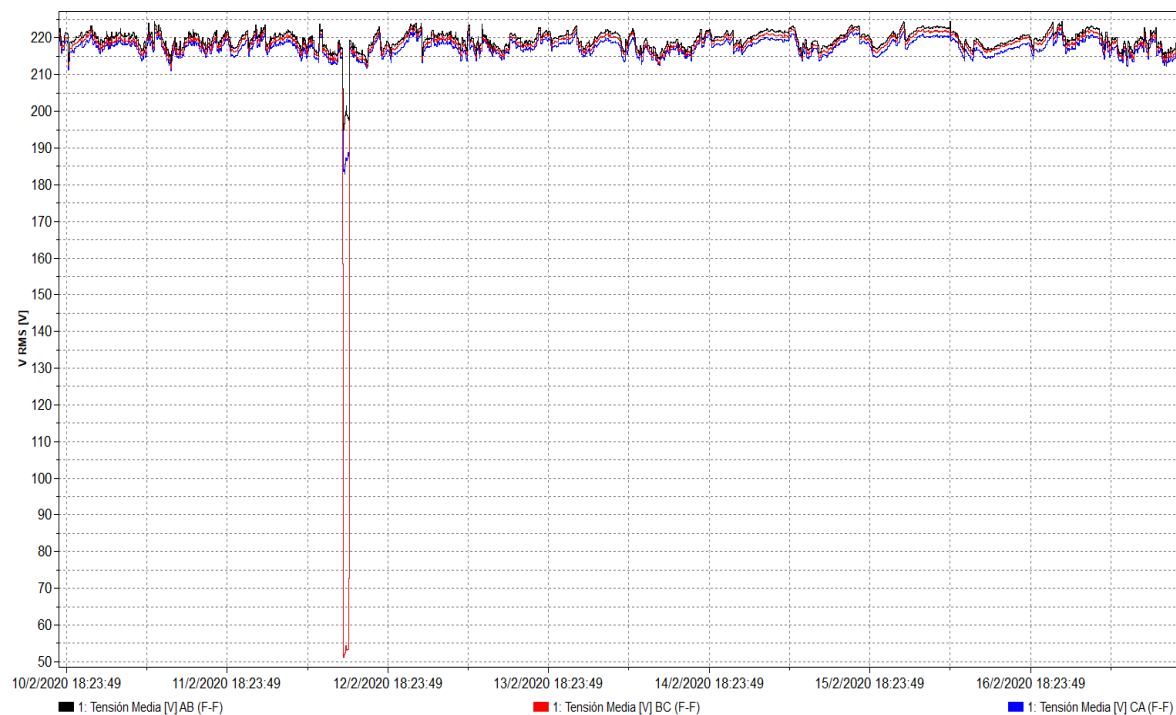
En este caso para hallar el desbalance de voltaje se toman los valores promedios mostrados en la tabla 34:

$$Desbalance\ de\ voltaje\ (\%) = \frac{219.548 - 218.17}{218.17} \times 100$$

$$Desbalance\ de\ voltaje\ (\%) = 0.0063\%$$

Figura 40

Curva de voltaje de línea semanal EMFALU Sangolquí



En el caso del voltaje de fase, se puede observar en la figura 41 y la tabla 35 que acorde con la regulación ARCONEL-053/18 está en el porcentaje permitido ya que está por debajo del 5%.

Tabla 35

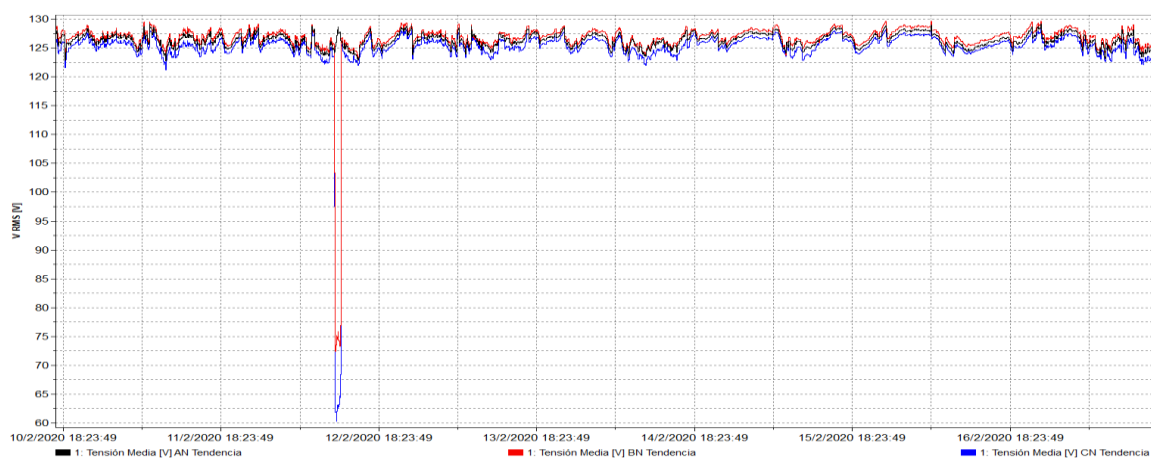
Mediciones del nivel de voltaje de fase EMFALU Sangolquí

Voltaje	Voltaje [V]			Muestra total	Muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Cumple
	Promedio	Máximo	Mínimo				
V_{AN}	126.308	129.156	122.772	2016	0	0%	SI

Voltaje	Voltaje [V]			Muestra total	Muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Cumple
	Promedio	Máximo	Mínimo				
V _{BN}	126.615	129.645	72.437	2016	12	0.59%	SI
V _{CN}	125.06	128.373	60.258	2016	12	0.59%	SI

Figura 41

Curva de voltaje de fase semanal EMFALU Sangolquí

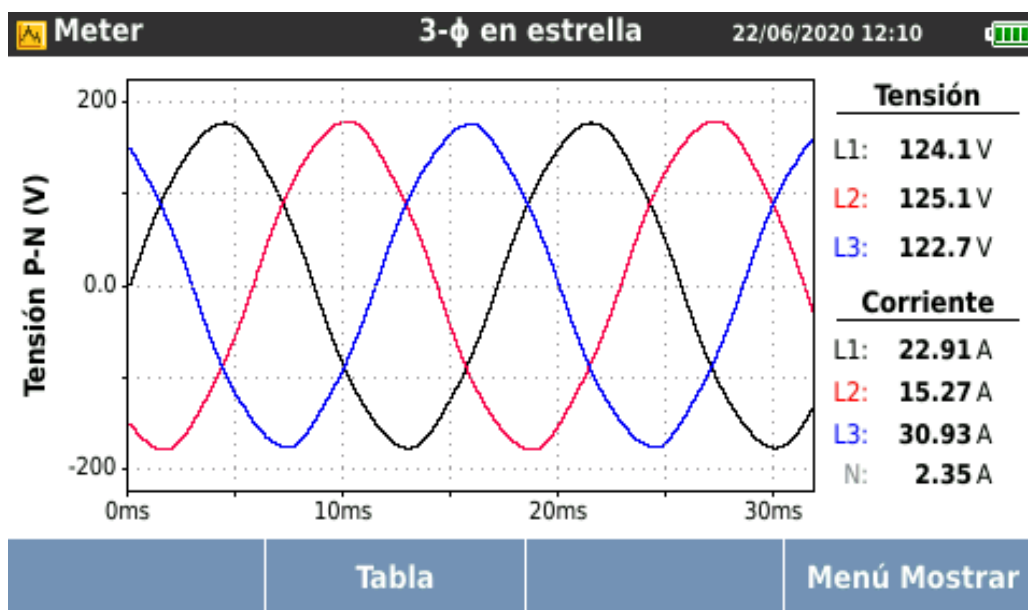


Formas de Onda de Voltaje

Con la ayuda del analizador de redes Fluke 1736 (el equipo se encuentra en modo osciloscopio), se procedió a verificar la forma de onda de voltaje en configuración estrella, cómo se puede observar en la figura 42, la secuencia trifásica de las ondas de voltaje las mismas presentan su forma sinusoidal sin ninguna distorsión en sus tres fases. Los valores de voltaje de fase se mantienen cercanos a lo medido conforme a la tabla 35.

Figura 42

Formas de Onda de Voltaje EMFALU Sangolquí



Corriente Eléctrica

Para el análisis de las corrientes eléctricas en EMFALU Sangolquí, se debe tener en cuenta que en este establecimiento se conectan tanto cargas trifásicas como unas monofásicas.

Por ello se necesita verificar mediante las mediciones realizadas, el desbalance de corriente correspondiente, se puede apreciar en la figura 43 el comportamiento de la corriente durante un día laborable en EMFALU Sangolquí.

Según la norma NEMA MG1-2009, el desbalance de corriente no debe superar el límite del 10%. En el caso en el cual el desbalance es demasiado alto, se debe buscar alternativas para balancear la carga instalada en el transformador (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019).

En la tabla 36 y figura 43 se muestra las mediciones realizadas y el comportamiento de la corriente durante una semana en EMFALU Sangolquí.

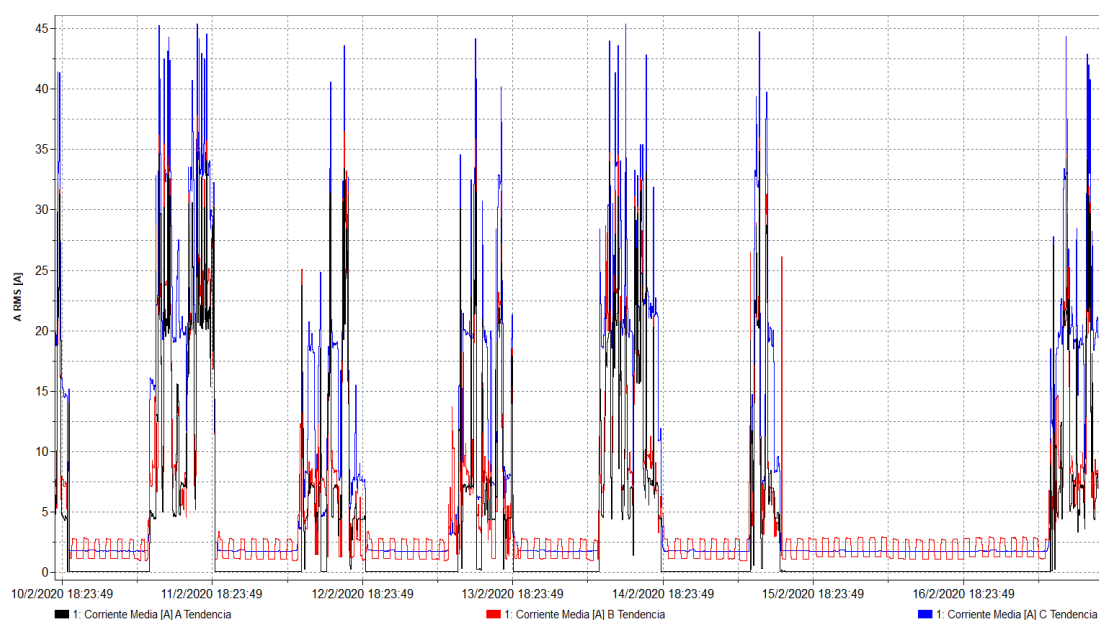
Tabla 36

Mediciones de corriente en EMFALU Sangolquí en un día laborable

Corriente	Corriente [A]			Desbalance
	Promedio	Máximo	Mínimo	
A	15.748	34.743	0.025	21.01%
B	17.081	37.833	1.133	
C	26.988	45.410	1.796	

Figura 43

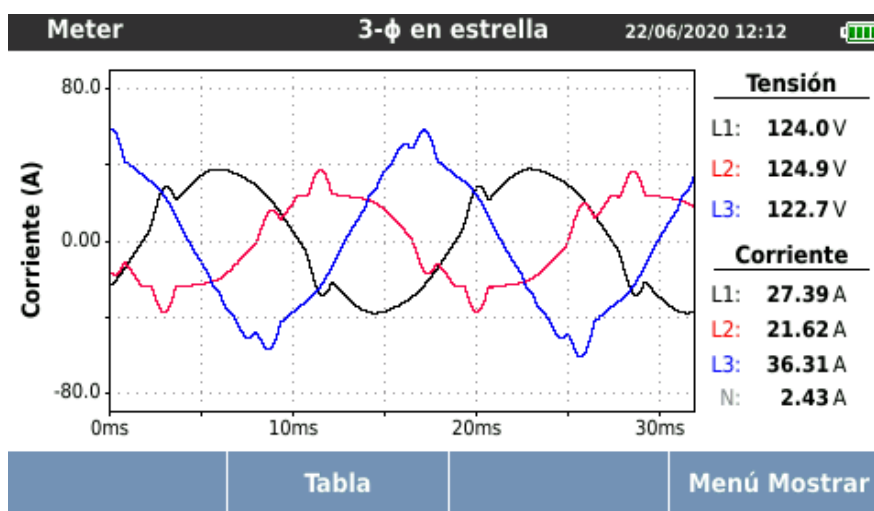
Comportamiento de la corriente durante una semana EMFALU Sangolquí.



En la figura 44, se puede observar la secuencia trifásica de las ondas de corriente en la cual presentan notorias distorsiones en su forma sinusoidal, una de las razones del comportamiento de la corriente es la presencia de armónicos en la red eléctrica.

Figura 44

Formas de Onda de Corriente EMFALU Sangolquí



Distorsión Armónica de Voltaje

La regulación ARCONEL 053/18 establece que el límite de distorsión armónica permitido para voltaje no debe sobrepasar el 8% y de su valor total de sus muestras (en este caso 2016 muestras), no sobrepasar un 5% de aquellas muestras que exceden el valor del 8%. Los resultados obtenidos en las mediciones para siete días consecutivos, se muestran en la tabla 37.

Las fases medidas no excede el límite establecido de THD de voltaje. En la Figura 45 se muestra la representación gráfica de los valores de THD de voltajes medidos durante una semana.

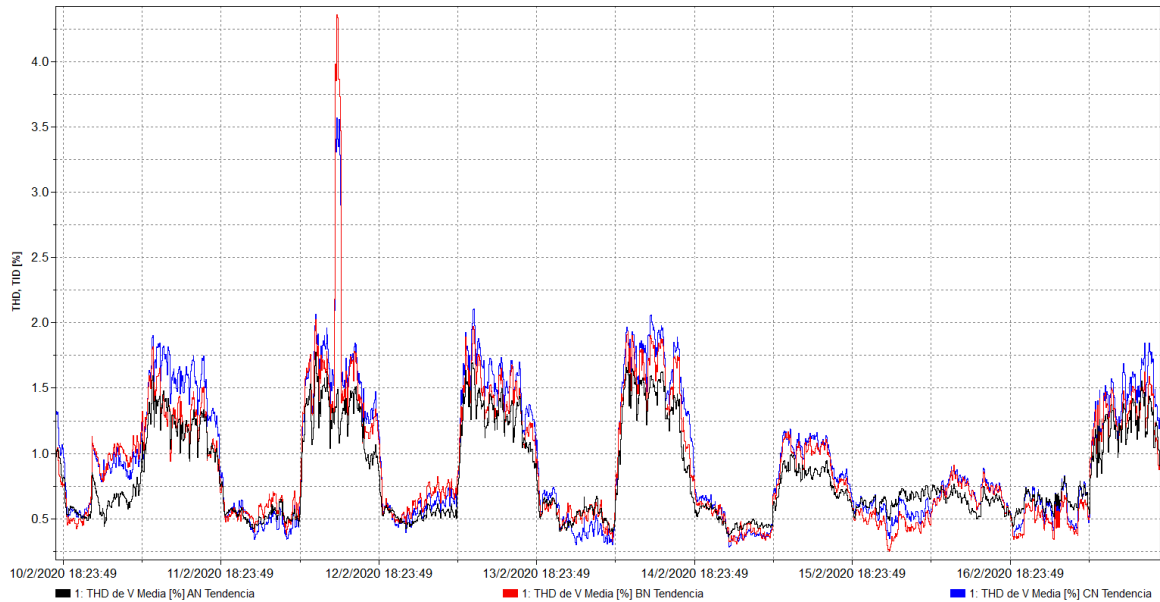
Tabla 37

Distorsión Armónica de Voltaje EMFALU Sangolquí

Voltaje	THD [%]			Muestra total	Muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Cumple
	Promedio	Máximo	Mínimo				
V _{AN}	0.831	1.776	0.353	2016	-	0.00%	SI
V _{BN}	0.907	4.362	0.245	2016	-	0.00%	SI

Figura 45

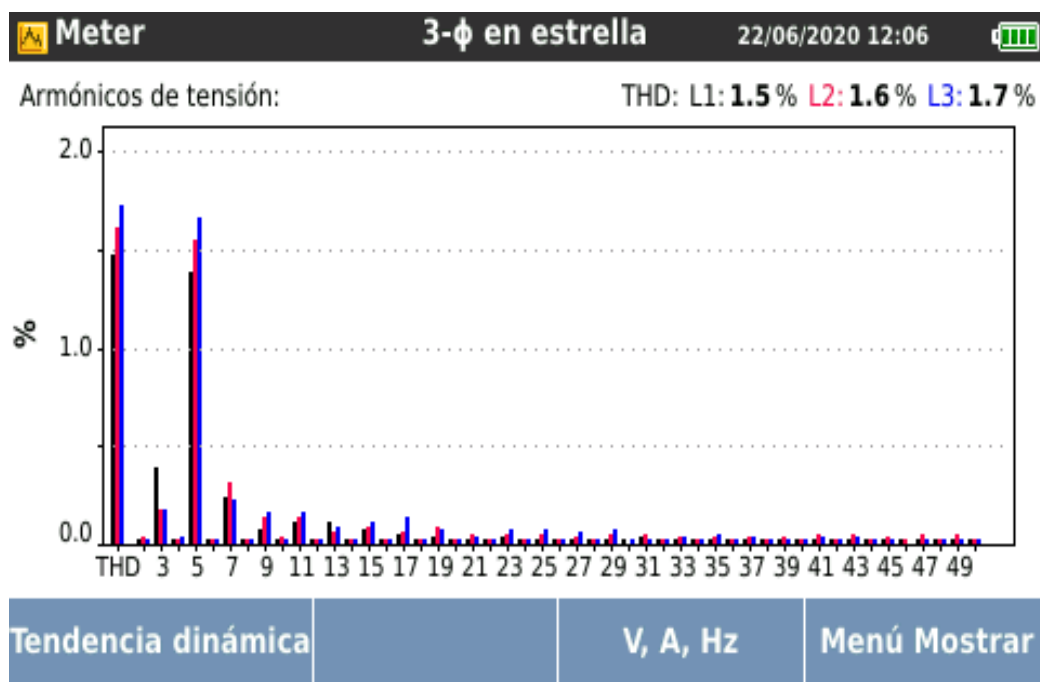
Curva de THD de voltaje durante una semana EMFALU Sangolquí



En la figura 46 se puede observar el espectro de armónicos de voltaje tomados con la ayuda del analizador de redes durante un día laborable, observándose que ninguna de las tres fases excede el porcentaje permitido de THD, este valor es medido en un momento específico.

Figura 46

Armónicos de voltaje en un día laborable EMFALU Sangolquí



Distorsión Armónica de Corriente

En la regulación nacional de la ARCONEL 053/18 no especifica un valor máximo para la Distorsión Armónica de Corriente, por lo cual se basará como referencia la Norma IEEE 519-92, la cual menciona que el índice de Distorsión Armónica de Corriente no debe sobrepasar el valor del 10%.

Tabla 38

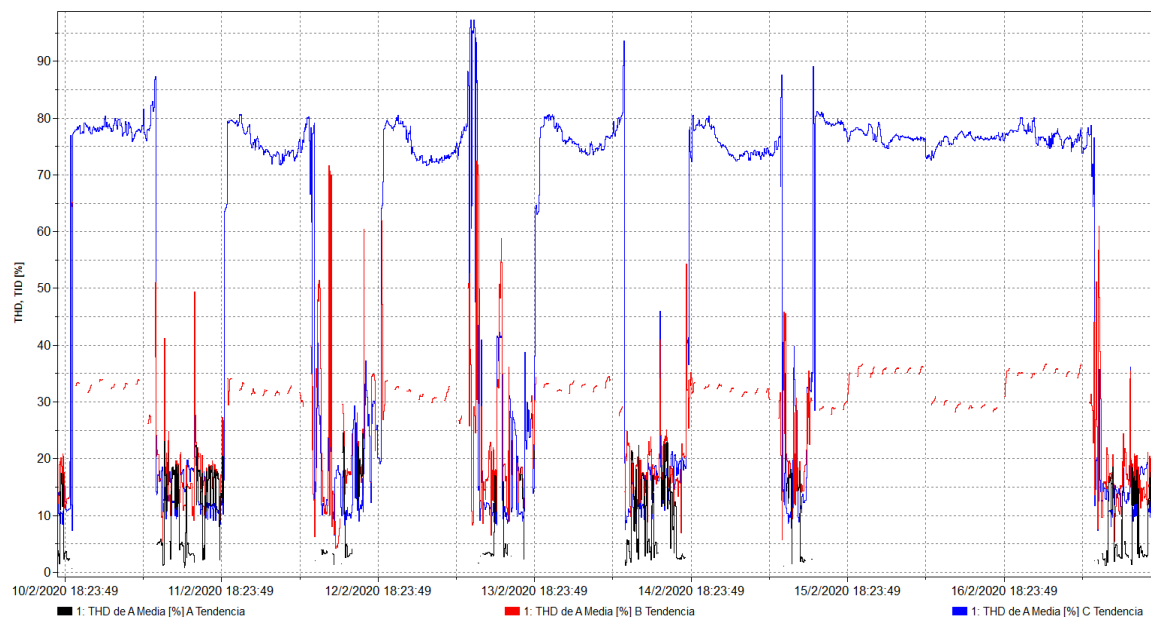
Distorsión Armónica de Corriente en un día laborable en EMFALU Sangolquí

Corriente	THD [%]		
	Promedio	Máximo	Mínimo
A	8.891	24.571	0.634
B	25.688	72.387	4.194
C	56.663	97.314	6.521

Cómo se puede observar en la tabla 38, la distorsión armónica de corriente en el establecimiento es muy variado ya que hay momentos en la cual llega hasta una un porcentaje extremadamente alto. El valor promedio de THD de corriente excede a la norma establecida. En la figura 47 observa la tendencia de la distorsión armónica de corriente de una semana en el porcentaje medido excede de manera notoria al permitido.

Figura 47

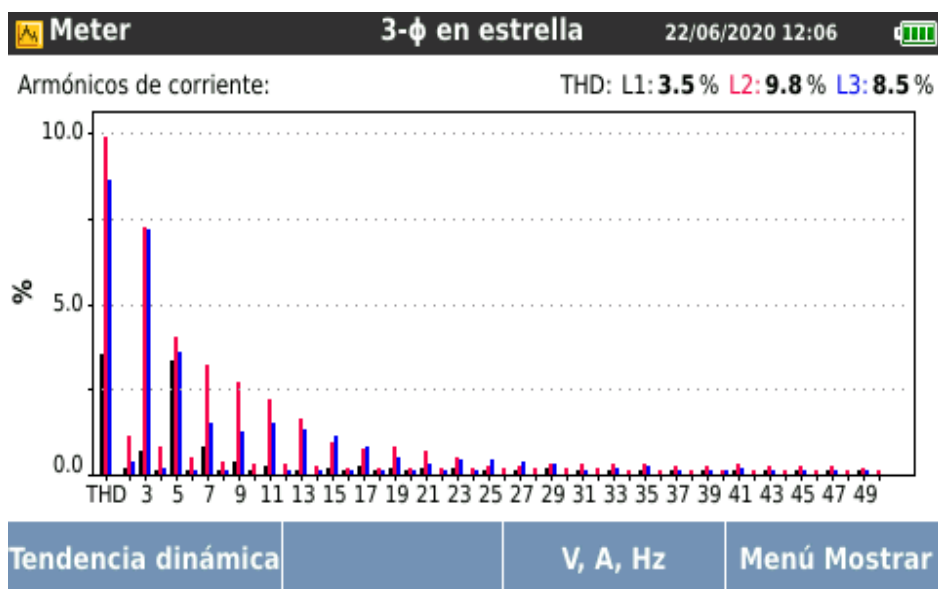
Curva de THD de corriente durante una semana en EMFALU Sangolquí



En la figura 48 se puede observar el espectro de armónicos de corriente tomados con la ayuda del analizador de redes durante un día laborable, este valor es medido en un momento específico.

Figura 48

Armónicos de corriente en un día laborable EMFALU Sangolquí



Potencia Aparente (kVA) en EMFALU Sangolquí

Para analizar la potencia aparente en EMFALU Sangolquí, se debe tener en cuenta que el establecimiento debe estar trabajando a plena carga, es decir, no se tomarán en cuenta valores en los cuales el establecimiento no esté laborando se tomará de referencia la fecha 11/02/2020 en el horario de 08h20 hasta 18h50 en el cual consta según la figura 49, ser uno de los días que más producción demandó.

Tabla 39

Valores potencia aparente de un día laborable en EMFALU Sangolquí

Jornada Laborable	Potencia Aparente [kVA]			Muestra total
	Potencia Promedio	Máximo	Mínimo	
A	2.082	4.359	0.003	127
B	2.241	4.762	0.132	
C	3.420	5.627	0.310	
Total	8.087	14.877	0.589	

Los porcentajes de carga que está trabajando el transformador de EMFALU Sangolquí, se refleja en la tabla 40, en la cual se establece que al momento en el que el transformador trabaja a su máxima potencia aparente, existe una reserva de potencia representativa, es decir, está trabajando a una potencia menor a su potencia aparente establecida por el fabricante que es de 50 kVA, (apenas utiliza el 29.75% de su capacidad en el día de mayor demanda) pero en el caso de la potencia aparente promedio, el transformador trabaja al 8.087% de su capacidad, es decir, posee un porcentaje de reserva muy amplio.

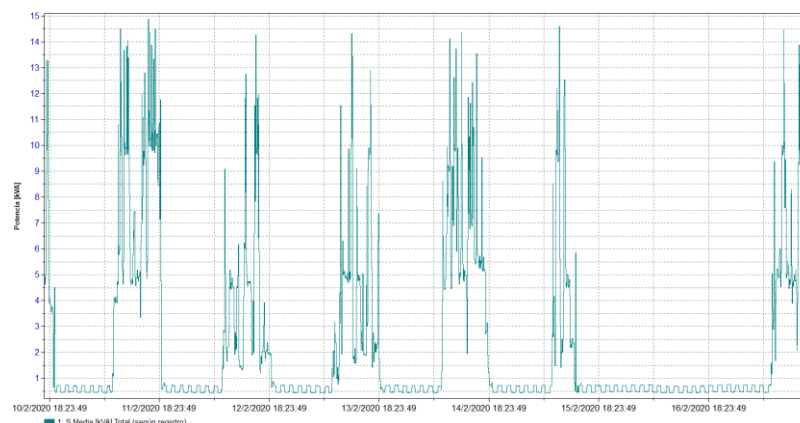
Tabla 40

Porcentaje total que opera el transformador EMFALU Sangolquí

Potencia Total	Potencia Utilizada (kVA)	Porcentaje de Uso	Reserva de Potencia (kVA)	Porcentaje de Reserva
Promedio	8.087	16.174%	41.913	83.826%
Máximo	14.877	29.75%	35.123	70.25%
Mínimo	0.589	1.178%	49.411	98.822%

Figura 49

Curva de potencia aparente durante una semana EMFALU Sangolquí



Potencia Real (kW) EMFALU Sangolquí

En la tabla 41, se detalla los valores de potencia real en (kW) de las tres líneas y la suma total, al igual que las mediciones de la potencia aparente, se lo realizó en el mismo día laborable. En la figura 50 se observa el comportamiento de la potencia real durante una semana en el establecimiento de Sangolquí.

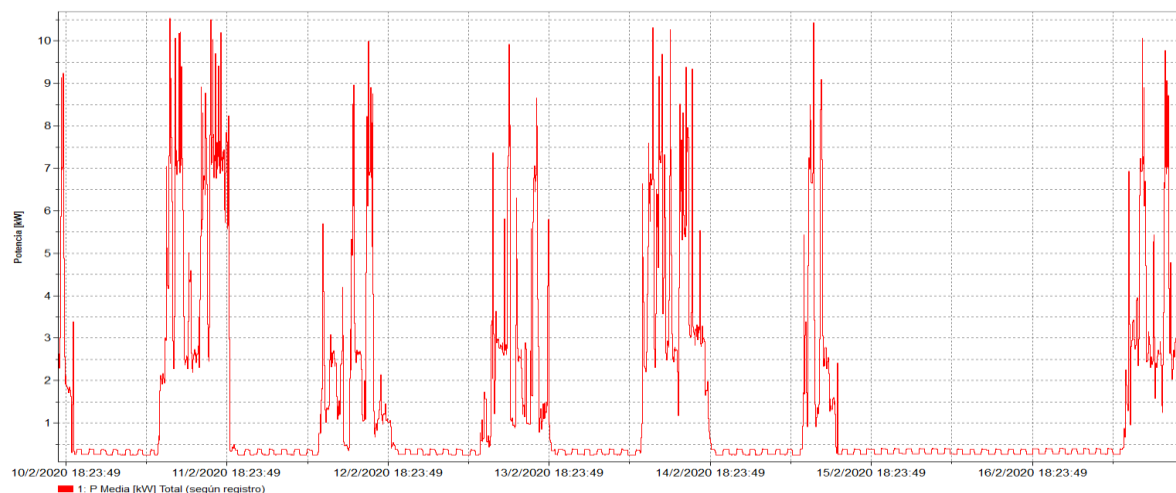
Tabla 41

Valores potencia real de un día laborable en EMFALU Sangolquí

Jornada Laborable Potencia Real	Potencia Real [kW]			Muestra total
	Promedio	Máximo	Mínimo	
A	1.452	3.169	0.0007	
B	1.501	3.339	0.079	
C	2.515	4.174	0.260	127
Total	5.469	10.534	0.341	

Figura 50

Curva de potencia real durante una semana en EMFALU Sangolquí



Factor de Potencia en EMFALU Sangolquí

El factor de potencia es un parámetro muy importante, ya que este valor ayuda a un mejor aprovechamiento de potencia eléctrica suministrada por el transformador, en la tabla 42 se puede observar el registro de los valores en las tres líneas.

Tabla 42

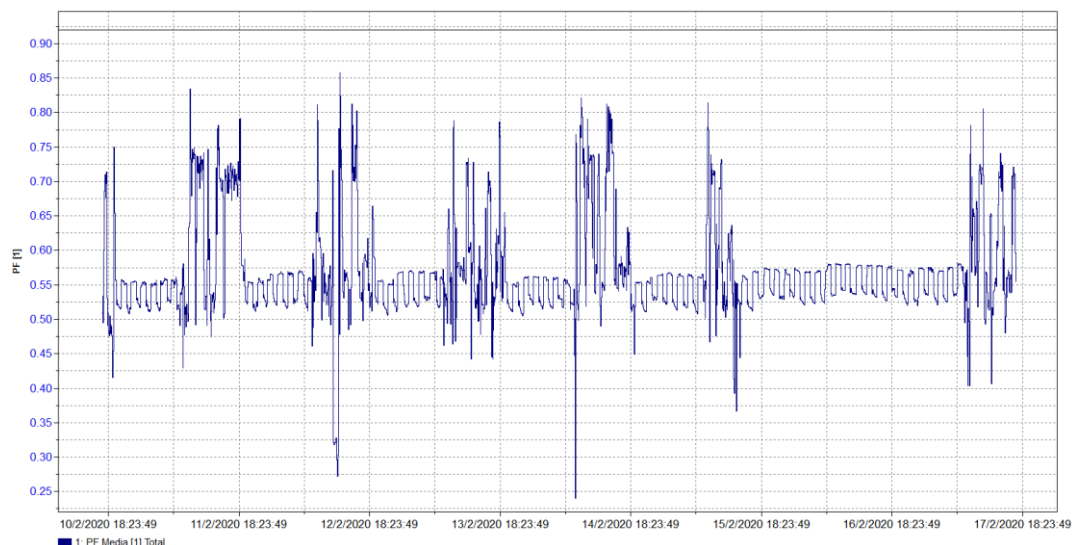
Valores factor de potencia de un día laborable en EMFALU Sangolquí

Jornada Laborable	Factor de Potencia			Muestra total
	Promedio	Máximo	Mínimo	
A	0.854	0.921	0.405	127
B	0.861	0.992	0.695	
C	0.891	0.994	0.644	
Total	0.827	0.901	0.582	

Los valores registrados en la tabla 42, muestra que el nivel promedio del factor de potencia registrado en cada línea son valores bajos lo cual impide que el sistema eléctrico trabaje con una alta eficiencia, según el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución Codificado, avalado por la ARCONEL, recomienda un factor de potencia mayor o igual a 0.92, por lo que se determina que en EMFALU Sangolquí existe una penalización por el bajo factor de potencia. En la figura 51 se puede apreciar el comportamiento de factor de potencia durante una semana en EMFALU Sangolquí.

Figura 51

Curva de factor de potencia en una semana EMFALU Sangolquí



En la tabla 43, se muestra la comparación de resultados obtenidos entre la tabla 41 (medidas de potencia real día laborable) y la tabla 39 (medidas de potencia aparente día laborable), como se puede observar los datos son muy diferentes, razón por la cual existe un bajo factor de potencia.

Tabla 43

Comparación entre potencia real y potencia aparente EMFALU Sangolquí

Tabla de Comparación entre Potencias		
Rango	Potencia Real [kW]	Potencia Aparente [kVA]
Promedio	5.469	8.087
Máximo	10.534	14.877
Mínimo	0.341	0.589

Energía Consumida (kWh) en EMFALU Sangolquí

En el caso de energía consumida durante una semana, se registró el valor de 252.711 kWh con una demanda máxima de 10.535 kW como se indica en la figura 52

que fue capturada desde el software Fluke Energy Analyze Plus, el cual es compatible con el analizador de energía Fluke 1736. El valor de la demanda máxima es cercano al valor de la demanda máxima promedio, según las planillas de la Empresa Eléctrica Quito facturado a EMFALU Sangolquí.

Figura 52

Datos de energía consumida y demanda máxima EMFALU Sangolquí

Energía activa, avance	252.711 kWh
Energía activa, retroceso	0.000 kWh
Energía activa total	252.711 kWh
Demanda máx.	10.535 kW
	11/2/2020 09:55:00

Medición de Parámetros Eléctricos en Tablero Principal de EMFALU San

Rafael. Para analizar la calidad de energía en EMFALU San Rafael, se tomó mediciones de las siguientes fechas

Inicio de la Medición: 18/febrero/2020 09h30

Fin de la Medición: 25/febrero/2020 09h30

Nivel de Voltaje

En el caso específico de nivel de voltaje, se basará en la regulación ARCONEL-053/18 la cual establece que en bajo voltaje debe tener un rango del $\pm 8\%$ y para dar con el cumplimiento del índice de nivel de voltaje en el punto de medición debe lograr el 95% o más de los registros de las variaciones de voltaje, en el período de evaluación de al menos siete (7) días consecutivos (ARCONEL, 2019).

Tabla 44

Mediciones del nivel de voltaje de línea EMFALU San Rafael

Voltaje	Voltaje [V]			Muestra total	Muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Cumple
	Promedio	Máximo	Mínimo				
V _{AB}	217.81	231.128	211.011	2016	0	0%	SI
V _{BC}	220.809	233.929	213.125	2016	0	0%	SI
V _{CA}	221.945	233.158	214.563	2016	0	0%	SI

En este caso se hizo el análisis del voltaje de línea de suministro de EMFALU San Rafael en el cual se puede verificar que sí cumple en sus parámetros con la regulación ARCONEL-053/18 ya que el porcentaje de incumplimiento está por debajo del 5%. En la figura 53 se observa la curva de voltaje semanal en EMFALU Sangolquí.

Desbalance Voltaje

De igual manera que en el caso anterior, el desbalance de voltaje no debe superar el 5%.

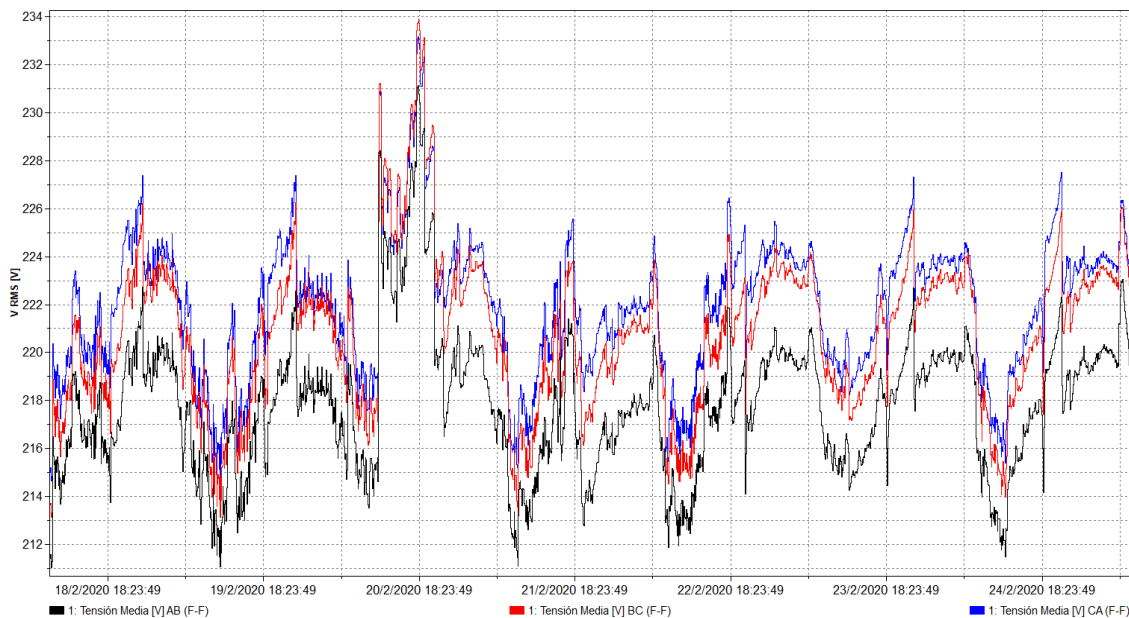
En este caso para hallar el desbalance de voltaje se toman los valores promedios mostrados en la tabla 44:

$$\text{Desbalance de voltaje (\%)} = \frac{221.945 - 220.188}{220.188} \times 100$$

$$\text{Desbalance de voltaje (\%)} = 0.0079\%$$

Figura 53

Curva de voltaje de línea semanal EMFALU San Rafael



En el caso del voltaje de fase, se puede observar en la figura 54 y la tabla 45 que acorde con la regulación ARCONEL-053/18 está en el porcentaje permitido ya que está por debajo del 5%.

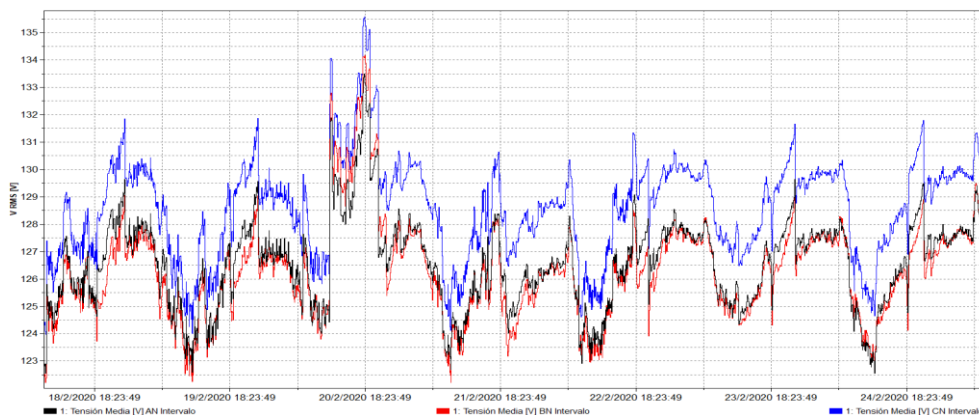
Tabla 45

Mediciones del Nivel de Voltaje de fase EMFALU San Rafael

Voltaje	Voltaje [V]			Muestra total	Muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Cumple
	Promedio	Máximo	Mínimo				
V_{AN}	126.545	133.485	122.556	2016	2	0.099%	SI
V_{BN}	126.292	134.173	122.208	2016	9	0.446%	SI
V_{CN}	128.591	135.594	123.963	2016	23	1.140%	SI

Figura 54

Curva de voltaje de fase semanal EMFALU San Rafael

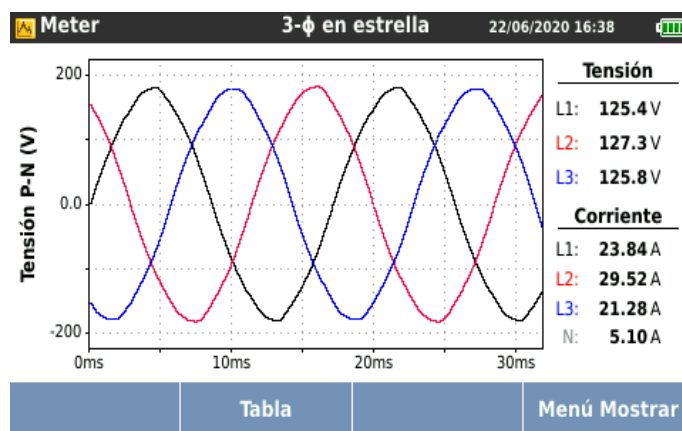


Formas de Onda de Voltaje

Con la ayuda del analizador de redes Fluke 1736, se procedió a verificar la forma de onda de voltaje en configuración estrella, cómo se puede observar en la figura 55, la secuencia trifásica de las ondas de voltaje, las mismas presentan su forma sinusoidal sin ninguna distorsión en sus tres fases. Los valores de voltaje de fase se mantienen cercanos a lo medido conforme a la tabla 45.

Figura 55

Formas de Onda de Voltaje EMFALU San Rafael



Corriente Eléctrica

Para el análisis de las corrientes eléctricas en EMFALU San Rafael, de igual manera en este establecimiento se conectan tanto cargas trifásicas como unas monofásicas.

Por ello se necesita verificar mediante las mediciones realizadas, el desbalance de corriente correspondiente, se puede apreciar en la figura 56 el comportamiento de la corriente durante una semana en EMFALU Sangolquí.

Según la norma NEMA MG1-2009, el desbalance de corriente no debe superar el límite del 10%. En el caso en el cual el desbalance es demasiado alto, se debe buscar alternativas para balancear la carga instalada en el transformador (Gómez Sánchez & Morales Guachamin, 2019). En la tabla 46 y figura 56 se muestra las mediciones realizadas y el comportamiento de la corriente durante una semana en EMFALU San Rafael.

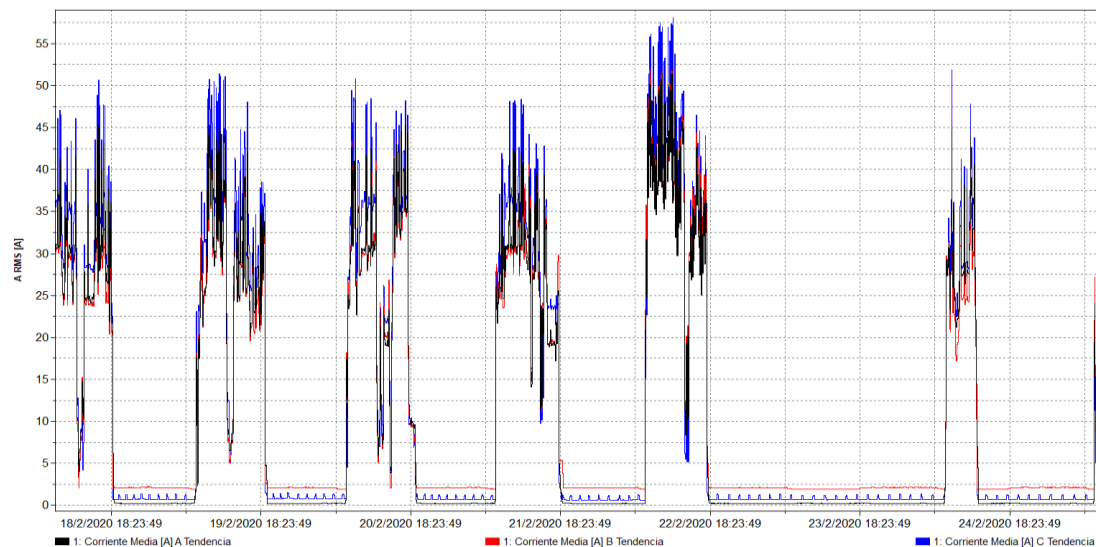
Tabla 46

Mediciones de corriente EMFALU San Rafael en un día laborable

Corriente	Corriente [A]			Desbalance
	Promedio	Máximo	Mínimo	
A	36.11	52.607	3.828	
B	37.213	52.024	5.317	3.925%
C	39.449	58.121	1.079	

Figura 56

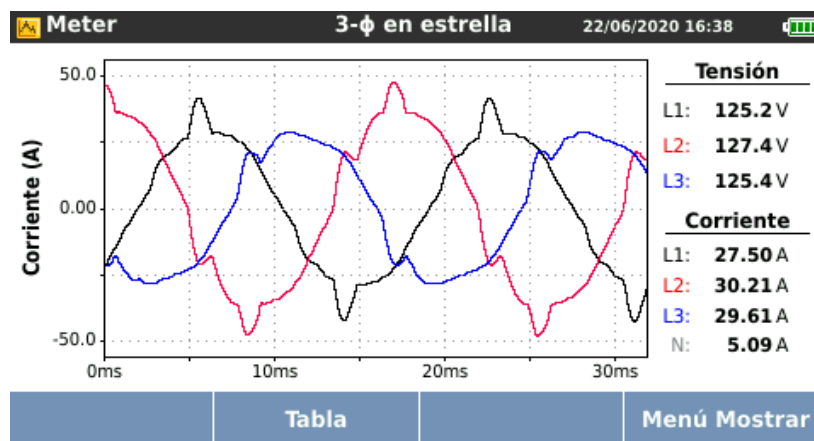
Comportamiento de la corriente durante una semana EMFALU San Rafael



En la figura 57, se puede observar la secuencia trifásica de las ondas de corriente en la cual presentan notorias distorsiones en su forma sinusoidal, una de las razones del comportamiento de la corriente es la presencia de armónicos en la red eléctrica.

Figura 57

Formas de Onda de Corriente EMFALU San Rafael



Distorsión Armónica de Voltaje

La regulación ARCONEL 053/18 establece que el límite de distorsión permitido para voltaje no debe sobrepasar el 8% y no sobrepasar un 5% del total de mediciones tomadas. Los resultados obtenidos en las mediciones para siete días consecutivos, se muestran en la tabla 47.

Las fases medidas no excede el límite establecido de THD de voltaje. En la figura 58 se muestra la representación gráfica de los valores de THD de voltajes medidos durante una semana.

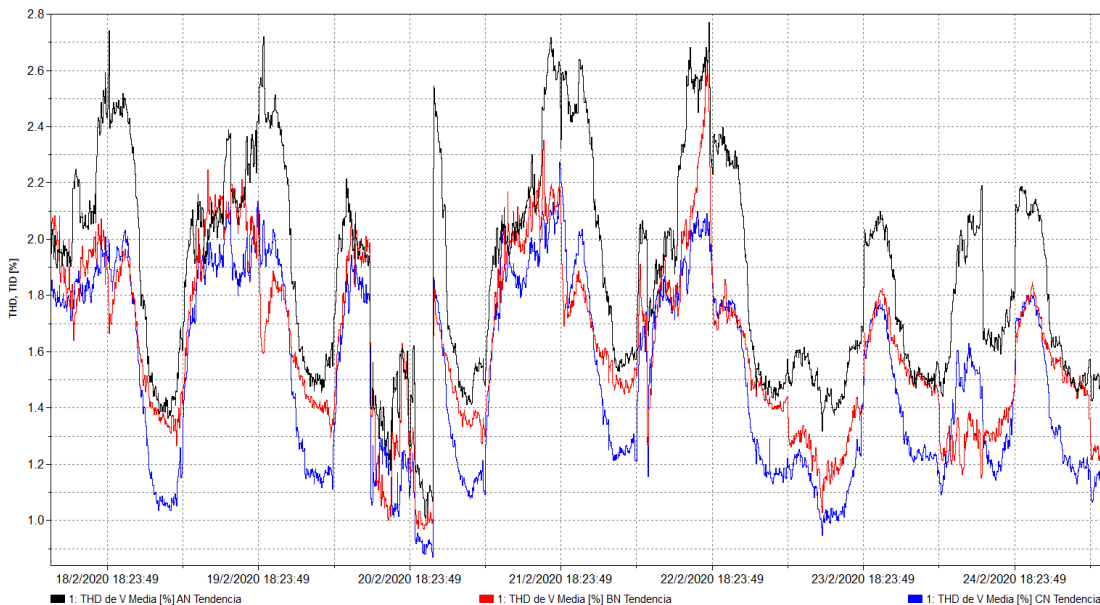
Tabla 47

Distorsión Armónica de Voltaje EMFALU San Rafael

Voltaje	THD [%]			Muestra total	Muestras fuera de la norma	Porcentaje de incumplimiento	Cumple
	Promedio	Máximo	Mínimo				
V_{AN}	1.874	2.771	1.008	2016	0	0.00%	SI
V_{BN}	1.621	2.639	0.967	2016	0	0.00%	SI
V_{CN}	1.519	2.272	0.868	2016	0	0.00%	SI

Figura 58

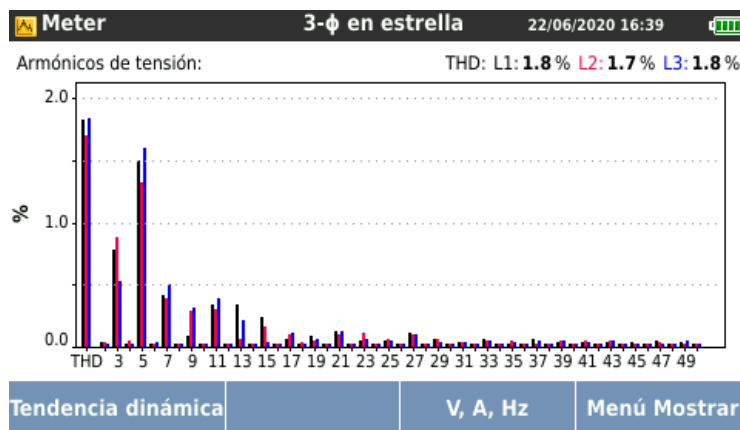
Curva de THD de voltaje durante una semana EMFALU San Rafael



En la figura 59 se puede observar el espectro de armónicos de voltaje tomados con la ayuda del analizador de redes durante un día laborable, observándose que ninguna de las tres fases excede el porcentaje permitido de THD, este valor es medido en un momento específico.

Figura 59

Armónicos de voltaje en un día laborable EMFALU San Rafael



Distorsión Armónica de Corriente

En la regulación nacional de la ARCONEL 053/18 no especifica un valor máximo para la Distorsión Armónica de Corriente, por lo cual se basará como referencia la Norma IEEE 519-92, la cual menciona que el índice de Distorsión Armónica de Corriente “THD” no debe sobrepasar el valor del 10%.

Tabla 48

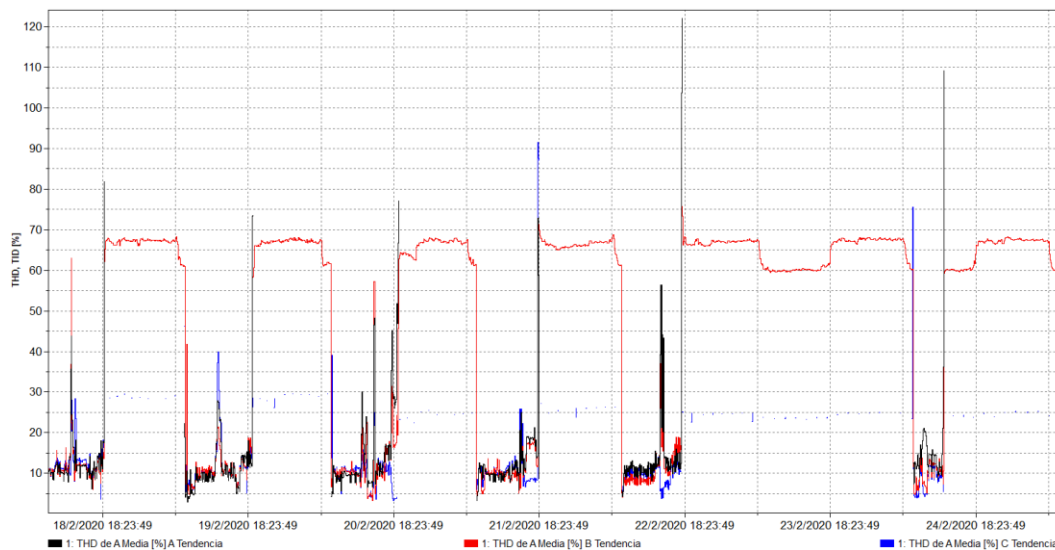
Distorsión Armónica de Corriente en EMFALU San Rafael

Corriente	THD [%]		
	Promedio	Máximo	Mínimo
A	13.538	122.331	1.994
B	46.828	75.717	3.321
C	12.986	91.607	3.284

Cómo se puede observar en la tabla 48, la distorsión armónica de corriente en el establecimiento es muy variado ya que hay momentos en la cual llega hasta una un porcentaje extremadamente alto. El valor promedio de THD de corriente excede a la norma establecida. En la figura 60 se observa la tendencia de la distorsión armónica de corriente de una semana en el porcentaje medido excede de manera notoria al permitido.

Figura 60

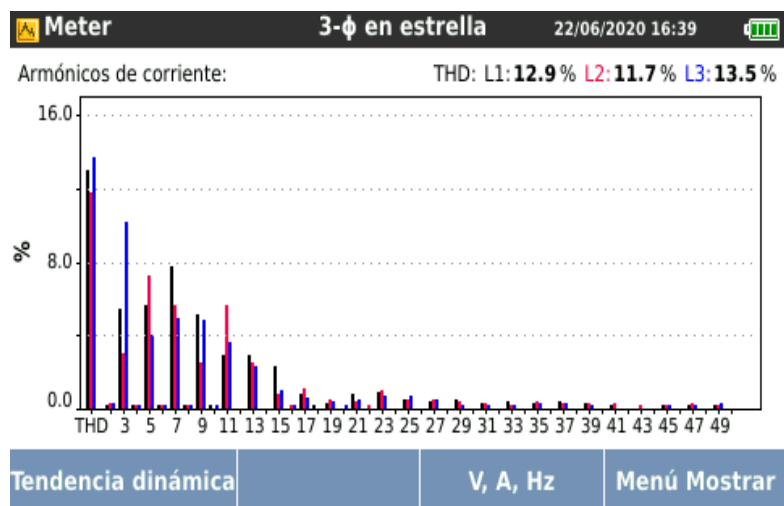
Curva de THD de corriente durante una semana en EMFALU San Rafael



En la figura 61 se puede observar el espectro de armónicos de corriente tomados con la ayuda del analizador de redes durante un día laborable, este valor es medido en un momento específico

Figura 61

Armónicos de corriente en un día laborable EMFALU San Rafael



Potencia Aparente (kVA) en EMFALU San Rafael

Para analizar la potencia aparente en EMFALU San Rafael, se debe tener en cuenta que el establecimiento debe estar trabajando a plena carga, es decir, no se tomarán en cuenta valores en los cuales el establecimiento no esté laborando se tomará de referencia la fecha 20/02/2020 en el horario de 08h00 hasta 18h50 en el cual consta según la figura 62, ser uno de los días que más producción demandó.

Tabla 49

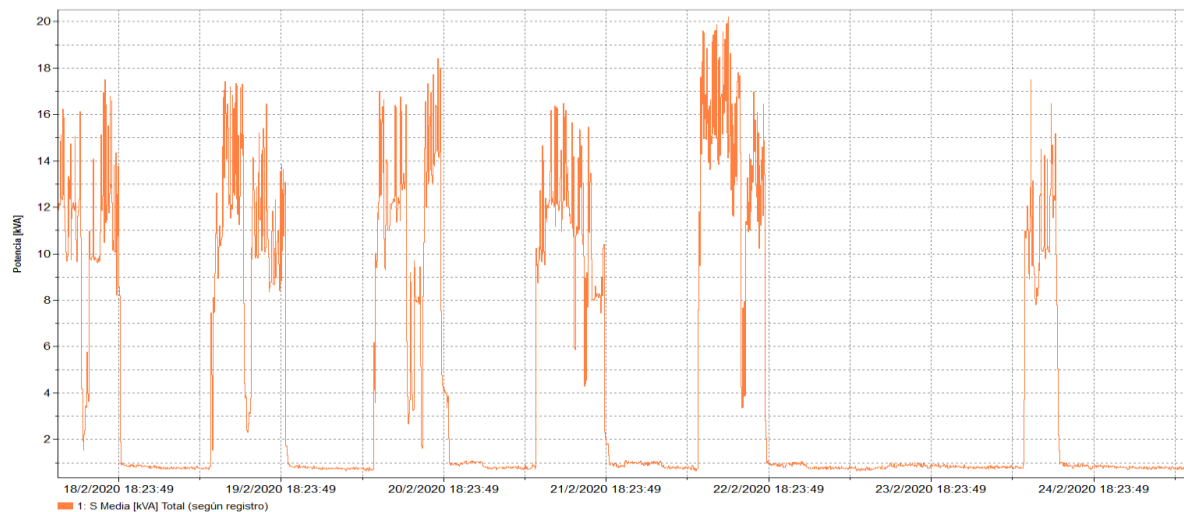
Valores potencia aparente de un día laborable EMFALU San Rafael

Jornada Laborable	Potencia Aparente [kVA]			Muestra total
	Potencia Promedio	Máximo	Mínimo	
L ₁	4.508	6.502	0.493	120
L ₂	4.636	6.427	0.683	
L ₃	4.994	7.273	0.141	
Total	14.245	20.213	2.169	

En el caso de EMFALU San Rafael, se limita el cálculo del porcentaje de carga en la cual está trabajando el transformador, ya que es un transformador de uso compartido con más establecimientos comerciales, por lo que no existe penalización por bajo factor de potencia en la planilla de la Empresa Eléctrica Quito.

Figura 62

Curva de potencia aparente en un día laborable EMFALU Sangolquí



Potencia Real (kW) EMFALU San Rafael

En la tabla 50, se detalla los valores de potencia real en (kW) en las tres líneas y la suma total, al igual que las mediciones de la potencia aparente, se lo realizó en el mismo día laborable. En la figura 63 se observa el comportamiento de la potencia real durante una semana en el establecimiento de San Rafael.

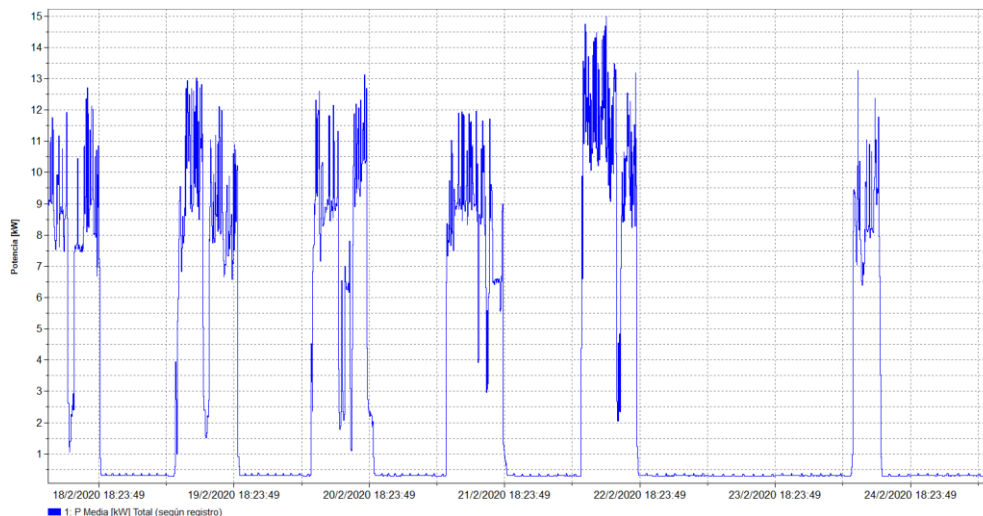
Tabla 50

Valores potencia real de un día laborable en EMFALU San Rafael

Jornada Laborable	Potencia Real [kW]			Muestra total
	Potencia Real Promedio	Potencia Real Máximo	Potencia Real Mínimo	
L ₁	3.366	4.754	0.305	120
L ₂	3.590	4.956	0.538	
L ₃	3.554	5.344	0.101	
Total	10.511	15.001	0.944	

Figura 63

Curva de potencia real durante una semana en EMFALU San Rafael



Factor de Potencia en EMFALU San Rafael

A pesar de que en EMFALU San Rafael no existe una penalización por el bajo factor de potencia en las planillas de la Empresa Eléctrica Quito, se procederá a analizar el mismo ya que es un parámetro muy importante, este valor ayuda a un mejor aprovechamiento de potencias eléctricas suministrada por el transformador, en la tabla 51 se puede observar el registro de los valores en las tres líneas.

Tabla 51

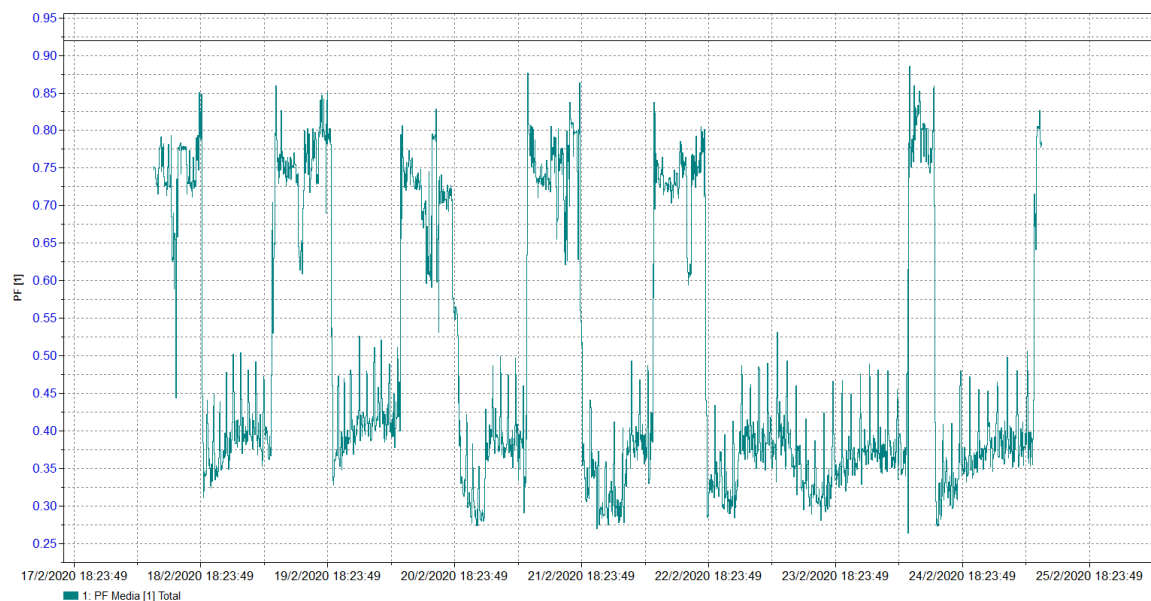
Valores factor de potencia de un día laborable EMFALU San Rafael

Jornada Laborable	Factor de Potencia			Muestra total
	Promedio	Máximo	Mínimo	
A	0.943	0.997	0.623	120
B	0.868	0.992	0.794	
C	0.797	0.971	0.581	
Total	0.847	0.965	0.685	

Los valores registrados en la tabla 51, muestra que el nivel promedio del factor de potencia registrado es de 0.847, lo cual impide que el sistema eléctrico trabaje con una alta eficiencia, según el Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas de Distribución Codificado, avalado por la ARCONEL, recomienda un factor de potencia mayor o igual a 0.92, a pesar de ello en EMFALU San Rafael no existe una penalización por bajo factor de potencia ya que posee otro tipo de tarifa ARCONEL en la cual no implica dicha penalización. En la figura 64 se puede apreciar el comportamiento de factor de potencia durante una semana tanto sus valores máximo medio y mínimo en EMFALU San Rafael.

Figura 64

Curva de factor de potencia en una semana EMFALU San Rafael



En la tabla 52, se muestra la comparación de resultados obtenidos entre la tabla 50 (medidas de potencia real día laborable) y la tabla 49 (medidas de potencia aparente día laborable), como se puede observar los datos son muy diferentes, razón por la cual

existe un bajo factor de potencia.

Tabla 52

Comparación entre Potencias Real y Aparente en EMFALU San Rafael

Rango	Potencia Real [kW]	Potencia Aparente [kVA]
Promedio	10.511	14.245
Máximo	15.001	20.213
Mínimo	0.944	2.169

Energía Consumida (kWh) en EMFALU San Rafael

En el caso de energía consumida durante una semana, se registró el valor de 528.306 kWh con una demanda máxima de 15.012 kW como se indica en la figura 65 que fue capturada desde el software Fluke Energy Analyze Plus, el cual es compatible con el analizador de energía Fluke 1736.

Figura 65

Datos de energía consumida y demanda máxima EMFALU San Rafael

Energía activa, avance	528.306 kWh
Energía activa, retroceso	0.000 kWh
Energía activa total	528.306 kWh
Demanda máx.	15.012 kW
	22/2/2020 12:30:00

Análisis de los Motores y Tableros Eléctricos en Operación.

En esta sección, se analizará a los motores eléctricos en plena operación de EMFALU, sus parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia, y factor de potencia para así determinar sus características más relevantes.

Se examinará a los tableros secundarios de EMFALU, para establecer sus

parámetros eléctricos y su proceder en la red eléctrica.

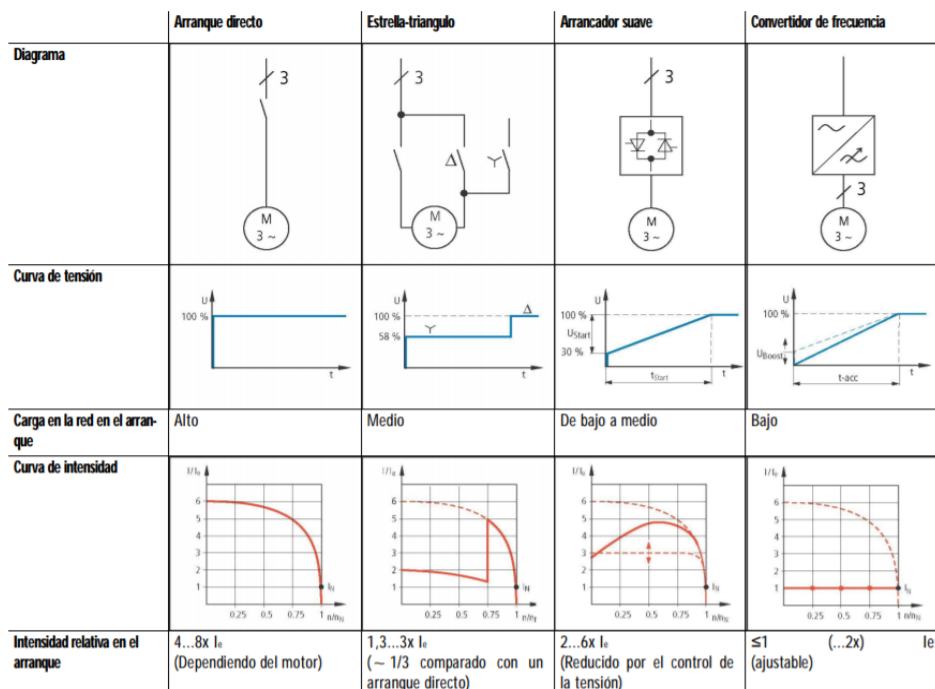
Se podrá analizar las corrientes de arranque según su tipo de arranque de cada equipo eléctrico.

En la figura 66 se puede verificar al comportamiento de la curva de arranque con respecto a su tipo de arranque, se debe verificar si la corriente de arranque de cada equipo eléctrico va acorde con el tipo de curva comparado con la corriente nominal de cada equipo.

El análisis de los Motores y Tableros Eléctricos en Condición de Operación se encuentra detallado en el anexo 6.

Figura 66

Curvas de arranque con respecto a tipos de arranque



Nota. Tomado de: (EATON, 2011)

Sistema de Iluminación
Equipo Utilizado (Luxómetro)
Figura 67

Luxómetro AMPROBE LM631A



Tabla 53

Especificaciones Técnicas Generales Luxómetro AMPROBE LM531A

Parámetro	Rango
Alimentación AC	100 – 240 [V] / Baterías AA
Rango	20000 [lux]
Resolución	0.01 [lux]
Salida Analógica	1 [mV] / 1 [lux]

Nota. Tomado de: (AMPROBE, 2020)

Mediciones de los Niveles de Iluminación

Para analizar los niveles de iluminación en EMFALU Sangolquí y San Rafael se debe concluir que estos sean adecuados, esto gracias a la ayuda de un luxómetro, se tomó medidas de iluminancia en cada uno de los establecimientos.

En los establecimientos de EMFALU existen varias zonas en las cuales el aporte de iluminación natural es muy significativo ya que las estructuras de los galpones se han construido con este fin.

Existen lugares en los cuales no son muy frecuentemente transitados por los trabajadores de la empresa sin embargo se ha hecho el análisis de los mismos.

Cabe mencionar que en ambos establecimientos se ha implementado el uso de la tecnología LED y de lámparas fluorescentes por lo que el cambio de tecnología de iluminación ya se ha elaborado de forma eficaz para un ahorro energético, tomando en cuenta que, como se indicó anteriormente, la luz natural es muy utilizada por los trabajadores de la empresa por lo cual la iluminación artificial es usada únicamente cuando se crea necesario, excepto en las oficinas en las cuales de manera permanente se encuentran utilizando la luz artificial.

En la actualidad, existe la normativa ecuatoriana (NEC-HS-EE) la cual establece entre varios parámetros, los niveles mínimos de iluminación únicamente para construcciones residenciales, por lo que, para verificar si se cumple o no con el nivel de iluminación en EMFALU (que es un establecimiento comercial), se ha utilizado la norma UNE 12464.1, que, a nivel regional, es la norma más utilizada, la cual recomienda los niveles de iluminación para interiores acorde a las necesidades de la empresa.

Mediciones de los Niveles de Iluminación en EMFALU Sangolquí

Tabla 54

Niveles de iluminación de EMFALU Sangolquí

Sector	Ubicación	Nivel de Iluminación [Lux]		Verificación
		Medido	Recomendado	
Almacenamiento de madera	Área de despacho con vehículo	513	150	SI CUMPLE
	Pasillo 1 perchas	80	150	NO CUMPLE
	Pasillo 2 perchas	260	150	SI CUMPLE
	Atención al cliente	200	300	NO CUMPLE

Sector	Ubicación	Nivel de Iluminación [Lux]		Verificación
		Medido	Recomendado	
Recepción	Gerencia comercial	207	300	NO CUMPLE
	Exhibidores	112	300	NO CUMPLE
Instalaciones para trabajadores	Baño	148	200	NO CUMPLE
	Cafetería	52	-	
	Vestidores	91	300	NO CUMPLE
Proceso productivo	Sierra Vertical	197	300	NO CUMPLE
	Contadora de cantos	182	300	NO CUMPLE
	Laminadora	187	300	NO CUMPLE
	Bisagradora	101	300	NO CUMPLE
	Cortadora de fillos	183	300	NO CUMPLE
	Área de despacho	287	150	SI CUMPLE
Bodegas	Bodega 1	56	100	NO CUMPLE
	Bodega 2	182	100	SI CUMPLE
	Bodega 3	179	100	SI CUMPLE
	Bodega 4	142	100	SI CUMPLE
	Cafetería	43	-	
	Oficina producción	200	300	NO CUMPLE

Sector	Ubicación	Nivel de Iluminación [Lux]		Verificación
		Medido	Recomendado	
Área administrativa	Oficina contabilidad	170	300	NO CUMPLE
	Oficina gerencia general	302	300	SI CUMPLE
	Baño	460	200	SI CUMPLE

Mediciones de los Niveles de Iluminación en EMFALU San Rafael

Tabla 55

Niveles de iluminación de EMFALU San Rafael

Sector	Ubicación	Nivel de Iluminación [Lux]		Verificación
		Medido	Recomendado	
Almacenamiento de madera	Área de despacho con vehículo	550	150	SI CUMPLE
	Pasillo 1	416	150	SI CUMPLE
	Pasillo 2	492	150	SI CUMPLE
	Pasillo 3	210	150	SI CUMPLE
	Pasillo 4	1567	150	SI CUMPLE
Recepción y Área administrativa	Pasillo 5	1970	150	SI CUMPLE
	Atención al cliente	504	300	SI CUMPLE
	Exhibidores	378	300	SI CUMPLE
	Oficina gerencia general	482	300	SI CUMPLE
	Baño	591	200	SI CUMPLE
	Baño mujeres	207	200	SI CUMPLE

Sector	Ubicación	Nivel de Iluminación [Lux]		Verificación	
		Medido	Recomendado		
Instalaciones para trabajadores	Baño hombres	210	200	SI CUMPLE	
	Cafetería	169	-		
Proceso productivo	Sierra Vertical 1265	325	300	SI CUMPLE	
	Sierra Vertical 1255	2864	300	SI CUMPLE	
	Laminadora K203	882	300	SI CUMPLE	
	Laminadora K360	15430	300	SI CUMPLE	
	Bisagradora	440	300	SI CUMPLE	
	Contadora de cantos	492	300	SI CUMPLE	
	Compresor y extractor	395	300	SI CUMPLE	
	Área de despacho	416	150	SI CUMPLE	
	Bodegas	Bodega 1	205	100	SI CUMPLE
		Bodega retazos	327	100	SI CUMPLE

En el caso de las cafeterías en cada establecimiento, la norma UNE 12464.1 establece que el alumbrado debería ser diseñado para crear la atmósfera apropiada.

Si en alguna área existe un valor muy alto de nivel de iluminación, consume una condición crítica de iluminación, que puede provocar un deslumbramiento en la visión del personal de trabajo, el deslumbramiento se define como cualquier brillo que produce

desagrado y además ocasiona obstrucción a la visión o también puede provocar una debilidad visual (Universidad Veracruzana, 2014).

Capítulo IV

Oportunidades de Ahorro De Energía

Con el análisis de la calidad de la energía y el análisis de los principales equipos eléctricos, se procede a determinar los ahorros potenciales de energía en EMFALU.

Las medidas a proponerse contemplan la instalación de equipos eléctricos que benefician al sistema eléctrico y brindan eficiencia en los equipos. Estas propuestas se consideraron conforme a la auditoría energética las cuales contemplan: corrección del factor de potencia, implementación de energía fotovoltaica como fuente de energía renovable e implementación de variadores de frecuencia o arrancadores estrella – delta en ciertos equipos eléctricos. De igual manera, se analizará si la implementación, de las oportunidades de energía son viables tanto técnica como financieramente con su tiempo de amortización. Las medidas y acciones para promover el ahorro y eficiencia energética, si bien son parte de actividades del uso racional de la energía, son analizadas a tal punto si son influyentes o no al aplicarlas en la empresa.

Corrección del Factor de Potencia

Corrección del Factor de Potencia en EMFALU Sangolquí

Para la propuesta de la corrección del factor de potencia en EMFALU, se debe considerar los datos de parámetros eléctricos tales como, potencia real y factor de potencia, que serán de vital importancia.

Para corregir el factor de potencia en EMFALU de manera eficiente, se propondrá el uso de condensadores trifásicos los cuales, al conectarse en paralelo a la red eléctrica, suministran la potencia reactiva que optimiza el factor de potencia en el establecimiento.

A partir de la ecuación 2.1, detallada en el capítulo II, se debe analizar la potencia reactiva a compensar en EMFALU Sangolquí, se va a hacer uso de todas las

mediciones en los 7 días que estuvo el analizador de calidad de energía en el establecimiento, para ello se debe extraer los datos de mediciones de la potencia real y el factor de potencia. En el capítulo III, según la figura 50, se aprecia la curva de potencia real durante la semana de medición en EMFALU Sangolquí, claramente se puede observar que la curva decrece por la noche ya que no se labora en esos horarios.

De igual manera, en la figura 51 se aprecia la curva del factor de potencia medida durante toda una semana en EMFALU Sangolquí, se puede observar con una línea horizontal marcada, el factor de potencia mínimo recomendado por la Empresa Eléctrica Quito de 0.92, en ninguna ocasión supera este valor, por lo que da una penalización por bajo factor de potencia.

Para poder analizar todas las mediciones tomadas gracias al analizador de calidad de energía, se debe exportar cada dato a una plantilla en Microsoft Excel, en el que se podrá ver las 2016 muestras de cada dato, en este caso se necesita procesar las muestras de la potencia real (W) y el factor de potencia (en el mismo instante que fue medido la potencia real). Se debe tener muy en cuenta el factor de potencia que se desea alcanzar para evitar la penalización, en este caso se ha elegido el valor de 0.98.

En la tabla 56 y 57 se puede observar las 20 primeras y 20 últimas muestras respectivamente, de mediciones en la cual constan los siguientes datos: el número de muestra, la hora en la que fue medida la muestra, la potencia real en vatios (W), el factor de potencia medido en la muestra, el ángulo inicial ϕ_i ($\cos^{-1} fp$), el ángulo final ϕ_f ($\cos^{-1} 0.98$) y la potencia reactiva Q_c que se debe compensar para corregir el factor de potencia medida en kVAr. Estos datos fueron analizados en una hoja de Microsoft Excel la cual se maneja en radianes, no existe inconvenientes de conversión de unidades con respecto a los radianes ya que no afecta a la medida final (Q_c).

Tabla 56

Valores calculados iniciales de Qc necesarios para corregir el factor de potencia en

EMFALU Sangolquí

# muestra	Hora	Potencia Total [W]	Factor de Potencia	ϕ inicial [ϕ_i]	ϕ final [ϕ_f]	Qc [Var]=P[tan ϕ_i - tan ϕ_f]	Qc = [kVar]
1	10/2/20 20 17:15	2462.7 4	0.5088 37	1.036963 047	0.200334 84	3666.4430 98	3.666443 1
2	10/2/20 20 17:20	2630.5 7	0.5342 86	1.007133 472	0.200334 84	3627.7134 87	3.627713 49
3	10/2/20 20 17:25	2298.3	0.4948 61	1.053121 462	0.200334 84	3569.1075 72	3.569107 57
4	10/2/20 20 17:30	3004.6 9	0.6006 14	0.926527 497	0.200334 84	3389.7238 81	3.389723 88
5	10/2/20 20 17:35	5872.6	0.6590 58	0.851230 761	0.200334 84	5509.1072 03	5.509107 2
6	10/2/20 20 17:40	9131.9 7	0.6862 65	0.814454 865	0.200334 84	7824.3743 09	7.824374 31
7	10/2/20 20 17:45	6968	0.7102 62	0.780925 995	0.200334 84	5491.0401 89	5.491040 19
8	10/2/20 20 17:50	7022.1	0.6765 52	0.827726 095	0.200334 84	6217.3255 89	6.217325 59
9	10/2/20 20 17:55	9241.6 5	0.6968 38	0.799816 964	0.200334 84	7635.4778 85	7.635477 88
10	10/2/20 20 18:00	6906.0 2	0.7143 6	0.775087 223	0.200334 84	5362.7262 12	5.362726 21
11	10/2/20 20 18:05	4877.1 8	0.6198 86	0.902198 912	0.200334 84	5183.4969 5	5.183496 95
12	10/2/20 20 18:10	2552.8 7	0.5311 41	1.010849 672	0.200334 84	3553.9910 59	3.553991 06
13	10/2/20 20 18:15	1920.3	0.4907 91	1.057798 943	0.200334 84	3019.0814 25	3.019081 42
14	10/2/20	2099.5	0.5089	1.036801	0.200334	3124.3994	3.124399

# muestra	Hora	Potencia Total [W]	Factor de Potencia	φ inicial [φ_i]	φ final [φ_f]	Qc [Var]=P[tan $\varphi_i - \tan$ φ_f]	Qc = [kVar]
	20 18:20	3	76	573	84	46	45
15	10/2/20 20 18:25	1892.1	0.4831 54	1.066542 813	0.200334 84	3044.5142 01	3.044514 2
16	10/2/20 20 18:30	1843.6 6	0.4762 35	1.074428 331	0.200334 84	3029.7539 5	3.029753 95
17	10/2/20 20 18:35	1804.0 2	0.4803 79	1.069709 54	0.200334 84	2927.4016 22	2.927401 62
18	10/2/20 20 18:40	1804.5 1	0.5051 35	1.041257 945	0.200334 84	2716.6453 76	2.716645 38
19	10/2/20 20 18:45	1717.2 4	0.4787 75	1.071537 462	0.200334 84	2800.2309 49	2.800230 95
20	10/2/20 20 18:50	1791.7 6	0.4920 6	1.056341 863	0.200334 84	2806.1812 18	2.806181 22

Tabla 57

Valores calculados finales de Qc necesarios para corregir el factor de potencia en

EMFALU Sangolquí

# muestra	Hora	Potencia Total [W]	Factor de Potencia	φ inicial [φ_i]	φ final [φ_f]	Qc [Var]=P[tan $\varphi_i - \tan$ φ_f]	Qc = [kVar]
1997	17/2/20 20 15:35	2845.7 7	0.5585 82	0.978121 081	0.200334 84	3647.8811 25	3.647881 13
1998	17/2/20 20 15:40	2905.2 5	0.5637 95	0.971822 789	0.200334 84	3666.0236 51	3.666023 65
1999	17/2/20 20 15:45	2993.2 7	0.5712 49	0.962769 547	0.200334 84	3692.9536 98	3.692953 7
2000	17/2/20 20 15:50	2946.9 7	0.5682 71	0.966393 255	0.200334 84	3668.7272 69	3.668727 27
2001	17/2/20 20 15:55	2559.2 1	0.5394 77	1.000980 481	0.200334 84	3474.6723 23	3.474672 32

# muestra	Hora	Potencia Total [W]	Factor de Potencia	ϕ inicial [ϕ_i]	ϕ final [ϕ_f]	Qc [Var]=P[tan $\phi_i - \tan$ ϕ_f]	Qc = [kVar]
2002	17/2/20 20 16:00	2544.6 3	0.5374 11	1.003432 238	0.200334 84	3476.3958 77	3.476395 88
2003	17/2/20 20 16:05	2767.6 1	0.5587 85	0.977876 32	0.200334 84	3545.5206 05	3.545520 6
2004	17/2/20 20 16:10	2783.2 2	0.5651 49	0.970182 476	0.200334 84	3497.7105 24	3.497710 52
2005	17/2/20 20 16:15	2720.2 9	0.5552 11	0.982179 688	0.200334 84	3522.6329	3.522632 9
2006	17/2/20 20 16:20	2571.5 4	0.5385 71	1.002056 12	0.200334 84	3500.9330 71	3.500933 07
2007	17/2/20 20 16:25	4401.4 2	0.7077 5	0.784488 1	0.200334 84	3499.6696 94	3.499669 69
2008	17/2/20 20 16:30	7345.9	0.6085 46	0.916569 371	0.200334 84	8087.0985 51	8.087098 55
2009	17/2/20 20 16:35	8442.5 9	0.7066 71	0.786014 261	0.200334 84	6738.6583 24	6.738658 32
2010	17/2/20 20 16:40	6970.9 6	0.7211 14	0.765387 421	0.200334 84	5281.8954 7	5.281895 47
2011	17/2/20 20 16:45	9044.1 6	0.6890 17	0.810664 489	0.200334 84	7676.6394 28	7.676639 43
2012	17/2/20 20 16:50	8820.3 1	0.7121 17	0.778287 302	0.200334 84	6904.7132 68	6.904713 27
2013	17/2/20 20 16:55	6892.2 9	0.7096 89	0.781739 654	0.200334 84	5442.5034 18	5.442503 42
2014	17/2/20 20 17:00	8656.5 1	0.6807 96	0.821947 511	0.200334 84	7555.8190 28	7.555819 03
2015	17/2/20 20 17:05	6406.4 8	0.5962 34	0.931994 454	0.200334 84	7325.2365 53	7.325236 55
2016	17/2/20 20 17:10	3178.9 6	0.5543 76	0.983183 308	0.200334 84	4126.9520 37	4.126952 04

En la figura 68, se muestra los 2016 datos procesados de la potencia reactiva Q_c necesaria para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU Sangolquí, la curva tiene sus valores máximo y mínimo en la tabla 58.

Figura 68

Curva de potencia reactiva necesaria para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU Sangolquí

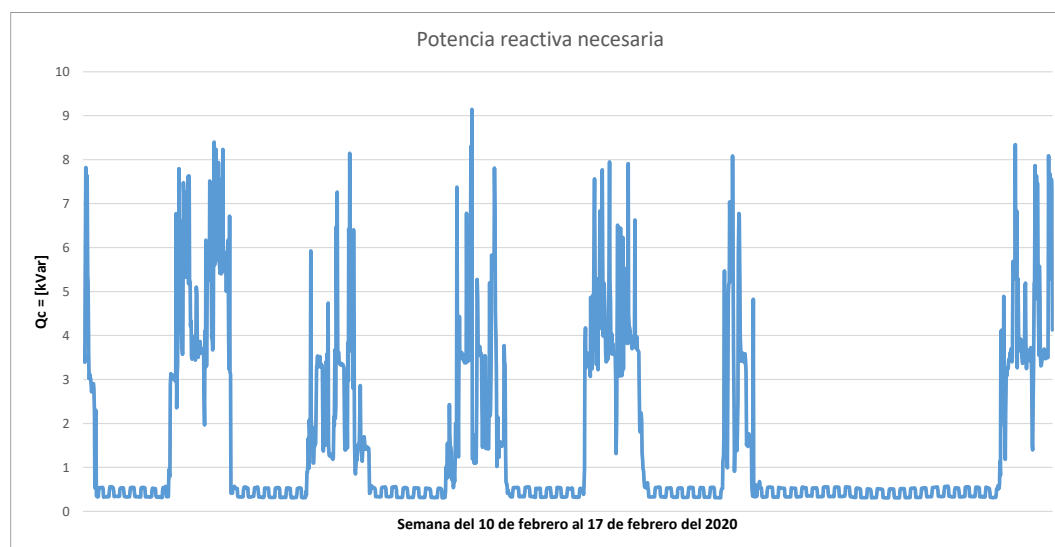


Tabla 58

Valores máximos y mínimos de potencia reactiva Q_c calculada EMFALU Sangolquí

Qc = [kVar]	
Máximo	Mínimo
9.142059796	0.306563764

Según los datos hallados de la potencia reactiva necesaria para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU Sangolquí, es preciso instalar un banco de condensadores automático, su rango de compensación de potencia reactiva, según la tabla 58, se encuentra entre 0.30 kVAr y 9.14 kVAr.

Por los requerimientos obtenidos de una potencia reactiva variable, según la

figura 68, se propone el siguiente diseño: la instalación en EMFALU Sangolquí de un banco de condensadores automático de 10 kVAr compuestos por 4 unidades de 2.5 kVAr.

Análisis Financiero.. En este análisis, se tomarán en cuenta los indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN) y el Periodo Simple de Recuperación (PSR), las cuales fueron detalladas en el capítulo 2.

La inversión en la corrección del factor de potencia en EMFALU Sangolquí, se la halló gracias a la cotización de la empresa “IELECTRIC Proyectos y Suministros Eléctricos”, el detalle de la cotización y elementos a utilizarse en la implementación del sistema automático para la corrección del factor de potencia en EMFALU Sangolquí se encuentra en el anexo 7.

En cuanto a las penalizaciones por el bajo factor de potencia en EMFALU Sangolquí, se detallan en la tabla 59 y 60:

Tabla 59

Penalizaciones por bajo factor de potencia EMFALU Sangolquí 2018

Mes	Factor de potencia	Penalización [\$]
Enero	0.8161	16.95
Febrero	0.8085	23.61
Marzo	0.8216	17.25
Abril	0.8137	19.22
Mayo	0.8246	16.43
Junio	0.8402	12.99
Julio	0.8447	13.74
Agosto	0.8271	18.17
Septiembre	0.8247	16.22
Octubre	0.8326	14.97
Noviembre	0.8306	14.07
Diciembre	0.8303	14.78
Promedio	0.8262	16.53
Total		198.40

Tabla 60

Penalizaciones por bajo factor de potencia EMFALU Sangolquí 2019

Mes	Factor de potencia	Penalización [\$]
Enero	0.8361	10.70
Febrero	0.8247	17.22
Marzo	0.8392	11.74
Abril	0.8333	14.31
Mayo	0.8454	11.56
Junio	0.8259	14.75
Julio	0.8376	12.32
Agosto	0.8235	15.97
Septiembre	0.8122	19.01
Octubre	0.8191	16.94
Noviembre	0.8142	17.35
Diciembre	0.8092	19.03
Promedio	0.8267	15.08
Total		180.90

Para establecer un valor de ahorro, es decir, evitar el pago de la penalización por el bajo factor de potencia en EMFALU Sangolquí, se basará en la penalización anual del 2018 y 2019, se hará un promedio entre los dos años, entre los valores de \$198.40 y \$180.90, es decir, \$189.65.

Según la información proporcionada por la empresa "IELECTRIC Proyectos y Suministros Eléctricos", el tiempo de vida útil del sistema de corrección automática del factor de potencia, es de 15 años.

En la tabla 61 se detalla las pérdidas en los conductores y su ahorro si se corrigiera el factor de potencia.

Tabla 61

Pérdida de potencias en conductores de EMFALU Sangolquí

Acometida	Tipo de conductor	Longitud [m]	Resistencia [Ω/km]	Corriente promedio medida [A]	Potencia perdida [W]	Potencia total perdida [W]
Transformador 50 kVA al Tablero principal (220V)	2 AWG	41	0.523	Fase 1=15.748 Fase 2 =17.081 Fase 3=26.988	5.32 6.26 15.62	27.20

Considerando la potencia perdida de 27.20 W, las horas laborables promedio al mes y la tarifa asignada a EMFALU Sangolquí da como resultado el valor de USD 0.53, lo que genera un gasto anual aproximado de USD 6.36 por pérdidas en los conductores.

Al corregir el factor de potencia también se logra disminuir las pérdidas en los conductores, en el caso de EMFALU Sangolquí se reduciría esta pérdida según los datos de la tabla 62:

Tabla 62

Potencias perdidas y ahorro anual de EMFALU Sangolquí

Potencia perdida antes de la corrección del factor de potencia [W]	Potencia perdida después de la corrección del factor de potencia [W]	Ahorro anual [USD]
27.20	7.84	4.56

Tomando en cuenta los valores de penalización por bajo factor de potencia y por

las pérdidas de potencia en los conductores, se tiene que el ahorro anual por la corrección del factor de potencia en EMFALU Sangolquí, es de USD 194.21

Con respecto a la tasa de interés, en Ecuador, se considera específicamente para las PYMES el valor de 11.83%, los detalles de las diferentes tasas de interés se encuentran en el anexo 8. Dados todos estos datos, se procede a hallar los siguientes parámetros:

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 194.21 \text{ (ahorro anual)}$$

$$I_0 = 1307.33 \text{ (inversión)}$$

$$n = 15 \text{ (vida útil del proyecto)}$$

$$k = 11.83\% \text{ (tasa de interés del proyecto)}$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -1307.33 + \sum_{t=1}^{15} \frac{194.21}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = 27.50$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = I_0$$

$$194.21 \left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 1307.33$$

$$\left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 6.73$$

$$TIR = 12\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{1307.33}{194.21}$$

$$PSR = 6.73 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN > 0$$

$$TIR > 11.83\%$$

$$PSR < \text{vida útil del proyecto (15 años)}$$

Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de la corrección del factor de potencia en EMFALU Sangolquí es viable financieramente.

Corrección del Factor de Potencia en EMFALU San Rafael

De igual manera que en EMFALU Sangolquí, para la corrección del factor de potencia en EMFALU San Rafael, se utilizará la misma metodología de dimensionamiento para la propuesta del uso de condensadores trifásicos conectados en paralelo a la red eléctrica, que suministran la potencia reactiva que optimiza el factor de potencia en el establecimiento.

En el capítulo III, según la figura 63, se aprecia la curva de potencia real durante la semana de medición en EMFALU San Rafael, se puede observar que la curva decrece por la noche ya que no se labora en esos horarios.

De igual manera, en la figura 64 se aprecia la curva del factor de potencia medida durante toda una semana en EMFALU San Rafael, se puede observar con una

línea horizontal marcada, el factor de potencia mínimo recomendado por la Empresa Eléctrica Quito de 0.92.

El criterio de análisis de potencia reactiva necesaria para corregir el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael, es el mismo que se utilizó para EMFALU Sangolquí, se analizan las 2016 muestras durante la semana de medición y se ingresará en una hoja de Microsoft Excel para su respectivo análisis.

En la tabla 63 y 64 se puede observar las 20 primeras y 20 últimas muestras respectivamente, de mediciones en la cual constan los siguientes datos: el número de muestra, la hora en la que fue medida la muestra, la potencia real en vatios (W), el factor de potencia medido en la muestra, el ángulo inicial ϕ_i ($\cos^{-1} \text{fp}$), el ángulo final ϕ_f ($\cos^{-1} 0.98$) y la potencia reactiva Q_c que se debe compensar para corregir el factor de potencia medida en kVar.

Tabla 63

Valores calculados iniciales de Q_c necesarios para corregir el factor de potencia en EMFALU San Rafael

# muestra	Hora	Potencia Total [W]	Factor de Potencia	ϕ inicial [ϕ_i]	ϕ final [ϕ_f]	Q_c [Var]= $P[\tan \phi_i - \tan \phi_f]$	$Q_c =$ [kVar]
1	18/2/20 20 09:25	8945.7 2	0.7517 93	0.720019 3	0.200334 84	6029.8034 74	6.029803 47
2	18/2/20 20 09:30	9050.6 6	0.7473 84	0.726680 45	0.200334 84	6207.8336 7	6.207833 67
3	18/2/20 20 09:35	9123.7	0.7503 9	0.722144 43	0.200334 84	6184.1388 95	6.184138 89
4	18/2/20 20 09:40	9079.1 2	0.7507 91	0.721537 56	0.200334 84	6144.1422 32	6.144142 23
5	18/2/20 20 09:45	10974. 3	0.7389 42	0.739297 59	0.200334 84	7777.9657 09	7.777965 71
6	18/2/20	11127.	0.7360	0.743616	0.200334	7974.8410	7.974841

# muestra	Hora	Potencia Total [W]	Factor de Potencia	ϕ inicial [ϕ_i]	ϕ final [ϕ_f]	Qc [Var]=P[tan $n\phi_i - \tan$ ϕ_f]	Qc = [kVar]
	20 09:50	4	25	75	84	91	09
7	18/2/20 20 09:55	9051.8 6	0.7283 78	0.754844 64	0.200334 84	6676.9059 94	6.676905 99
8	18/2/20 20 10:00	9001.5 2	0.7292 4	0.753585 73	0.200334 84	6618.4391 88	6.618439 19
9	18/2/20 20 10:05	11758. 3	0.7249 83	0.759786 61	0.200334 84	8783.2941 13	8.783294 11
10	18/2/20 20 10:10	9293.5 2	0.7411 26	0.736050 34	0.200334 84	6531.6182 06	6.531618 21
11	18/2/20 20 10:15	11351. 2	0.7148 12	0.774441 09	0.200334 84	8800.1750 07	8.800175 01
12	18/2/20 20 10:20	8772.5	0.7295 85	0.753081 4	0.200334 84	6441.7348 24	6.441734 82
13	18/2/20 20 10:25	8264.2 5	0.7493 37	0.723736 04	0.200334 84	5624.9872 53	5.624987 25
14	18/2/20 20 10:30	8272.8 7	0.7535 99	0.717276 15	0.200334 84	5536.2174 65	5.536217 47
15	18/2/20 20 10:35	7823.8 1	0.7761 21	0.682305 45	0.200334 84	4768.0090 67	4.768009 07
16	18/2/20 20 10:40	7542.7 5	0.7797 51	0.676528 31	0.200334 84	4524.7209 68	4.524720 97
17	18/2/20 20 10:45	7644.9 5	0.7864 86	0.665697 82	0.200334 84	4451.0178 36	4.451017 84
18	18/2/20 20 10:50	7825.1 5	0.7909 92	0.658367 65	0.200334 84	4463.7314 7	4.463731 47
19	18/2/20 20 10:55	9923.7 6	0.7451 99	0.729963 11	0.200334 84	6865.1821 84	6.865182 18
20	18/2/20 20 11:00	8344.3 7	0.7778 43	0.679570 04	0.200334 84	5047.4413 56	5.047441 36

Tabla 64

Valores calculados finales de Qc necesarios para corregir el factor de potencia en

EMFALU San Rafael

# muestra	Hora	Potencia Total [W]	Factor de Potencia	φ inicial [φ_i]	φ final [φ_f]	Qc [Var]=P[tan φ_i - tan φ_f]	Qc = [kVar]
1997	25/2/2020 07:45	294.105	0.416733	1.14094793	0.20033484	581.8171925	0.58181719
1998	25/2/2020 07:50	308.546	0.440936	1.11415507	0.20033484	565.4017658	0.56540176
1999	25/2/2020 07:55	3954.76	0.515781	1.02887731	0.20033484	5765.871172	5.76587117
2000	25/2/2020 08:00	6650.84	0.715167	0.77393332	0.20033484	5149.549732	5.14954973
2001	25/2/2020 08:05	3752.82	0.672184	0.83364165	0.20033484	3371.54046	3.37154046
2002	25/2/2020 08:10	2127.36	0.689313	0.81025599	0.20033484	1803.863194	1.80386319
2003	25/2/2020 08:15	1297.71	0.640761	0.87530725	0.20033484	1291.365542	1.29136554
2004	25/2/2020 08:20	6068.6	0.67654	0.82774239	0.20033484	5373.318412	5.37331841
2005	25/2/2020 08:25	5957.29	0.791839	0.65698203	0.20033484	3385.061605	3.38506160
2006	25/2/2020 08:30	6324.8	0.805866	0.63365972	0.20033484	3362.746521	3.36274652
2007	25/2/2020 08:35	6173.57	0.803707	0.63729708	0.20033484	3317.011695	3.31701169
2008	25/2/2020 08:40	6120.55	0.805413	0.63442439	0.20033484	3261.362498	3.26136250
2009	25/2/2020 08:45	6110.72	0.803352	0.63789345	0.20033484	3288.887131	3.28888713
2010	25/2/2020 08:50	6053.67	0.802079	0.64002806	0.20033484	3278.23652	3.27823652
2011	25/2/2020 08:55	6805.7	0.826344	0.59821178	0.20033484	3256.229143	3.25622914
2012	25/2/2020 09:00	7966.12	0.819086	0.61098037	0.20033484	3961.714596	3.96171459
2013	25/2/2020 09:05	7691.52	0.781987	0.67294896	0.20033484	4568.814307	4.56881430
2014	25/2/2020 09:10	7546.89	0.777196	0.68059889	0.20033484	4577.896101	4.57789610
2015	25/2/2020 09:15	7622.94	0.780321	0.67561739	0.20033484	4561.412666	4.56141266
2016	25/2/2020 09:20	7763.35	0.786014	0.66646168	0.20033484	4529.545105	4.52954510

En la figura 69, se muestra la curva de los 2016 datos procesados de la potencia reactiva Q_c necesarias para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael, la curva tiene sus valores máximo y mínimo en la tabla 65.

Figura 69

Curva de potencia reactiva necesaria para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael

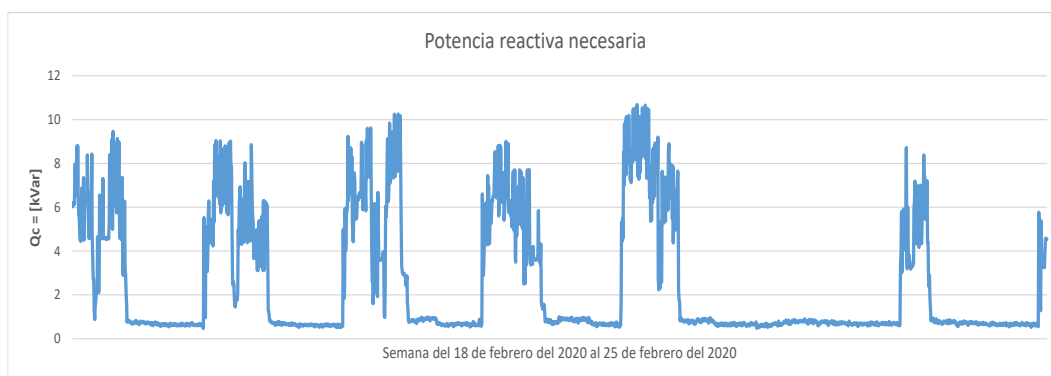


Tabla 65

Valores máximos y mínimos de potencia reactiva Q_c calculada EMFALU San Rafael

Qc = [kVar]	
Máximo	Mínimo
10.67853393	0.480557792

Con el análisis realizado, y según los datos de la potencia reactiva necesaria para compensar el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael, es necesario instalar un banco de capacitores automático, su rango de compensación de potencia reactiva, según la tabla 65, se encuentra entre 0.48 kVAr y 10.68 kVAr.

Por los requerimientos obtenidos de una potencia reactiva variable, según la figura 69, se propone el siguiente diseño: la instalación en EMFALU San Rafael de un banco de condensadores automático de 12.5 kVAr compuestos por 5 unidades de 2.5

kVAr.

Análisis Financiero

En este análisis, se tomarán en cuenta los indicadores como la Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Actual Neto (VAN) y el Periodo Simple de Recuperación (PSR), las cuales fueron detalladas en el capítulo 2.

La inversión en la corrección del factor de potencia en EMFALU San Rafael, se la halló gracias a la cotización de la empresa “IELECTRIC Proyectos y Suministros Eléctricos”, el detalle de la cotización y elementos a utilizarse en la implementación del sistema automático para la corrección del factor de potencia en EMFALU San Rafael se encuentra en el anexo 7.

La tarifa implementada por la Empresa Eléctrica Quito no da una penalización por el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael, actualmente existe una gestión para cambiar la tarifa (con medición de energía reactiva) y cobrar la respectiva penalización por el bajo factor de potencia, por ello, se hará un estimado para calcular la posible penalización y consecuentemente evitar este cobro implementando la corrección del factor de potencia.

Ante la carencia de la penalización por bajo factor de potencia, se procede a calcular un valor estimado para EMFALU San Rafael, según los parámetros del Pliego Tarifario de la ARCONEL.

El cálculo del factor de potencia se basa en la siguiente ecuación:

$$P_{BFP} = \begin{cases} P_{BFP} = 0 & \text{si } FP_r \geq 0.92 \\ P_{BFP} = B_{FP} \times FSPEE_i & \text{si } FP_r < 0.92 \rightarrow B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1 \end{cases} \quad (4.1)$$

Donde:

P_{BFP} = Penalización por bajo factor de potencia

B_{FP} = Factor de penalización

FP_r = Factor de potencia registrado o calculado

$FSPEE_i$ = Factura por servicio público de energía eléctrica inicial

Para un cálculo más aproximado, se procede a calcular el mes de febrero, ya que en ese mes se colocó el analizador de calidad de energía durante una semana y se puede utilizar los datos medidos como el factor de potencia promedio.

El factor de potencia promedio medido durante la semana de medición del mes de febrero fue de 0.838, este valor se utilizará para hallar el factor de penalización, mediante la fórmula:

$$B_{FP} = \frac{0.92}{FP_r} - 1$$

$$B_{FP} = \frac{0.92}{0.838} - 1$$

$$B_{FP} = 0.0978$$

Para hallar el valor de la Factura por servicio público de energía eléctrica inicial se debe considerar los datos en la facturación eléctrica como: valor consumo, comercialización y valor demanda, entonces se tiene los valores del mes de febrero del 2020:

$$FSPEE_i = \text{valor consumo} + \text{comercialización} + \text{valor demanda}$$

$$FSPEE_i = 189.46 + 1.41 + 62.73$$

$$FSPEE_i = 253.6$$

Con estos valores se puede hallar la penalización aproximada por el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael:

$$P_{BFP} = B_{FP} \times FSPEE_i$$

$$P_{BFP} = 0.0978 \times 253.6$$

$$P_{BFP} = \$ 24.80$$

Como solo se tiene la medición de mes de febrero, se procede a realizar un cálculo aproximado de penalización anual por el bajo factor de potencia. En cálculos simples se multiplica el valor de la penalización aproximada por 12 meses, a este valor se le debe agregar un rango de error del $\pm 5\%$, es decir, con una probabilidad de error del 5% (un nivel de confianza del 95%), según el error de la confianza (Molina, 2014).

$$\text{Penalización Anual} = (\$24.80 \times 12) \pm 5\% (\$24.80 \times 12)$$

$$\text{Penalización Anual}_1 = \$312.48; \text{Penalización Anual}_2 = \$282.72$$

La Empresa Eléctrica Quito, se encuentra realizando la gestión para cambiar la tarifa en EMFALU San Rafael, esto llevará en un futuro, a pagar por un bajo factor de potencia en el detalle de facturación, es por ello, que se ve la necesidad de realizar el análisis financiero para deducir si es viable en ese ámbito. Para establecer un valor de ahorro, es decir, evitar en un futuro, el pago de la penalización por el bajo factor de potencia en EMFALU San Rafael, se basará en la supuesta penalización del 2020, para ello se considerará los valores anteriormente calculados de penalización anual.

El tiempo de vida útil del sistema de corrección automática del factor de potencia, es de 15 años.

En el Ecuador, se considera una tasa de interés, específicamente para las PYMES del 11.83%, los detalles de las diferentes tasas de interés se encuentran en el anexo 8. Dados todos estos datos, se procede a hallar los siguientes parámetros:

Caso 1:

$$\text{Penalización Anual}_1 = \$312.48$$

En la tabla 66 se detalla las pérdidas en los conductores y su ahorro si se corrigiera el factor de potencia.

Tabla 66

Pérdida de potencias en conductores de EMFALU San Rafael

Acometida	Tipo de conductor	Longitud [m]	Resistencia [Ω/km]	Corriente promedio medida [A]	Potencia perdida [W]	Potencia total perdida [W]
Transformador 50 kVA al Tablero principal (220V)	2 AWG	71	0.523	Fase 1=36.11 Fase 2 =37.213 Fase 3=39.449	48.42 51.42 57.79	157.63

Considerando la potencia perdida de 157.63 W, las horas laborables promedio al mes y la tarifa asignada a EMFALU Sangolquí da como resultado el valor de USD 3.05, lo que genera un gasto anual aproximado de USD 36.62 por pérdidas en los conductores.

Al corregir el factor de potencia también se logra disminuir las pérdidas en los conductores, en el caso de EMFALU Sangolquí se reduciría esta pérdida según los datos de la tabla 67:

Tabla 67*Potencias pérdidas y ahorro anual de EMFALU San Rafael*

Potencia perdida antes de la corrección del factor de potencia [W]	Potencia perdida después de la corrección del factor de potencia [W]	Ahorro anual [USD]

Potencia perdida antes de la corrección del factor de potencia [W]	Potencia perdida después de la corrección del factor de potencia [W]	Ahorro anual [USD]
157.63	42.37	26.78

Tomando en cuenta los valores de penalización por bajo factor de potencia y por las pérdidas de potencia en los conductores, se tiene que el ahorro anual por la corrección del factor de potencia en EMFALU Sangolquí, es de USD 339.26

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 339.26 \text{ (ahorro anual)}$$

$$I_0 = 1390.31 \text{ (inversión)}$$

$$n = 15 \text{ (vida útil del proyecto)}$$

$$k = 11.83\% \text{ (tasa de interés del proyecto)}$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -1390.31 + \sum_{t=1}^{15} \frac{339.26}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = 941.47$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = I_0$$

$$339.26 \left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 1390.31$$

$$\left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 4.09$$

$$TIR = 23\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{1390.31}{339.26}$$

$$PSR = 4.09 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN > 0$$

$$TIR > 11.83\%$$

$$PSR < \text{vida útil del proyecto (15 años)}$$

Para el caso 1 (Penalización Anual₁=\$339.26), según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de la corrección del factor de potencia en EMFALU San Rafael es viable financieramente.

Caso 2:

$$\text{Penalización Anual}_2 = \$282.72$$

Tomando en cuenta los valores de penalización por bajo factor de potencia (*Penalización Anual*₂) y por las pérdidas de potencia en los conductores, se tiene que el

ahorro anual por la corrección del factor de potencia en EMFALU Sangolquí, es de USD 309.50

Valor Actual Neto (VAN)

$F_t = 309.50$ (ahorro anual)

$I_0 = 1390.31$ (inversión)

$n = 15$ (vida útil del proyecto)

$k = 11.83\%$ (tasa de interés del proyecto)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -1390.31 + \sum_{t=1}^{15} \frac{309.50}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = 736.93$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = I_0$$

$$309.50 \left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 1390.31$$

$$\left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 4.49$$

$$TIR = 21\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{1390.31}{309.50}$$

$$PSR = 4.49 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN > 0$$

$$TIR > 11.83\%$$

$$PSR < \text{vida útil del proyecto (15 años)}$$

Para el caso 2 (Penalización Anual₂=\$309.50), según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de la corrección del factor de potencia en EMFALU San Rafael es viable financieramente, siempre y cuando exista una penalización por el bajo factor de potencia.

Implementación de Energía Fotovoltaica

Implementación de Energía Fotovoltaica en EMFALU Sangolquí

Las mediciones realizadas para el análisis de la calidad de la energía en EMFALU, serán de vital importancia para el dimensionamiento de un sistema de microgeneración fotovoltaica, de igual manera, se analizará la parte financiera.

El dimensionamiento debe analizar varios factores como la HSP (hora solar pico, que quiere decir, la irradiación solar máxima promedio en horas de un lugar en específico), ubicación geográfica del establecimiento, consumo promedio diario de energía, entre otros.

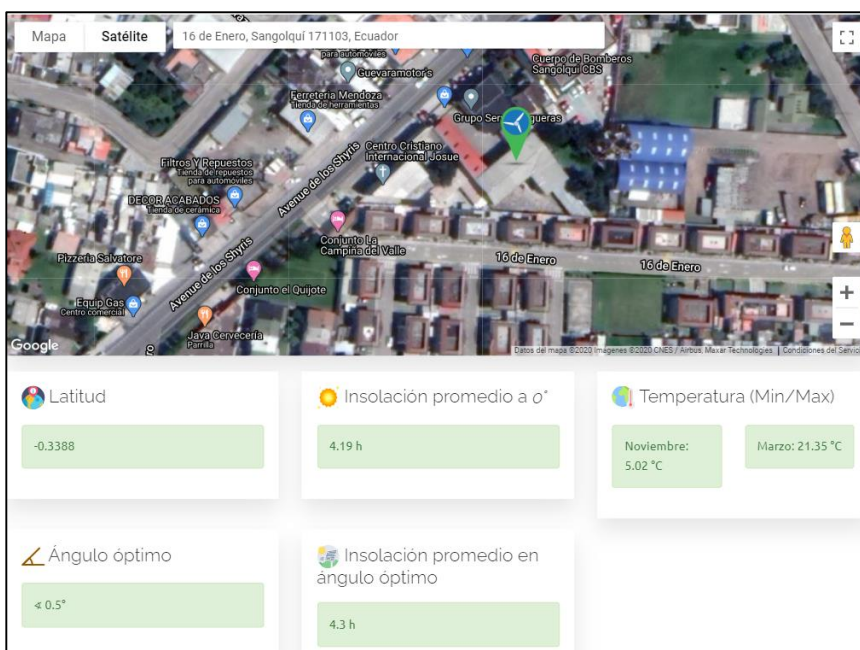
Existen varias fuentes para recopilar las horas solar pico en cualquier parte del

mundo, para ello, se utilizará fuentes con bases de datos de la NASA, para un dimensionamiento más exacto.

La aplicación “Solar App CCEEA” es gratuita y disponible en la web, brinda información importante, al momento de localizar el lugar en el cual se desea instalar el sistema de microgeneración fotovoltaica, como se muestra en la figura 70.

Figura 70

Datos preliminares de HSP en EMFALU Sangolquí

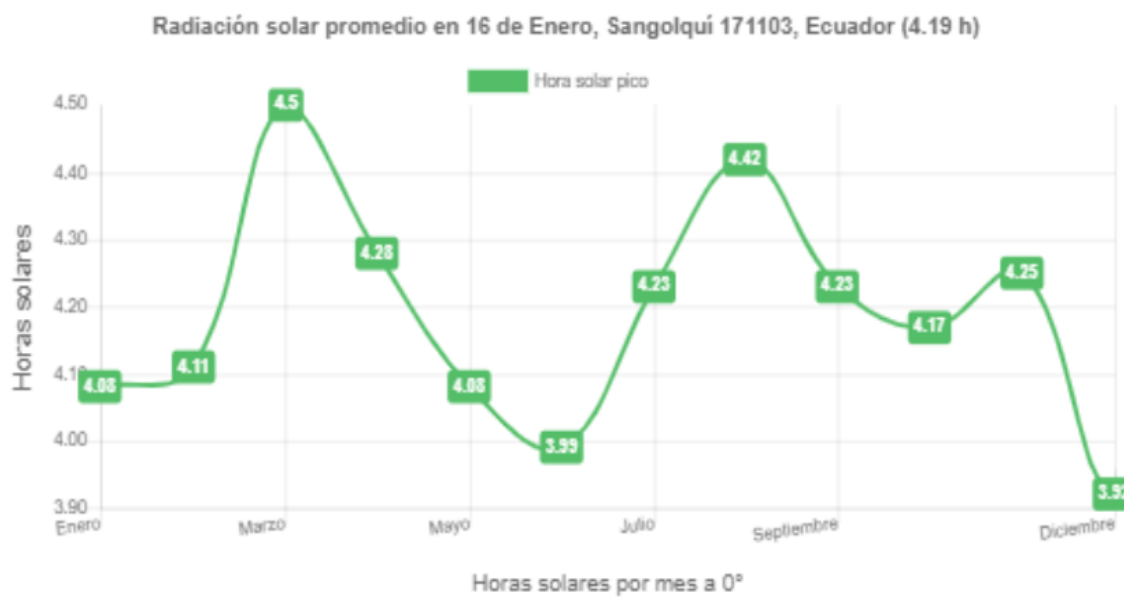


Nota. En el gráfico, se muestra los datos para el dimensionamiento de Energía Fotovoltaica en EMFALU Sangolquí, estos datos pueden hallarse de manera gratuita en la página web de Solar App CCEEA. Tomado de: (Solar App CCEEA, 2020)

Las horas solares pico son variables en todo el año, por lo que se debe hacer un promedio de todos los meses del año 2019, en la figura 71 se puede observar el comportamiento de las horas solares pico en la localización de EMFALU Sangolquí.

Figura 71

Horas solar pico 2019 en EMFALU Sangolquí



Nota. En el gráfico, se muestra los datos de hora solar pico (HSP) en EMFALU Sangolquí, en cada mes del año 2019, estos datos pueden hallarse de manera gratuita en la página web de Solar App CCEEA. Tomado de: (Solar App CCEEA, 2020)

Figura 72

Radiación promedio mensual 2019 en EMFALU Sangolquí

Latitud: **-0.3388** | Longitud: **-78.4450** | Radiación promedio mensual incidente en una superficie inclinada apuntada por el ecuador (kWh/m²/día)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio anual
Difusa	2.16 h	2.28 h	2.18 h	2.11 h	2.17 h	2.28 h	2.35 h	2.22 h	2.05 h	1.96 h	1.98 h	2.13 h	2.28 h
Directa	2.97 h	2.8 h	3.14 h	2.85 h	3.06 h	2.99 h	3.1 h	3.01 h	3.08 h	3.17 h	3.47 h	3.39 h	2.8 h
Ángulo HORIZONTAL	4.08 h	4.11 h	4.5 h	4.28 h	4.07 h	3.98 h	4.22 h	4.42 h	4.23 h	4.18 h	4.26 h	3.93 h	4.19 h
Ángulo LATITUDE	4.08 h	4.11 h	4.5 h	4.28 h	4.08 h	3.99 h	4.23 h	4.42 h	4.23 h	4.17 h	4.25 h	3.92 h	4.19 h
Ángulo LAT_MINUS15	4.24 h	4.17 h	4.43 h	4.08 h	3.76 h	3.6 h	3.83 h	4.14 h	4.12 h	4.2 h	4.4 h	4.11 h	4.09 h
Ángulo LAT_PLUS15	3.73 h	3.87 h	4.36 h	4.3 h	4.23 h	4.19 h	4.43 h	4.51 h	4.16 h	3.97 h	3.91 h	3.57 h	4.1 h
Ángulo VERTICAL	1.52 h	1.57 h	1.62 h	1.98 h	2.32 h	2.53 h	2.54 h	2.2 h	1.65 h	1.51 h	1.47 h	1.46 h	1.86 h
Rad opt	4.26 h	4.17 h	4.5 h	4.32 h	4.23 h	4.22 h	4.45 h	4.51 h	4.24 h	4.21 h	4.41 h	4.13 h	4.3 h
Ang opt	20.5°	12°	2°	9.5°	19°	24°	22.5°	14°	2.5°	9°	18.5°	22.5°	0.5°

Nota. En el gráfico, se muestra la radiación promedio mensual en EMFALU Sangolquí.

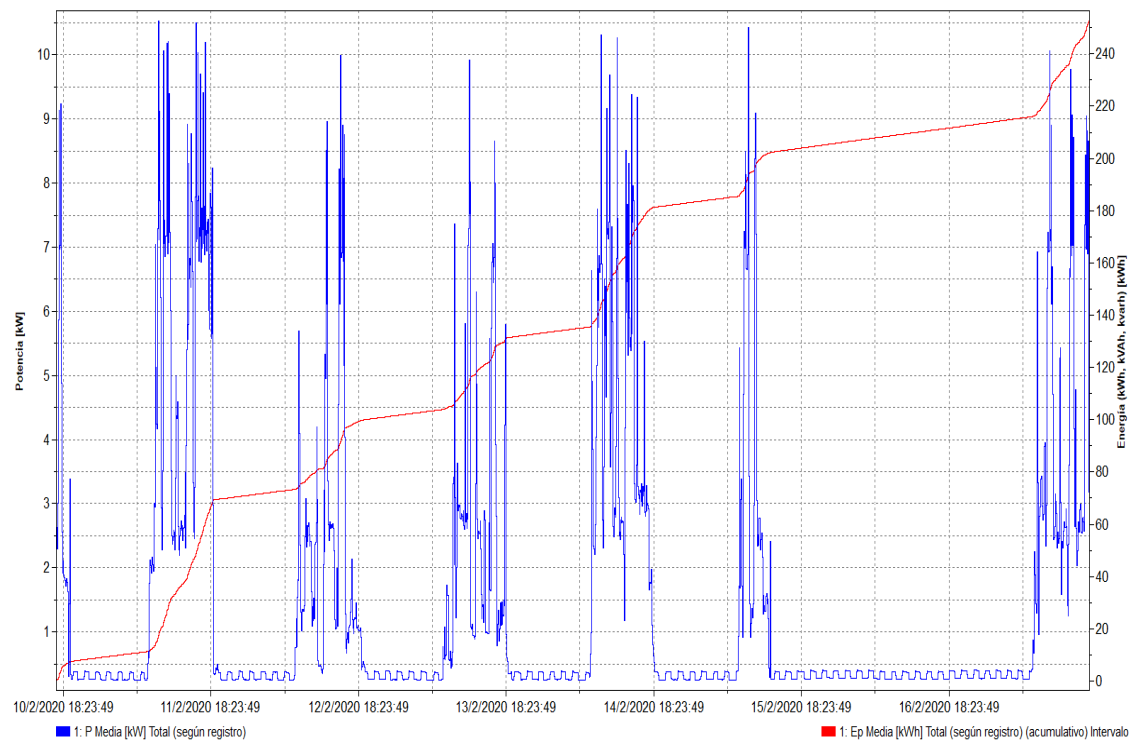
Tomado de: (Solar App CCEEA, 2020)

Según la figura 72, en la ubicación de EMFALU Sangolquí, el promedio máximo de horas solar pico durante el 2019 es de 4.3 horas con un ángulo de inclinación de 0.5° apuntando hacia el norte, son los datos que se necesitan para ubicar a los paneles solares y aprovechar su máxima radiación con respecto a la ubicación geográfica de EMFALU Sangolquí.

Según la figura 73, se tiene los consumos diarios de una semana de medición en EMFALU Sangolquí, se debe considerar los días enteros, es decir, desde las 8h00 hasta las 18h00 que es la jornada laboral en la empresa.

Figura 73

Consumo de energía (kWh) durante una semana en EMFALU Sangolquí



Nota. En el gráfico, se muestra el registro de potencia (kW) y energía eléctrica (kWh) durante una semana laborable en EMFALU Sangolquí.

Los datos de la figura 73, se reflejan en la tabla 68:

Tabla 68

Consumo diario y promedio de energía eléctrica (kWh) en días enteros EMFALU Sangolquí

Fecha	Consumo Diario [kWh]
11/02/2020	52.850 kWh
12/02/2020	25.520 kWh
13/02/2020	25.827 kWh
14/02/2020	45.261 kWh
Consumo Promedio	37.3645 kWh / día

Con la ayuda del “Método de Potencia”, se dimensiona el número de paneles solares con la información hallada anteriormente:

$$\# \text{ Paneles} = \frac{E \times 1.3}{HSP \times W_p}$$

Donde se tiene:

E = Consumo diario promedio de energía eléctrica en Wh

HSP = Horas solar pico en la ubicación determinada

W_p = Potencia pico del panel solar

El valor de 1.3 en la fórmula, significa el sobredimensionamiento para tener valores más exactos en el número de paneles solares a implementarse, es decir, se sobredimensiona un 30% más a lo establecido, el panel solar elegido posee una potencia pico de 280 W.

Con las especificaciones dadas se tiene:

$$\# \text{ Paneles} = \frac{E \times 1.3}{HSP \times W_p}$$

$$\# \text{ Paneles} = \frac{37364.5 \text{ Wh} \times 1.3}{4.3 \text{ h} \times 280 \text{ W}_p}$$

$$\# \text{ Paneles} = 40.34 \approx 40 \text{ paneles}$$

La potencia para seleccionar el inversor se halla con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia Inversor} = \frac{E \text{ [kWh]} \times 1.3}{HSP}$$

$$\text{Potencia Inversor} = \frac{37.3645 \text{ kWh} \times 1.3}{4.3 \text{ h}}$$

$$\text{Potencia Inversor} = 11.29 \approx 15 \text{ kW}$$

La inversión en la implementación de un sistema fotovoltaico ON – GRID para EMFALU Sangolquí es alrededor de \$ 18 580.80, la cotización de la empresa “ZENSOR” se encuentra en el anexo 9.

El ahorro anual se halla mediante el pago anual de energía eléctrica del año 2019 durante los horarios laborales que es aproximadamente de \$983.36; y con respecto a la vida útil del sistema fotovoltaico, según el fabricante es de 40 años.

Análisis Financiero.

Valor Actual Neto (VAN)

$F_t = 983.36$ (ahorro anual)

$I_0 = 18\,580.80$ (inversión)

$n = 40$ (vida útil del proyecto)

$k = 11.83\%$ (tasa de interés del proyecto)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -18\,580.80 + \sum_{t=1}^{40} \frac{983.36}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = -10\,115.49$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = I_0$$

$$983.36 \left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 18\,580.80$$

$$\left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 18.89$$

$$TIR = 2\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\textit{Inversión Inicial}}{\textit{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{18\,580.80}{983.36}$$

$$PSR = 18.89 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN < 0$$

$$TIR < 11.83\%$$

$$PSR < \textit{vida útil del proyecto (40 años)}$$

Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de implementación de un sistema de microgeneración fotovoltaica en EMFALU Sangolquí NO es viable financieramente.

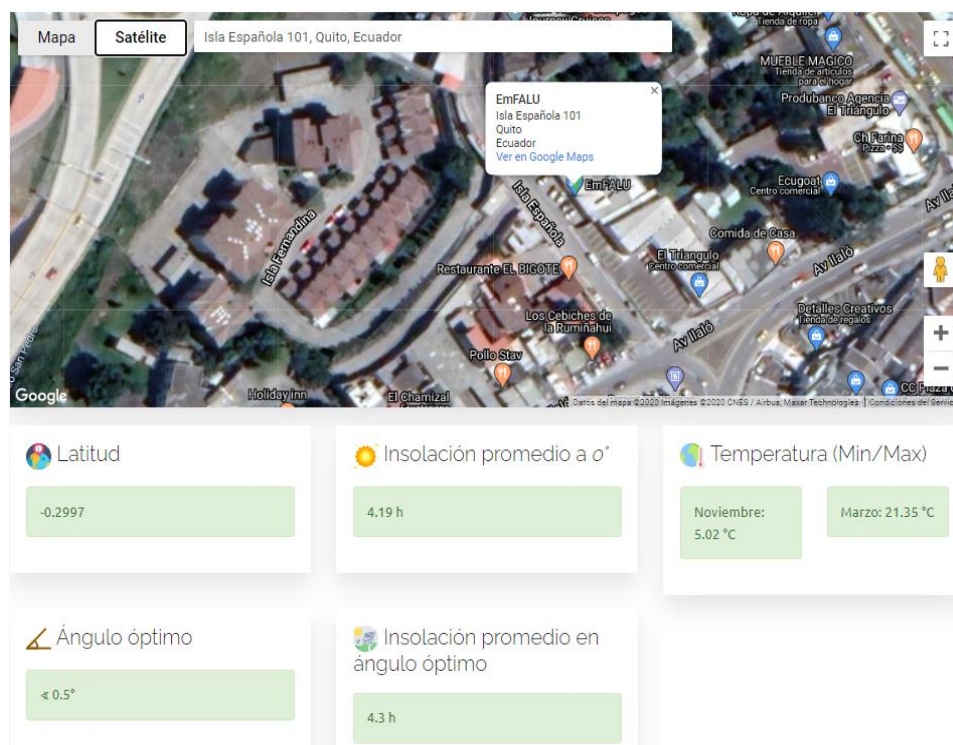
Implementación de Energía Fotovoltaica en EMFALU San Rafael

Se realizará el dimensionamiento de la misma manera que en EMFALU

Sangolquí, para ello en el dimensionamiento debe analizar varios factores como la HSP (hora solar pico), ubicación geográfica del establecimiento, consumo promedio diario de energía, entre otros.

Figura 74

Datos preliminares de HSP en EMFALU San Rafael

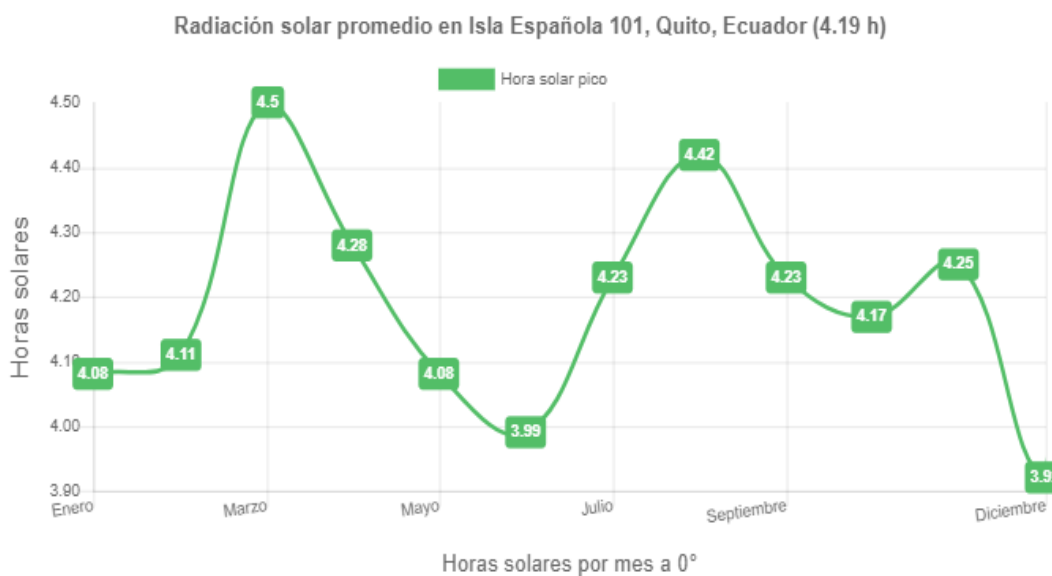


Nota. En el gráfico, se muestra los datos para el dimensionamiento de Energía Fotovoltaica en EMFALU San Rafael, estos datos pueden hallarse de manera gratuita en la página web de Solar App CCEEA. Tomado de: (Solar App CCEEA, 2020)

Las horas solares pico son variables en todo el año, por lo que se debe hacer un promedio de todos los meses del año 2019, en la figura 75 se puede observar el comportamiento de las horas solares pico en la localización de EMFALU San Rafael.

Figura 75

Horas solar pico 2019 en EMFALU San Rafael



Nota. En el gráfico, se muestra los datos de hora solar pico (HSP) en EMFALU San Rafael, en cada mes del año 2019, estos datos pueden hallarse de manera gratuita en la página web de Solar App CCEEA. Tomado de: (Solar App CCEEA, 2020)

Figura 76

Radiación promedio mensual 2019 en EMFALU San Rafael

Latitud: -0.2997 | Longitud: -78.4607 | Radiación promedio mensual incidente en una superficie inclinada apuntada por el ecuador (kWh/m²/día)

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Promedio anual
Difusa	2.16 h	2.28 h	2.18 h	2.11 h	2.17 h	2.28 h	2.35 h	2.22 h	2.05 h	1.96 h	1.98 h	2.13 h	2.28 h
Directa	2.97 h	2.8 h	3.14 h	2.85 h	3.06 h	2.99 h	3.1 h	3.01 h	3.08 h	3.17 h	3.47 h	3.39 h	2.8 h
Ángulo HORIZONTAL	4.08 h	4.11 h	4.5 h	4.28 h	4.07 h	3.98 h	4.22 h	4.42 h	4.23 h	4.18 h	4.26 h	3.93 h	4.19 h
Ángulo LATITUDE	4.08 h	4.11 h	4.5 h	4.28 h	4.08 h	3.99 h	4.23 h	4.42 h	4.23 h	4.17 h	4.25 h	3.92 h	4.19 h
Ángulo LAT_MINUS15	4.24 h	4.17 h	4.43 h	4.08 h	3.76 h	3.6 h	3.83 h	4.14 h	4.12 h	4.2 h	4.41 h	4.11 h	4.09 h
Ángulo LAT_PLUS15	3.73 h	3.87 h	4.36 h	4.3 h	4.23 h	4.19 h	4.43 h	4.51 h	4.16 h	3.97 h	3.91 h	3.57 h	4.1 h
Ángulo VERTICAL	1.52 h	1.57 h	1.62 h	1.98 h	2.32 h	2.53 h	2.54 h	2.2 h	1.65 h	1.51 h	1.47 h	1.46 h	1.86 h
Rad opt	4.26 h	4.17 h	4.5 h	4.32 h	4.23 h	4.22 h	4.45 h	4.51 h	4.24 h	4.21 h	4.41 h	4.13 h	4.3 h
Ang opt	20.5°	12°	2°	9.5°	19°	24°	22.5°	14°	2.5°	9°	18.5°	22.5°	0.5°

Nota. En el gráfico, se muestra la radiación promedio mensual en EMFALU San Rafael.

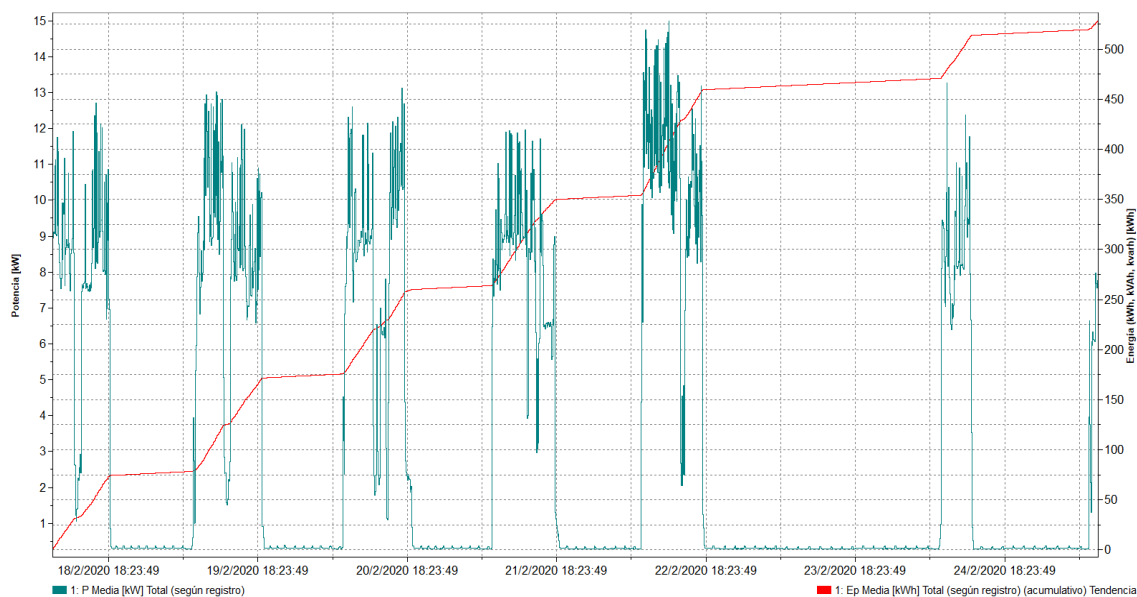
Tomado de: (Solar App CCEEA, 2020)

Según la figura 76, en la ubicación de EMFALU San Rafael, el promedio máximo de horas solar pico durante el 2019 es de 4.3 horas con un ángulo de inclinación de 0.5° apuntando hacia el norte, son los datos que se necesitan para ubicar a los paneles solares y aprovechar su máxima radiación con respecto a la ubicación geográfica de EMFALU San Rafael.

En la figura 77, se tiene los consumos diarios de una semana de medición en EMFALU San Rafael, se debe considerar los días enteros, es decir, desde las 8h00 hasta las 18h00 que es la jornada laboral en la empresa.

Figura 77

Consumo de energía (kWh) durante una semana en EMFALU San Rafael



Nota. En el gráfico, se muestra el registro de potencia (kW) y energía eléctrica (kWh) durante una semana laborable en EMFALU San Rafael.

Los datos de la figura 77, se reflejan en la tabla 69:

Tabla 69

Consumo diario y promedio de energía eléctrica (kWh) en días enteros EMFALU San Rafael

Fecha	Consumo Diario [kWh]
19/02/2020	83.648 kWh
20/02/2020	81.495 kWh
21/02/2020	84.468 kWh
22/02/2020	105.114 kWh
Consumo Promedio	88.681 kWh / día

Con la ayuda del “Método de Potencia”, se dimensiona el número de paneles solares con la información hallada anteriormente:

$$\# \text{ Paneles} = \frac{E \times 1.3}{HSP \times W_p}$$

Donde se tiene:

E = Consumo diario promedio de energía eléctrica en Wh

HSP = Horas solar pico en la ubicación determinada

W_p = Potencia pico del panel solar

Con las especificaciones dadas se tiene:

$$\# \text{ Paneles} = \frac{E \times 1.3}{HSP \times W_p}$$

$$\# \text{ Paneles} = \frac{88681 \text{ Wh} \times 1.3}{4.3 \text{ h} \times 280 \text{ W}_p}$$

$$\# \text{ Paneles} = 95.75 \approx 96 \text{ paneles}$$

La potencia para seleccionar el inversor se halla con la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia Inversor} = \frac{E \text{ [kWh]} \times 1.3}{HSP}$$

$$Potencia\ Inversor = \frac{88.681\ kWh \times 1.3}{4.3\ h}$$

$$Potencia\ Inversor = 26.81 \approx 30\ kW$$

La inversión en la implementación de un sistema fotovoltaico ON – GRID para EMFALU San Rafael es alrededor de \$42 900.48, la cotización de la empresa “ZENSOR” se encuentra en el anexo 9.

El ahorro anual se halla mediante el pago anual de energía eléctrica del año 2019 durante los horarios laborales que es aproximadamente de \$1514.37; y con respecto a la vida útil del sistema fotovoltaico, según el fabricante es de 40 años.

Análisis Financiero.

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 1\ 514.37\ (\text{ahorro anual})$$

$$I_0 = 42\ 900.48\ (\text{inversión})$$

$$n = 25\ (\text{vida útil del proyecto})$$

$$k = 11.83\% \ (\text{tasa de interés del proyecto})$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -42\ 900.48 + \sum_{t=1}^{40} \frac{1\ 514.37}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = -30\ 245.57$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = I_0$$

$$1\,514.37 \left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 42\,900.48$$

$$\left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 28.33$$

$$TIR = -1\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{42\,900.48}{1\,514.37}$$

$$PSR = 28.33 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN < 0$$

$$TIR < 11.83\%$$

$$PSR < \text{vida útil del proyecto (40 años)}$$

Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de implementación de un sistema de microgeneración fotovoltaica en EMFALU San Rafael NO es viable financieramente.

Implementación de Variadores de Frecuencia en las Sierras Verticales y Extractores

Análisis para Implementación de Variadores de Frecuencia en la Sierra Vertical y Extractor en EMFALU Sangolquí

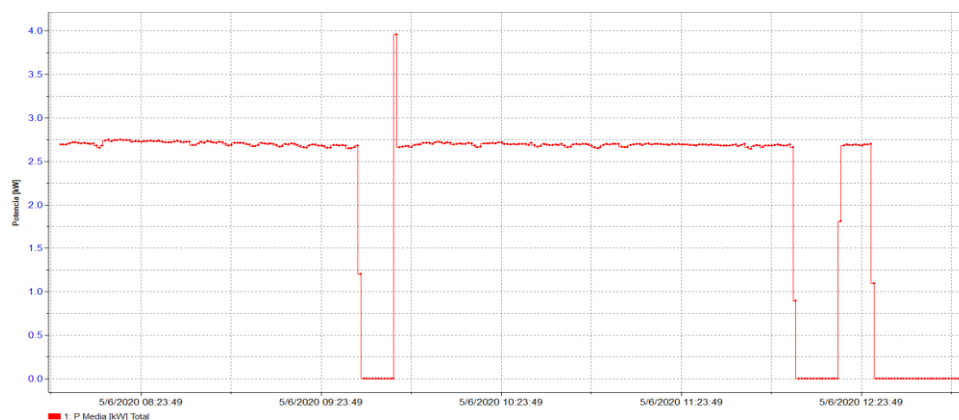
Escenario Actual. En EMFALU Sangolquí, para analizar la posibilidad de generar un ahorro energético, se vio la necesidad de proponer la implementación de

Variadores de Velocidad tanto en la Sierra Vertical como en el extractor. Utilizando en analizador de calidad de la energía, en modo carga, se realizó mediciones continuas de los equipos eléctricos mencionados que se detalla a continuación:

Análisis de Ahorro Energético en Extractor CORAL de 5.5 kW. El uso del Extractor CORAL de 5.5 kW es muy frecuente, ya que se lo utiliza para evitar la acumulación de residuos de madera expulsadas por la laminadora y las sierras verticales, su accionamiento es manual y se lo apaga cuando no existe mayor producción en la empresa. El comportamiento por consumo de potencia se lo indica en la figura 78.

Figura 78

Curva de potencia Extractor CORAL EMFALU Sangolquí



Escenario Propuesto

Se propone la posibilidad de implementar un Variador de Frecuencia para el posible ahorro del consumo de energía eléctrica, considerando que el Extractor CORAL de 5.5 kW es el equipo que más energía consume en EMFALU Sangolquí, no por su potencia nominal, más bien por su constante uso y las horas que permanece encendido para las necesidades de los trabajadores. Por tal, se analizará si la implementación de un Variador de Frecuencia en el Extractor CORAL de 5.5 kW es viable financieramente

Estimación de Energía Ahorrada.

El Extractor CORAL de 5.5 kW opera entre 7 a 8 horas al día, se lo activa y desactiva cuando los trabajadores lo creen necesario, su potencia de operación según la figura 78 es de 2.75 kW. Durante el periodo de medición del equipo en mención, en un día promedio consume 14.54 kWh, este valor será importante para hallar los posibles ahorros con la implementación del Variador de Frecuencia.

La propuesta de la implementación es de un variador de frecuencia el cual tiene una función incorporada que permite alcanzar hasta un 20% de ahorro de energía.

La inversión para la implementación del variador de frecuencia en mención, se la halló gracias a la cotización de la empresa "LASER S. A.", el detalle de la cotización y elementos se encuentra en el anexo 10.

En la tabla 70 se muestra la estimación aproximada de ahorro de energía en el Extractor en función de la energía consumida actualmente.

Tabla 70

Estimación de energía ahorrada Extractor CORAL de 5.5 Kw

Extractor CORAL de 5.5 kW	
Energía semanal consumida [kWh]	79.97
Energía anual consumida [kWh]	4 158.44
Energía ahorrada [kWh]	831.69

Dado que el costo de kilovatio-hora en las horas laborables de EMFALU Sangolquí es de 0.088 (\$/kWh) la estimación de ahorro anual es de \$ 73.19.

Análisis Financiero.

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 73.19 \text{ (ahorro anual)}$$

$$I_o = 725.88 \text{ (inversión)}$$

$$n = 20 \text{ (vida útil del proyecto)}$$

$k = 11.83\%$ (tasa de interés del proyecto)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -725.88 + \sum_{t=1}^{20} \frac{73.19}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = -173.31$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = I_0$$

$$73.19 \left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 725.88$$

$$\left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 18.19$$

$$TIR = 6\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{725.88}{73.19}$$

$$PSR = 9.92 \text{ años}$$

Resultados:

VAN < 0

TIR < 11.83%

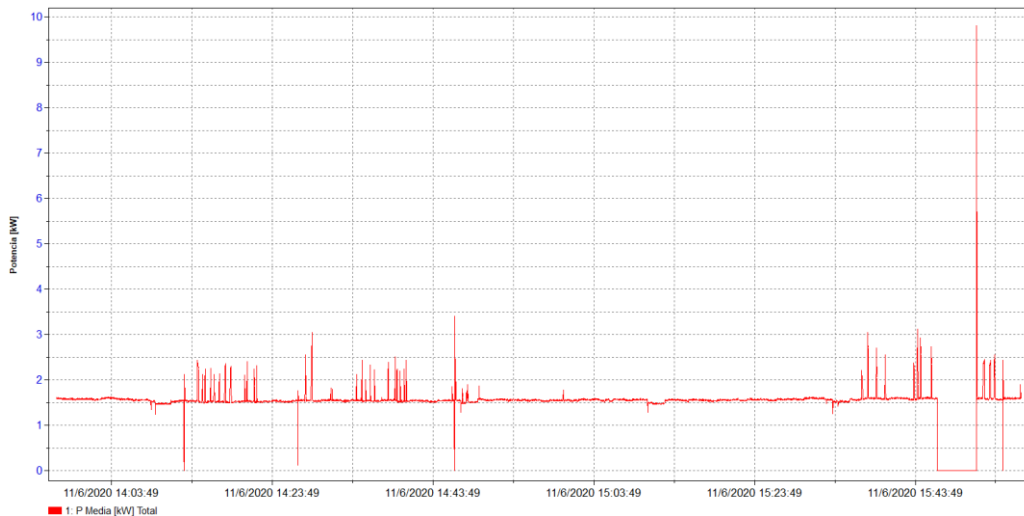
PSR < vida útil del proyecto (20 años)

Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de implementación de un variador de frecuencia en el Extractor CORAL de 5.5 kW en EMFALU Sangolquí NO es viable financieramente.

Análisis de Ahorro Energético en Sierra Vertical HOLZHER 1255. El uso de la Sierra Vertical HOLZHER 1255 es muy frecuente, ya que se lo utiliza dependiendo la demanda de producción de la empresa, su accionamiento es de manera manual. El comportamiento por consumo de potencia se lo indica en la figura 79.

Figura 79

Curva de potencia Sierra Vertical HOLZHER 1255



Escenario Propuesto:

Se propone la posibilidad de implementar un Variador de Frecuencia para el posible ahorro del consumo de energía eléctrica. Por tal, se analizará si la implementación de un Variador de Frecuencia en la Sierra Vertical HOLZHER 1255 es viable financieramente.

Estimación de Energía Ahorrada

La Sierra Vertical HOLZHER 1255 opera entre 5 a 6 horas al día, se lo activa y desactiva manualmente, su potencia de operación según la figura 79 es variable.

Durante el periodo de medición del equipo en mención, en un día promedio consume 9.084 kWh, este valor será importante para hallar los posibles ahorros con la implementación del Variador de Frecuencia.

La propuesta de la implementación es de un variador de frecuencia el cual tiene una función incorporada que permite alcanzar hasta un 20% de ahorro de energía.

La inversión para la implementación del variador de frecuencia en mención, se la halló gracias a la cotización de la empresa "LASER S. A.", el detalle de la cotización y elementos se encuentra en el anexo 10.

En la tabla 71 se muestra la estimación aproximada de ahorro de energía en el Compresor en función de la energía consumida actualmente.

Tabla 71

Estimación de energía ahorrada Sierra Vertical HOLZHER 1255

Sierra Vertical HOLZHER 1255	
Energía semanal consumida [kWh]	49.96
Energía anual consumida [kWh]	2598.02
Energía ahorrada [kWh]	519.60

Dado que el costo de kilovatio-hora en las horas laborables de EMFALU Sangolquí es de 0.088 (\$/kWh) la estimación de ahorro anual es de \$ 45.72

Análisis Financiero

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 45.72 \text{ (ahorro anual)}$$

$I_0 = 486.02$ (inversión)

$n = 20$ (vida útil del proyecto)

$k = 11.83\%$ (tasa de interés del proyecto)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -486.02 + \sum_{t=1}^{20} \frac{45.72}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = -140.85$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1+TIR)} + \frac{F_2}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+TIR)^n} = I_0$$

$$45.72 \left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 486.02$$

$$\left(\frac{1}{(1+TIR)} + \frac{1}{(1+TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1+TIR)^{15}} \right) = 10.63$$

$$TIR = 5\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{486.02}{45.72}$$

$$PSR = 10.63 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN < 0$$

$$TIR < 11.83\%$$

PSR < vida útil del proyecto (20 años)

Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de implementación de un variador de frecuencia en la Sierra Vertical HOLZHER 1255 en EMFALU Sangolquí NO es viable financieramente.

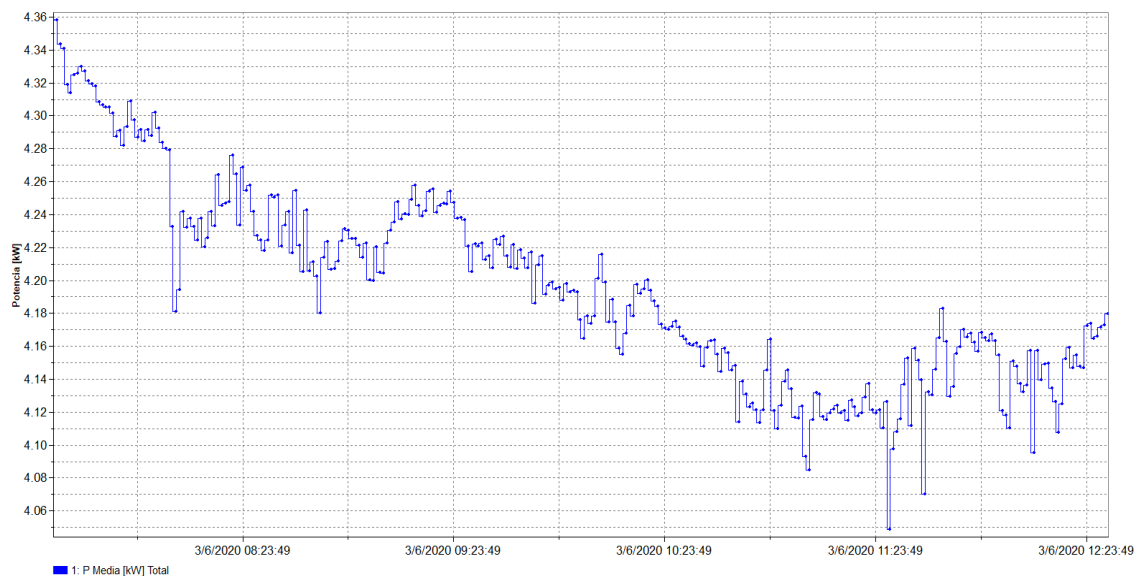
Análisis para Implementación de Variadores de Frecuencia en las Sierras Verticales y Extractores en EMFALU San Rafael

Escenario Actual. En EMFALU San Rafael, para analizar la posibilidad de generar un ahorro energético, se vio la necesidad de proponer la implementación de Variadores de Velocidad tanto en las Sierras Verticales como en el extractor. Utilizando en analizador de calidad de la energía, en modo carga, se realizó mediciones continuas de los equipos eléctricos mencionados que se detalla a continuación:

Análisis de Ahorro Energético en Extractor CORAL de 7.5 kW. El uso del Extractor CORAL de 7.5 kW es muy frecuente, ya que se lo utiliza para evitar la acumulación de residuos de madera expulsadas por la laminadora, su accionamiento es manual y se lo apaga cuando no existe mayor producción en la empresa. El comportamiento por consumo de potencia se lo indica en la figura 80.

Figura 80

Curva de potencia Extractor CORAL EMFALU San Rafael



Escenario Propuesto.

Se propone la posibilidad de implementar un Variador de Frecuencia para el posible ahorro del consumo de energía eléctrica, considerando que el Extractor CORAL de 7.5 kW es el equipo que más energía consume en EMFALU San Rafael, no por su potencia nominal, más bien por su constante uso y las horas que permanece encendido para las necesidades de los trabajadores. Por tal, se analizará si la implementación de un Variador de Frecuencia en el Extractor CORAL de 7.5 kW es viable financieramente.

Estimación de Energía Ahorrada.

El Extractor CORAL de 7.5 kW opera entre 7 a 8 horas al día, se lo activa y desactiva cuando los trabajadores lo creen necesario, su potencia de operación según la figura 80 varía entre 4.04 kW hasta 4.36 kW. Durante el periodo de medición del equipo en mención, en un día promedio consume 28.35 kWh, este valor será importante para hallar los posibles ahorros con la implementación del Variador de Frecuencia.

La propuesta de la implementación es de un variador de frecuencia el cual tiene una función incorporada que permite alcanzar hasta un 20% de ahorro de energía.

La inversión para la implementación del variador de frecuencia en mención, se la halló gracias a la cotización de la empresa "LASER S. A.", el detalle de la cotización y elementos se encuentra en el anexo 10.

En la tabla 72 se muestra la estimación aproximada de ahorro de energía en el Extractor en función de la energía consumida actualmente.

Tabla 72

Estimación de energía ahorrada Extractor CORAL de 7.5 kW

Extractor CORAL de 7.5 kW	
Energía semanal consumida [kWh]	140.92
Energía anual consumida [kWh]	7 328.1
Energía ahorrada [kWh]	1 465.62

Dado que el costo de kilovatio-hora en las horas laborables de EMFALU Sangolquí es de 0.088 (\$/kWh) la estimación de ahorro anual es de \$ 128.97

Análisis Financiero.

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 128.97 \text{ (ahorro anual)}$$

$$I_0 = 958.26 \text{ (inversión)}$$

$$n = 20 \text{ (vida útil del proyecto)}$$

$$k = 11.83\% \text{ (tasa de interés del proyecto)}$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -958.26 + \sum_{t=1}^{20} \frac{128.97}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = 15.43$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = I_0$$

$$128.97 \left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 958.26$$

$$\left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 7.43$$

$$TIR = 10\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\textit{Inversión Inicial}}{\textit{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{958.26}{128.97}$$

$$PSR = 7.43 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN > 0$$

$$TIR < 11.83\%$$

$$PSR < \text{vida útil del proyecto (20 años)}$$

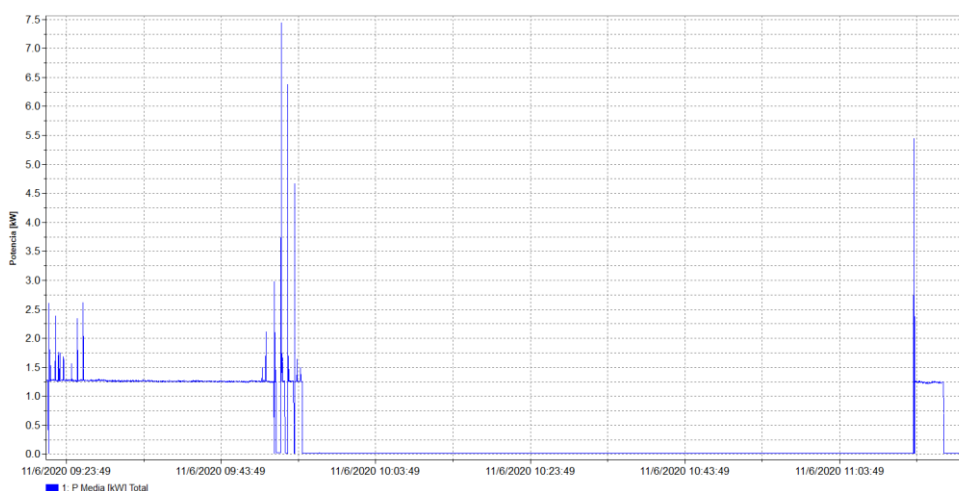
Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de implementación de un variador de frecuencia en el Extractor

CORAL de 7.5 kW en EMFALU San Rafael NO es viable financieramente.

Análisis de Ahorro Energético en Sierra Vertical HOLZHER 1265. El uso de la Sierra Vertical HOLZHER 1265 es muy frecuente, ya que se lo utiliza dependiendo la demanda de producción de la empresa, su accionamiento es de manera manual. El comportamiento por consumo de potencia se lo indica en la figura 81.

Figura 81

Curva de potencia Sierra Vertical HOLZHER 1265 EMFALU San Rafael



Escenario Propuesto:

Se propone la posibilidad de implementar un Variador de Frecuencia para el posible ahorro del consumo de energía eléctrica. Por tal, se analizará si la implementación de un Variador de Frecuencia en la Sierra Vertical HOLZHER 1255 es viable financieramente.

Estimación de Energía Ahorrada

La Sierra Vertical HOLZHER 1255 opera entre 5 a 6 horas al día, se lo activa y desactiva manualmente, su potencia de operación según la figura 81 es variable.

Durante el periodo de medición del equipo en mención, en un día promedio consume

4.22 kWh, este valor será importante para hallar los posibles ahorros con la implementación del Variador de Frecuencia.

La propuesta de la implementación es de un variador de frecuencia el cual tiene una función incorporada que permite alcanzar hasta un 20% de ahorro de energía.

La inversión para la implementación del variador de frecuencia en mención, se la halló gracias a la cotización de la empresa "LASER S. A.", el detalle de la cotización y elementos se encuentra en el anexo 10.

Tabla 73

Estimación de energía ahorrada Sierra Vertical HOLZHER 1265

Sierra Vertical HOLZHER 1265	
Energía semanal consumida [kWh]	23.21
Energía anual consumida [kWh]	1 206.92
Energía ahorrada [kWh]	241.38

Dado que el costo de kilovatio-hora en las horas laborables de EMFALU Sangolquí es de 0.088 (\$/kWh) la estimación de ahorro anual es de \$ 21.24

Análisis Financiero

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 21.24 \text{ (ahorro anual)}$$

$$I_0 = 486.02 \text{ (inversión)}$$

$$n = 20 \text{ (vida útil del proyecto)}$$

$$k = 11.83\% \text{ (tasa de interés del proyecto)}$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -486.02 + \sum_{t=1}^{20} \frac{21.24}{(1+0.1183)^t}$$

$$VAN = -325.66$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = I_0$$

$$21.24 \left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 486.02$$

$$\left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 22.88$$

$$TIR = -5\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{486.02}{21.24}$$

$$PSR = 22.88 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN < 0$$

$$TIR < 11.83\%$$

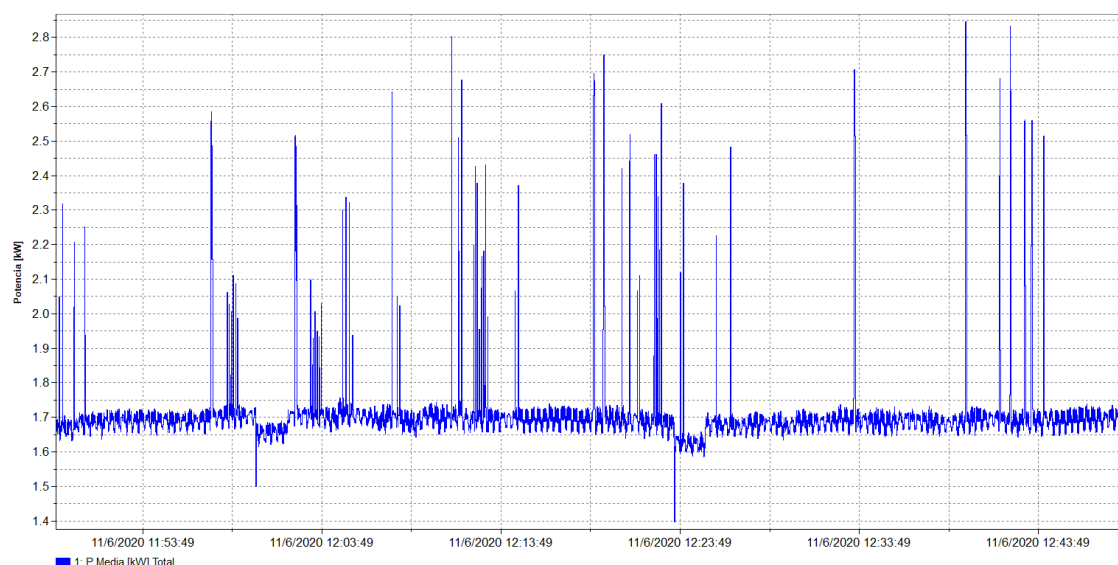
$$PSR > \text{vida útil del proyecto (20 años)}$$

Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de implementación de un variador de frecuencia en la Sierra Vertical HOLZHER 1265 en EMFALU San Rafael NO es viable financieramente.

Análisis de Ahorro Energético en Sierra Vertical HOLZHER 1255. De igual manera que el caso anterior, el uso de la Sierra Vertical HOLZHER 1255 es muy frecuente, ya que se lo utiliza dependiendo la demanda de producción de la empresa, su accionamiento es de manera manual. El comportamiento por consumo de potencia se lo indica en la figura 82.

Figura 82

Curva de potencia Sierra Vertical HOLZHER 1255 EMFALU San Rafael



Escenario Propuesto:

Se propone la posibilidad de implementar un Variador de Frecuencia para el posible ahorro del consumo de energía eléctrica. Por tal, se analizará si la implementación de un Variador de Frecuencia en la Sierra Vertical HOLZHER 1255 es viable financieramente.

Estimación de Energía Ahorrada

La Sierra Vertical HOLZHER 1255 opera entre 5 a 6 horas al día, se lo activa y desactiva manualmente, su potencia de operación según la figura 82 es variable. Durante el periodo de medición del equipo en mención, en un día promedio consume

4.22 kWh, este valor será importante para hallar los posibles ahorros con la implementación del Variador de Frecuencia.

La propuesta de la implementación es de un variador de frecuencia el cual tiene una función incorporada que permite alcanzar hasta un 20% de ahorro de energía.

La inversión para la implementación del variador de frecuencia en mención, se la halló gracias a la cotización de la empresa "LASER S. A.", el detalle de la cotización y elementos se encuentra en el anexo 10.

Tabla 74

Estimación de energía ahorrada Sierra Vertical HOLZHER 1255

Sierra Vertical HOLZHER 1255	
Energía semanal consumida [kWh]	55.11
Energía anual consumida [kWh]	2865.72
Energía ahorrada [kWh]	573.14

Dado que el costo de kilovatio-hora en las horas laborables de EMFALU Sangolquí es de 0.088 (\$/kWh) la estimación de ahorro anual es de \$ 50.44

Análisis Financiero

Valor Actual Neto (VAN)

$$F_t = 50.44 \text{ (ahorro anual)}$$

$$I_0 = 486.02 \text{ (inversión)}$$

$$n = 20 \text{ (vida útil del proyecto)}$$

$$k = 11.83\% \text{ (tasa de interés del proyecto)}$$

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t}$$

$$VAN = -486.02 + \sum_{t=1}^{20} \frac{50.44}{(1 + 0.1183)^t}$$

$$VAN = -105.21$$

Tasa Interna de Retorno (TIR)

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} = 0$$

$$\frac{F_1}{(1 + TIR)} + \frac{F_2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1 + TIR)^n} = I_0$$

$$50.44 \left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 486.02$$

$$\left(\frac{1}{(1 + TIR)} + \frac{1}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{1}{(1 + TIR)^{15}} \right) = 9.63$$

$$TIR = 6\%$$

Periodo Simple de Recuperación (PSR)

$$PSR = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Ahorro o Ganancia Anual}}$$

$$PSR = \frac{486.02}{50.44}$$

$$PSR = 9.63 \text{ años}$$

Resultados:

$$VAN < 0$$

$$TIR < 11.83\%$$

$$PSR < \text{vida útil del proyecto (20 años)}$$

Según los parámetros revisados en el capítulo 2 (VAN, TIR y PSR), el resultado del análisis del proyecto de implementación de un variador de frecuencia en la Sierra Vertical HOLZHER 1255 en EMFALU San Rafael NO es viable financieramente.

Medidas y Acciones que Promueven el Ahorro y Eficiencia Energética

Para poder promover el ahorro y eficiencia energética con hábitos de uso racional de la energía, se necesita detallar todas estas medidas que se enmarquen para una correcta gestión energética, estas medidas necesitan ser evaluadas de manera periódica ya que es una opción muy efectiva de comprobar el desempeño de la gestión energética lograda, basado en el análisis energético realizado en EMFALU.

Las actividades para el ahorro y eficiencia energética, las cuales se detallarán más adelante, se clasifican en tres partes:

- Cumplimiento de las medidas y acciones por parte del personal de la empresa.
- Evaluación de las medidas y acciones ya mencionadas, de igual manera debe existir una evaluación a los indicadores de desempeño y gestión energética.
- Seguimiento y monitoreo del consumo de la energía con respecto a datos relevantes de la empresa mediante el software de gestión energética.

Es muy importante que todo el personal que trabaja en EMFALU, se involucre en el cumplimiento de las medidas y acciones, ya que, sin el apoyo de todo el personal, simplemente no se podrá lograr la gestión energética requerida. De igual manera, se debe capacitar y concientizar a todo el personal para promover este programa.

Las medidas y acciones se deben cumplir por todo el personal de la empresa, pero es necesario clasificar por personal, es decir, actividades para el personal de oficina y actividades para el personal de planta. Para el monitoreo y seguimiento del consumo de la energía, se debe designar a una persona para que controle y capacite cada cierto periodo.

A continuación, se detalla cada actividad con su precedente:

Actividades para el personal de oficina:

Existen actividades del uso racional de la energía que tratan de influenciar la concientización al personal que labora en cada empresa, es decir, asumir desafíos de usar eficientemente la energía adoptando medidas tan simples, en las cuales, no se necesita ningún tipo de inversión, simplemente optar por actividades que deben efectuarse de forma responsable, que debe ser obligación de todo el personal de la empresa, para así lograr una cultura de ahorro energético.

Es necesario detallar las siguientes actividades acorde a las necesidades de la empresa, enfatizando que existen actividades que se deben realizar semanalmente, si así se lo requiere; y actividades que se deben realizar diariamente.

Existen actividades que deben realizarse semanalmente o cuando sea necesario, ya que en ciertos casos bastaría con una simple configuración para realizar esta acción, y se debe constatar su activación para cumplir con la misma.

Las actividades a cumplir semanalmente (o cuando sea necesario) conforme a lo descrito son:

- Activar las funciones de ahorro energético en el sistema operativo Microsoft Windows de cada computadora personal.
- Activar las funciones de ahorro energético en la fotocopidora.

Existen factores a considerar dentro de las propuestas de medidas y acciones que deben analizarse por más sencillas que parezcan, en este caso, se debe a las impresoras, ya que se mantienen conectadas durante toda la jornada laboral, si bien una propuesta es que se la apague siempre y cuando no se la esté utilizando, se debe analizar otro aspecto como la atención al cliente, ya que para ofrecer un buen servicio al cliente, no basta con atenderlo con amabilidad, sino que también se debe atenderlo con rapidez, aspecto que se vería afectado si se apaga y prende constantemente la impresora, así se puede asegurar la confianza y conformidad del cliente para una

próxima atención y venta al mismo.

Una de las actividades comunes para el ahorro energético es desconectar los dispositivos electrónicos (computadoras, impresoras) al terminar la jornada laboral para evitar los consumos en “standby”, es decir, cuando se encuentran conectados a la red pero apagados, realmente es muy pequeño el consumo que tiene un dispositivo en este estado, por ejemplo, una computadora de escritorio apenas consume 0.5 W, eso quiere decir, que durante una noche consume aproximadamente 0.007 kWh en ese estado, y al mes consumiría 0.15 kWh que equivale a \$ 0.013 según la tarifa establecida a la empresa. Dicho ahorro no es representativo frente a la vida útil de los dispositivos, ya que los dispositivos como las computadoras de escritorio suelen estar conectados a sistemas de alimentación ininterrumpida (UPS), por lo que lo primordial, en este caso, es asegurar la vida útil de estos dispositivos, evitando conectarlos y desconectarlos constantemente, ya que esto afecta a la vida útil de estos dispositivos. Analizado estos parámetros, se propone las siguientes actividades a cumplirse diariamente por el personal de oficina:

Actividades a cumplir diariamente:

- Cuando se ingresa a ciertas áreas momentáneamente, apagar las luces al salir.
- Evitar la impresión de documentos, en su lugar, utilizar correos electrónicos; si se necesita imprimir, hacerlo a doble cara y usar hojas recicladas.
- Se debe aprovechar al máximo la luz del día, usar la luz natural, cuando se crea conveniente.

Actividades para el personal de planta:

Para el siguiente análisis, que implica al personal que labora en la producción de la empresa, es decir, en el laminado, canteado y bisagrado de los paneles de madera,

se tiene actividades diferentes a comparación del personal de oficina; si bien en el capítulo 3, se estableció que el mayor consumo de la energía que consume la empresa se da en los equipos eléctricos del proceso productivo, es en este aspecto en donde se debe verificar un ahorro significativo del consumo de energía.

Los motores eléctricos tienden a acumular residuos de madera, producto del corte de los paneles, esta actividad es muy constante en la empresa por lo que los restos de madera se frecuentan en gran parte de las áreas de la empresa. Los motores eléctricos de EMFALU poseen protección IP54 e IP55, es decir, que poseen protección ante el polvo y salpicaduras de agua (IP54) y en el otro caso, protección hacia el polvo y ante chorros de agua (IP55); esto quiere decir que se encuentran protegidos hacia los restos de madera que constantemente hay en EMFALU, incluso a salpicaduras y chorros de agua para ciertos motores. Por otro lado, es necesario realizar mantenimiento de los mismos, ya que se necesita eliminar el polvo y la suciedad en la carcasa del motor para mantener una buena ventilación y permitir un correcto enfriamiento del motor eléctrico, todo esto como parte del mantenimiento preventivo del mismo.

Las actividades a cumplir semanalmente (o cuando sea necesario) conforme a lo descrito son:

- Limpiar los motores eléctricos del polvo y residuos de madera.

Otros factores que se deben analizar es la demanda máxima que se genera en EMFALU, una de las acciones de gestión energéticas más representativas es el encender de manera secuencial los motores eléctricos, esto evita los picos de demanda, ya que, al encender los diferentes equipos eléctricos, estos necesitan de una potencia y corriente significativa de arranque; se debe tener cierta precaución en cumplir esta acción, ya que si por algún motivo se produce el encendido de todos los

motores eléctricos en el mismo instante, se produce un pico de demanda alto y según el comportamiento de los medidores eléctricos de energía, toman lecturas cada 15 minutos, en un mes de 30 días habría 2880 valores de demanda, por lo que para efectos de facturación, el medidor guarda en la memoria interna, el valor máximo de demanda registrada en todo el periodo, es decir que, si se registró un pico de demanda alto y por más que se desee disminuir la demanda máxima en las demás mediciones, este valor máximo será el que se verá reflejado y facturado en la planilla de la empresa eléctrica.

Para secuencia de encendido de los equipos eléctricos, se debe tener en cuenta las necesidades de los trabajadores, es decir, en primer lugar, se debe encender los extractores (es prioritario que se encienda este equipo primero para que empiece a absorber las partículas de madera); en segundo lugar, la Laminadora (ya que es necesario encenderlo con anticipación para que funcione correctamente) y, por último, las sierras verticales.

El siguiente aspecto a analizar es, si es factible o no dejar encendido un equipo eléctrico si no se lo está utilizando, para ello, se va a determinar qué cantidad de potencia de arranque se necesita en cada accionamiento, la cantidad de energía que se consume durante cada arranque, la energía que consume cada equipo eléctrico de la empresa cuando se encuentra encendido, pero sin realizar alguna maniobra (corte, laminado), además de su respectivo costo según la tarifa establecida.

Tabla 75

Características de arranque de los equipos eléctricos y su costo de “EMFALU Sangolquí”

Equipo Eléctrico	Potencia de arranque [kW]	Energía consumida durante el arranque [kWh]	Energía consumida durante 30 min. [kWh]	Costo de la energía consumida durante los 30 min. [USD]
Sierra Vertical HOLZHER 1255	9.819	0.0045	0.781	0.068
Extractor CORAL	3.955	0.066	1.350	0.11
Laminadora Olimpic K360	4.233	0.097	0.201	0.017

Tabla 76

Características de arranque de los equipos eléctricos y su costo de “EMFALU San Rafael”

Equipo Eléctrico	Potencia de arranque [kW]	Energía consumida durante el arranque [kWh]	Energía consumida durante 30 min. [kWh]	Costo de la energía consumida durante los 30 min. [USD]
Sierra Vertical HOLZHER 1265	5.425	0.0041	0.352	0.03
Extractor CORAL	4.358	0.073	2.103	0.185
Laminadora Olimpic K360	4.233	0.097	0.201	0.017
Sierra Vertical HOLZHER 1255	2.318	0.0016	0.835	0.073
Extractor 1	6.143	0.0026	0.704	0.062

Como se puede apreciar en las tablas 75 y 76, existe una potencia de arranque considerable en cada uno de los equipos eléctricos de EMFALU, por lo que se debe tener en cuenta estos valores para la gestión de la demanda máxima en cada establecimiento de EMFALU. Por otro lado, se tiene a la energía consumida durante el arranque de cada equipo eléctrico en la empresa, como se puede observar en dichas tablas, la energía posee valores muy inferiores, llegando a valores por debajo de 0.01 USD, si bien el valor por kWh no genera demasiado consumo ni gasto, su demanda puede ser alta si se accionarían todos los equipos en un mismo instante, por lo que se vuelve a constatar que el arranque de los equipos eléctricos de la empresa deben ser de manera secuencial.

En las mediciones, se estableció un parámetro de 30 minutos para constatar el consumo de energía de cada equipo eléctrico de EMFALU, sin estar realizando ninguna maniobra (cortar, laminar), los costos por consumo de energía son muy variables en cada equipo eléctrico, desde valores muy inferiores a 0.01 USD hasta 0.18 USD, si bien una de las acciones de ahorro energético sería apagar cada uno de los equipos cuando no se los esté utilizando, esta teoría no es muy conveniente en este caso, ya que, al momento de apagar y encender los equipos eléctricos, se produce una serie de arranques de motores y de equipos eléctricos, es decir, picos de potencia y corriente, lo que conllevaría a una alta demanda en la red eléctrica, es por ello, que para producir un potencial ahorro, cuando ha transcurrido un lapso de 20 a 30 minutos y ya no se va a ocupar el respectivo equipo eléctrico, se debe considerar apagarlo; para así evitar accionarlos de manera frecuente. De igual manera, se debe considerar la vida útil de los sistemas de accionamiento de los equipos eléctricos, ya que, si se los apaga y enciende constantemente, su vida útil se vería reducida en gran parte, la vida útil de los sistemas de arranque (por ejemplo, contactores, guardamotores), son estimadas por ciclos de

arranque, que en la gran mayoría de sistemas duran hasta 10000 ciclos.

Durante la semana de estudio de calidad de energía, se obtuvo valores de consumo de energía durante las noches y fin de semana, estos valores se detallan en la tabla 77 y tabla 78:

Tabla 77

Consumo de energía durante las noches y fines de semana en “EMFALU Sangolquí”

Desde	Hasta	Consumo de energía [kWh]
10/02/2020	11/20/2020	3.722
11/02/2020	12/20/2020	3.997
12/02/2020	13/20/2020	4.092
13/02/2020	14/20/2020	4.088
14/02/2020	15/20/2020	4.014
15/02/2020	17/20/2020	13.504
Total consumo semanal		33.417

Tabla 78

Consumo de energía durante las noches y fines de semana en “EMFALU San Rafael”

Desde	Hasta	Consumo de energía [kWh]
18/02/2020	19/20/2020	4.063
19/02/2020	20/20/2020	3.974
20/02/2020	21/20/2020	3.895
21/02/2020	22/20/2020	3.939
22/02/2020	24/20/2020	11.316
24/02/2020	25/20/2020	5.579
Total consumo semanal		32.766

Como se observa en las tablas 77 y 78, los consumos semanales aproximados de energía durante las noches y fin de semana para EMFALU Sangolquí y EMFALU

San Rafael son 33.417 kWh y 32.766 kWh respectivamente, estos consumos se deben a los equipos eléctricos conectados a la red, además de los diferentes equipos electrónicos de oficina y los sistemas de seguridad de la empresa, en la tabla 79 se detalla el gasto mensual aproximado durante las noches y fines de semana según la tarifa en cada establecimiento de EMFALU:

Tabla 79

Consumo y costo mensual aproximado de energía durante las noches y fines de semana en EMFALU

Establecimiento	Consumo mensual aproximado de energía durante las noches y fines de semana [kWh]	Costo aproximado del consumo mensual [USD]
EMFALU Sangolquí	133.668	9.35
EMFALU San Rafael	131.064	11.53

Para disminuir estos gastos de energía durante las noches y fines de semana, es necesario apagar los interruptores termomagnéticos (breakers) en las cargas más representativas de EMFALU, como lo son: extractor, compresor, laminadora, bisagradora, así se evita los consumos “stanby” de estos equipos eléctricos, realizando esta medida se reduciría entre un 50% al 70% del consumo de energía en los periodos establecidos. Esta medida no afecta a la vida útil de los interruptores termomagnéticos ya que la endurancia mecánica (número de ciclos de maniobras que puede llevar a cabo el equipo antes de necesitar una sustitución) es de 10000 ciclos.

Considerando todo el análisis de las acciones y medidas de ahorro energético, se establecen las medidas diarias finales para el personal de planta:

Actividades a cumplir diariamente:

- Encender los motores de manera secuencial, uno a la vez.
- Apagar los equipos eléctricos si después del transcurso entre 20 a 30 minutos no se va a utilizar los mismos.
- Se debe aprovechar al máximo la luz del día, usar la luz natural, cuando se crea conveniente.
- Apagar los breakers y equipos eléctricos que no se necesiten en la noche.

Actividades para el personal de monitoreo:

Es trascendental llevar el análisis de todas estas acciones y medidas de ahorro energético en la empresa, para ello, cada trabajador de la empresa debe efectuar las actividades y llevar un registro del mismo que se encuentra detallado en el anexo 11.

Es necesario que una persona determinada en la empresa, siga con el monitoreo y seguimiento de las acciones y medidas de ahorro energético, además también es trascendente informar y conocer el desempeño de cada trabajador de la empresa mensualmente, lo que implica una charla sobre la concientización para realizar el programa de gestión energética a EMFALU. Considerando estas acciones por parte del personal de monitoreo de la empresa, se establecen las siguientes medidas mensuales:

Actividades a cumplir mensualmente:

- Informar e implicar a todo el personal de la empresa en los programas de uso eficiente de la energía y el desempeño de cada uno de ellos.
- Monitorear con un sistema de medición de la energía (software), la gestión energética de la empresa.

Las actividades anteriormente descritas se encuentran en el anexo 11, detallado en varios formatos para llevar el registro todo el personal de la empresa y

posteriormente ser analizado y monitoreado cada mes.

Identificación de los Indicadores Claves de Desempeño (KPI's) para la Gestión Energética en EMFALU.

Es importante tener definidos los KPI's para de esta manera lograr medir objetivamente la evolución de las actividades que se desean implementar en EMFALU para lograr el ahorro y eficiencia energética.

Un importante paréntesis en este espacio es que simplemente lo que no se puede medir, no se puede controlar ni gestionar y, por ende, no se puede mejorar, por ello, los KPI's que se ha considerado de relevancia se indican en la tabla 80.

Tabla 80

Identificación de los KPI's a ser evaluados

Proceso	Indicador	Objetivo
Gestión Energética	Consumo de Energía Eléctrica	Reducir el Consumo de Energía Eléctrica en 10%
	Demanda Máxima	Reducir la Demanda Máxima en 10%

La medición y monitoreo de los KPI's descritos en la tabla 80, se podrán medir y ser evaluados mediante las siguientes tablas:

Para el Consumo de Energía Eléctrica:

Tabla 81

Formato de medición y evaluación del Consumo de Energía Eléctrica

Indicador: Consumo de Energía Eléctrica	
Fórmula	$\%DCE = \left[\frac{\text{Energía consumida mes anterior (kWh)} - \text{Energía mes actual (kWh)}}{\text{Energía consumida mes anterior (kWh)}} \right] \times 100$

Indicador: Consumo de Energía Eléctrica	
Descripción	Porcentaje de disminución de consumo de energía eléctrica - %DCE
Frecuencia de cálculo	Mensual
Objetivo	10%
Rango	De 8% a 10% = Bueno De 4% a 7% = Regular Menor a 4% = Malo

Para la Demanda Máxima:

Tabla 82

Formato de medición y evaluación de la Demanda Máxima

Indicador: Demanda Máxima	
Fórmula	$\%DDM = \left[\frac{\text{Demanda mes anterior (kW)} - \text{Demanda mes actual (kW)}}{\text{Demanda mes anterior (kW)}} \right] \times 100$
Descripción	Porcentaje de disminución de demanda máxima - %DDM
Frecuencia de cálculo	Mensual
Objetivo	10%
Rango	De 8% a 10% = Bueno De 4% a 7% = Regular Menor a 4% = Malo

Para corroborar el cumplimiento de las Medidas y Acciones que promueven el ahorro y eficiencia energética, se tiene la tabla 83 la cual establece el porcentaje de cumplimiento de actividades mensualmente, si bien este apartado no está considerado como un KPI, es importante realizarlo para llevar un seguimiento del cumplimiento de

las Medidas y Acciones que promueven el ahorro y eficiencia energética de manera individual, para cada trabajador de EMFALU.

Tabla 83

Formato de medición y evaluación de las Medidas y Acciones que promueven el ahorro y eficiencia energética

Indicador: Medidas y Acciones que promueven el ahorro y eficiencia energética	
Fórmula	$\%CA = \left[\frac{\text{Número de actividades realizadas}}{\text{Número de actividades planteadas}} \right] \times 100$
Descripción	Porcentaje de Cumplimiento de Actividades - %CA
Frecuencia de cálculo	Mensual
Objetivo	80% al 100%
Rango	De 80% a 100% = Bueno De 40% a 79% = Regular Menor a 40% = Malo

Con los formatos establecidos para de cada uno de los KPI's identificados, se podrá analizar el consumo de la energía eléctrica y la demanda máxima para promover el ahorro y eficiencia energética en EMFALU.

En el anexo 11, se encuentra detallado los formatos para llevar la medición y análisis de cada uno de los KPI's establecidos.

Software para la Visualización y Análisis de la Gestión Energética en EMFALU

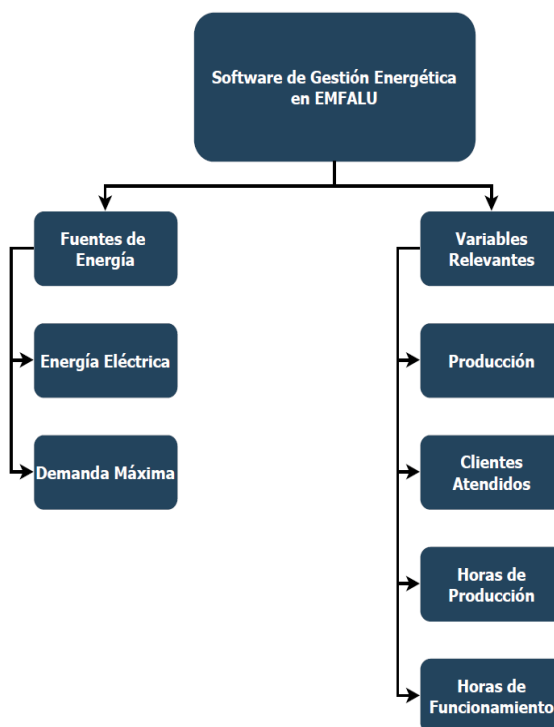
Para analizar y visualizar la Gestión Energética en EMFALU, se hizo uso del software de Office, Microsoft Excel, que tiene herramientas muy útiles como las Macros,

que se definen como un conjunto de instrucciones las cuales se ejecutan secuencialmente mediante la orden de una ejecución, la ventaja de usar Macros es que una misma Macro puede llamar a otras, por lo cual se logra combinar una serie de requerimientos en un mismo documento de Microsoft Excel (Excel Avanzado, s.f.).

En el archivo de Microsoft Excel desarrollado, se analizan las fuentes de energía que se consume, frente a los variables relevantes que existen en la empresa, como se detalla en la figura 83.

Figura 83

Variables del Software de Gestión Energética en EMFALU



Los datos de consumo de energía, demanda y el costo del mismo, se ingresa por cada mes, según la facturación de la Empresa Eléctrica Quito, en la figura 84, se aprecian los valores de consumo de energía eléctrica y demanda máxima de los años 2017, 2018 y 2019 según las planillas canceladas por EMFALU Sangolquí.

Figura 84

Consumo de energía, demanda y su costo de los años 2017, 2018 y 2019 EMFALU Sangolquí

FUENTES DE ENERGIA															
Fuentes de Energía Rastreada															
1 ENERGÍA ELÉCTRICA															
2 DEMANDA MÁXIMA															
Resetear Formato															
Generar Grafico															
1	ENERGÍA ELÉCTRICA	kWh													
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2017	\$		\$83.45	\$102.44	\$118.96	\$114.04	\$112.21	\$137.39	\$116.96	\$109.55	\$101.11	\$93.21	\$99.06	\$101.92	\$1,290.30
	kWh		960	1177	1372	1310	1288	1577	1341	1259	1160	1070	1138.83	1175.04	14827.87
2018	\$		\$84.89	\$122.97	\$101.92	\$104.87	\$110.26	\$104.81	\$116.02	\$118.16	\$111.02	\$107.80	\$96.13	\$100.04	\$1,278.89
	kWh		980.12	1415.15	1175.04	1209.72	1273.06	1209.32	1336.09	1362.62	1278.88	1244.91	1112.01	1154.64	14751.56
2019	\$		\$75.59	\$117.83	\$92.77	\$102.41	\$98.55	\$100.20	\$84.26	\$93.58	\$99.17	\$93.77	\$91.30	\$96.75	\$1,146.18
	kWh		876.99	1358.64	1073.45	1181.06	1136.89	1156.17	1069.49	1264.18	1331.2	1251.03	1224.3	1297.95	14221.35
2	DEMANDA MÁXIMA	kW													
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL
2017	\$		\$41.82	\$41.82	\$37.64	\$41.65	\$33.68	\$41.65	\$41.65	\$41.86	\$33.58	\$41.86	\$32.44	\$40.69	\$470.34
	kW		10	10	12	12	11	12	12	11	11	11	12.68	11.04	135.72
2018	\$		\$46.84	\$46.84	\$40.69	\$40.90	\$30.32	\$30.56	\$36.78	\$42.26	\$27.86	\$33.32	\$33.26	\$35.41	\$445.04
	kW		11.9	11.9	11.04	11.02	11.68	11.94	11.33	11.19	10.39	10.45	10.73	10.89	134.46
2019	\$		\$29.72	\$29.72	\$27.68	\$33.73	\$31.05	\$27.85	\$39.56	\$41.24	\$42.66	\$42.33	\$40.87	\$40.87	\$427.28
	kW		10.18	10.18	10.81	11.68	10.57	10.88	10.69	11.25	10.63	10.29	10.63	10.63	128.42

En la figura 85 y 86 se puede observar el despliegue de los gráficos tanto por el costo de la energía y demanda, como el consumo de los mismos, de los años 2017, 2018 y 2019 en EMFALU Sangolquí.

Figura 85

Gráficos y tablas del costo de energía eléctrica y su consumo en kWh de los años 2017,

2018 y 2019 EMFALU Sangolquí

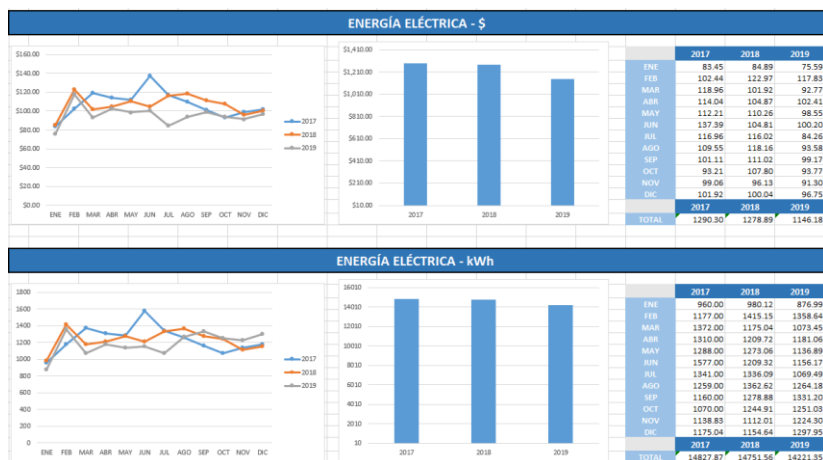
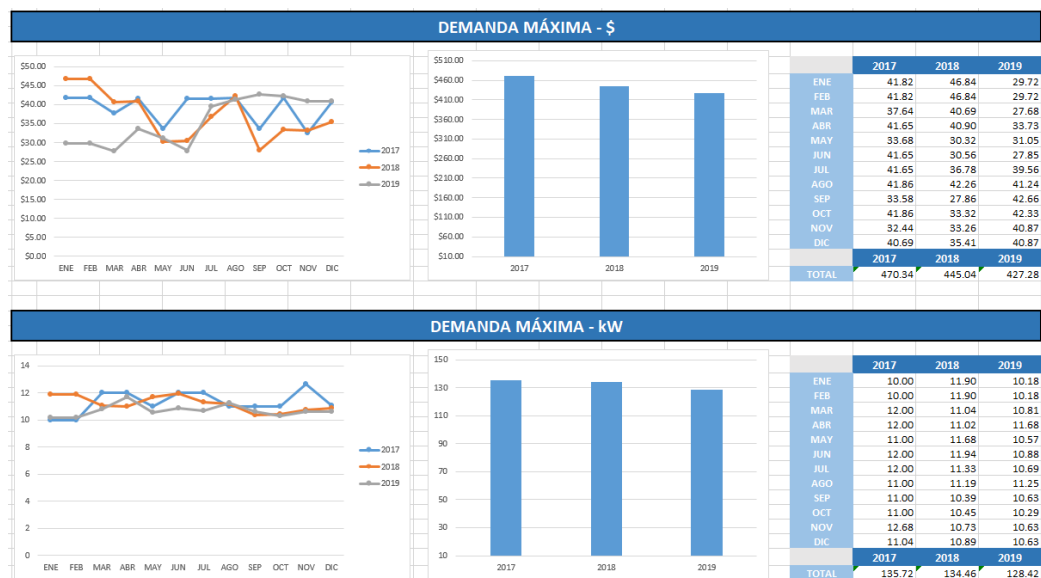


Figura 86

Gráficos y tablas del costo de la demanda máxima y su registro en kW de los años 2017, 2018 y 2019 EMFALU Sangolquí



En la figura 87, se detalla un ejemplo de las variables relevantes ingresadas como: Producción, Clientes Atendidos, Horas de Producción y Horas de Funcionamiento, de igual manera, se ingresan mensualmente y su resultado anual se calcula automáticamente.

Figura 87

Ejemplo de variables relevantes de los años 2017, 2018 y 2019 EMFALU Sangolquí

VARIABLES RELEVANTES															
Fuentes de Variables Rastreada															Resetear Formato
1	Producción														Generar Grafico
2	Cientes atendidos														
3	Horas de Producción														
4	Horas de Funcionamiento														
1	Producción	cantidad													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2017	Qty	15369	14856	13256	10235	14789	15203	11256	12369	14852	12369	13256	11023	158833	
2018	Qty	15520	12025	14698	12147	13635	14023	12045	11369	10254	11456	10369	12896	150437	
2019	Qty	13258	14698	11023	15458	16987	14256	12358	16201	12896	11203	14568	1247	154153	
2	Cientes atendidos	cantidad													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2017	Qty	75	102	89	88	96	103	87	97	106	107	111	98	1159	
2018	Qty	96	56	107	98	69	87	99	63	85	41	85	99	985	
2019	Qty	89	100	75	96	85	79	66	97	95	94	96	103	1075	
3	Horas de Producción	horas													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2017	Qty	136	120	140	125	136	147	110	120	123	126	121	101	1505	
2018	Qty	125	120	111	123	145	130	140	123	120	140	145	133	1555	
2019	Qty	147	110	120	125	126	128	135	136	144	150	156	110	1587	
4	Horas de Funcionamiento	horas													
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	TOTAL	
2017	Qty	205	199	201	204	197	215	222	223	207	209	200	199	2481	
2018	Qty	209	210	215	220	208	206	204	203	208	201	200	191	2475	
2019	Qty	180	191	195	197	201	203	205	198	202	206	198	209	2385	

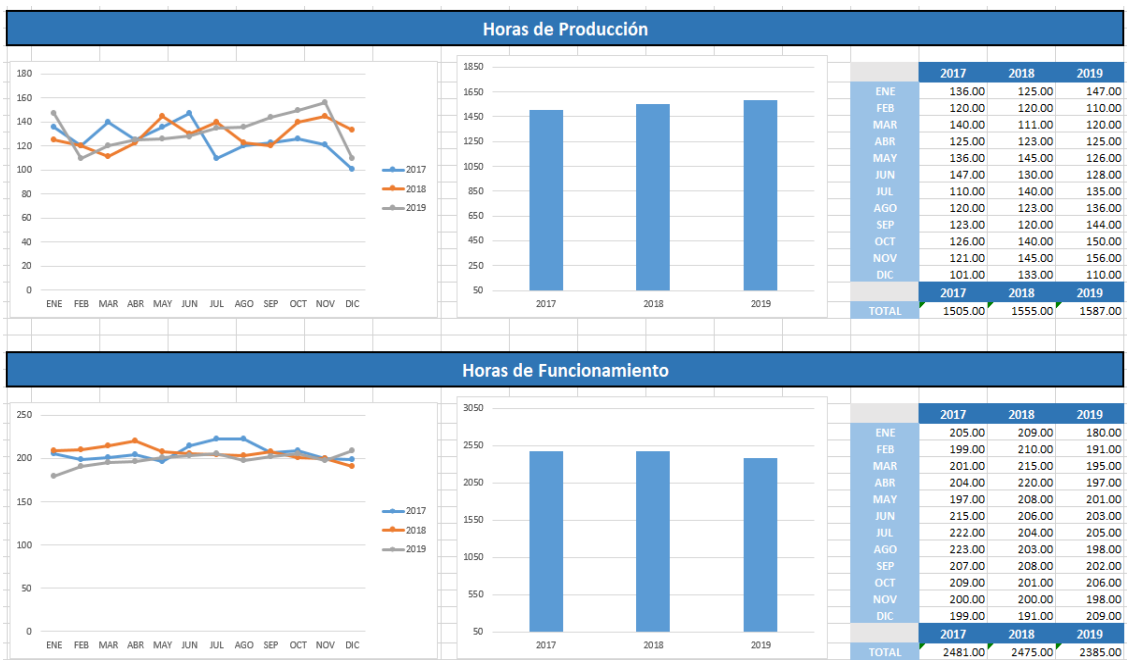
Figura 88

Ejemplo de gráficos y tablas de las variables relevantes y sus respectivos datos



Figura 89

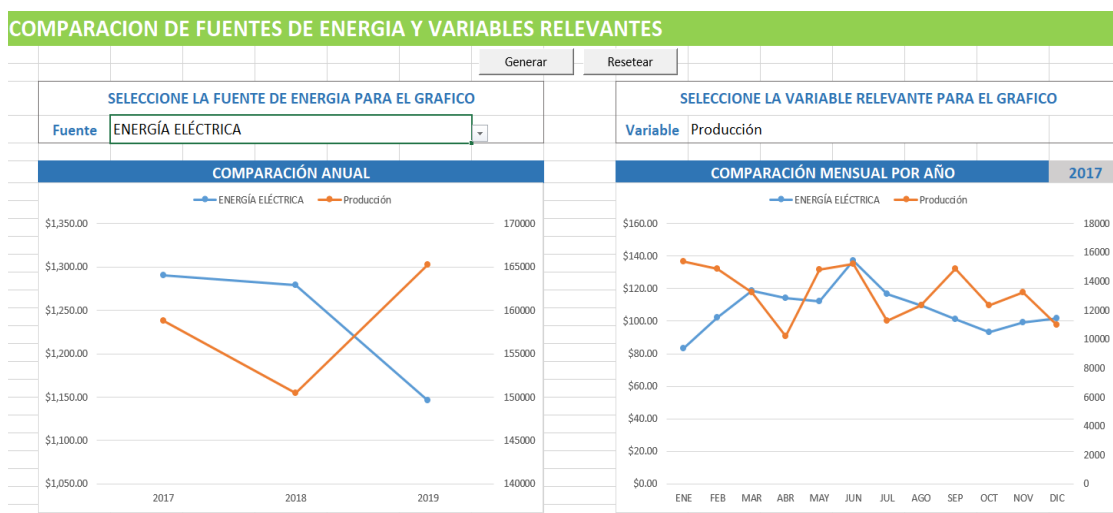
Ejemplo de gráficos y tablas de las variables relevantes y sus respectivos datos



La figura 90, es la más representativa que se obtiene mediante el software, ya que permite analizar la fuente de energía (energía eléctrica o demanda máxima) con respecto a las variables relevantes (Producción, Clientes Atendidos, Horas de Producción y Horas de Funcionamiento) en un mismo gráfico, se indica la comparación anual y la comparación mensual por cada año.

Figura 90

Ejemplo de comparación entre las fuentes de energía y las variables relevantes



En el anexo 12, se encuentra el Manual de Usuario para el uso correcto del Software de Gestión Energética en mención.

Capítulo V

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

✓ En función al presente trabajo realizado, se logró proponer una serie de medidas las cuales permitirán el ahorro energético en la empresa EMFALU, con ello se aspira a lograr un ahorro energético de hasta el 10% del valor detallado en la planilla de consumo eléctrico, tomando en cuenta que este porcentaje de ahorro energético es gracias a la gestión energética a aplicar, es decir, sin realizar inversiones económicas para ahorrar energía en la empresa.

✓ La propuesta de corrección del factor de potencia en EMFALU Sangolquí es viable tanto técnica como financieramente, con ello, se lograría un ahorro económico del 16.94 % (aproximadamente USD 194.21 anuales) con respecto al pago anual del consumo eléctrico de EMFALU Sangolquí, además el retorno de la inversión se lo daría en aproximadamente 6.73 años.

✓ Los trabajos de investigación y artículos científicos que tratan sobre la gestión y eficiencia energética a las pymes es muy limitado, la gran mayoría hace referencia a las grandes empresas e industrias, por otro lado, las pymes tienen gran importancia en la economía global ya que a nivel mundial constituyen el 99% de los todos los negocios y llegan a ser el 60% de los trabajos del mundo. Si se analizara a las pymes por sí solas, en torno a su consumo energético, no se tiene registros de grandes cantidades de energía, pero al referirse de forma colectiva, su consumo energético incrementa notoriamente.

Recomendaciones

✓ La normativa internacional ISO 50001 que tiene como objetivo principal, mejorar un sistema de gestión energética en una organización, incluye también a las pymes, considerando que no poseen el mismo presupuesto que una industria; como trabajo a futuro se puede realizar un estudio el cual pueda dar respuesta a desafíos específicamente para las pymes referente a la norma ISO 50001.

✓ Una vez realizado el análisis de la calidad de la energía y de las cargas más representativas de EMFALU; se recomienda un estudio con respecto al ahorro energético mecánico, específicamente en los motores eléctricos trifásicos, ya que son los equipos que más consumen energía eléctrica en la empresa; un analizador de eficiencia de motores es una gran herramienta para este tipo de análisis ya que esta herramienta está diseñada para mejorar la localización de fallas en motores eléctricos y minimizar los tiempos de inactividad, además permite medir el rendimiento mecánico de los motores trifásicos. Con dicha herramienta se puede calcular el esfuerzo de torsión, la variable de rendimiento mecánico más crítica, la velocidad, la carga en el eje del motor y la eficiencia general.

Referencias Bibliográficas

- AIDIMA. (2011). *Recomendaciones para mejorar la eficiencia energética en el sector de la madera y el mueble*. Valencia.
- AMPROBE. (2005). *DMIII MultiTest User's Manual*. Miramar, FL.
- AMPROBE. (2020). *AMPROBE*. Obtenido de <https://www.amprobe.com/product/lm631a/>
- Andrade Valarezo, H. B. (2016). *Rediseño del sistema eléctrico en media tensión de un edificio para emisoras de radio (Tesis de pregrado)*. Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.
- ARCONEL. (2017). *RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL-074/17*. Quito.
- ARCONEL. (2018). *REGULACIÓN No. ARCONEL 005/18*. Quito.
- ARCONEL. (2018). *Resolución Nro. ARCONEL-042/18, REGULACIÓN Nro. ARCONEL-003/18*.
- ARCONEL. (23 de diciembre de 2019). *PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN*. Obtenido de SERVICIO PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA: https://www.cnelep.gob.ec/wp-content/uploads/2020/01/pliego_tarifario_del_spee_2020_resolucion_nro_035_19.pdf
- ARCONEL. (2019). *PLIEGO TARIFARIO PARA LAS EMPRESAS ELÉCTRICAS DE DISTRIBUCIÓN, Resolución Nro. ARCONEL – 035/19*.
- Bazail, K. (11 de diciembre de 2017). *ENERGIA Y REDES*. Obtenido de Ahorre Energía Corrigiendo el Factor de Potencia: <https://energiayredes.com/ahorre-energia-corrigiendo-el-factor-de-potencia/#:~:text=Beneficios%20de%20corregir%20el%20factor,%C3%BAtil%20de%20las%20instalaciones%20el%C3%A9ctricas.>
- Chacón Cordero, F. (2015). *Evaluación energética en una planta de alimentos balanceados para animales (tesis de pregrado)*. San José: Universidad de Costa Rica.
- Circutor. (2015). *Qué es la eficiencia energética eléctrica*. Obtenido de <http://circutor.es/es/formacion/eficiencia-energetica-electrica/que-es-la-eficiencia-energetica-electrica>
- CNFL. (2015). *TERMINOS ELÉCTRICOS Y DE FACTURACION GENERALES*.
- CONELEC. (2013). *Plan Maestro de Electrificación 2013 - 2022*. Cuenca.
- ConnectAmericas. (2015). *razones para que PYMEs sean verdes*. Obtenido de

<https://connectamericas.com/es/content/eficiencia-energ%C3%A9tica-5-razones-para-que-pymes-sean-verdes>

- Conrad. (2020). *Cámara termográfica de infrarrojos Fluke Ti32*. Obtenido de <https://www.conrad.com/p/fluke-ti32-infrared-thermal-imaging-camera-100926>
- Davila Posada, H. C., & Villa Castaño, M. (noviembre de 2008). *MANUAL DEL CÓDIGO ELÉCTRICO COLOMBIANO (NTC 2050)*. Obtenido de <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/1807/621319D259.pdf?sequence=1>
- DEXMA. (2016). *GESTIÓN ENERGÉTICA PARA PYMES*. Obtenido de https://get.dexmatech.com/hubfs/Whitepapers/SMEs_ES.pdf?t=1496303022320
- EATON. (2011). *Arranque y control de motores trifásicos asíncronos*. Barcelona.
- EMFALU. (s.f.). *EmFALU Cia. Ltda*. Obtenido de <https://www.emfalu.com/servicios>
- Empresa Eléctrica Quito. (2014). *Normas para Sistemas de Distribución*. Quito. Obtenido de Normas para Sistemas de Distribución.
- Excel Avanzado. (s.f.). *¿Qué son las Macros en Excel?* Obtenido de <https://www.excel-avanzado.com/que-son-las-macros-en-excel#:~:text=Las%20Macros%20en%20Excel%20son,operaciones%20cada%20vez%20mas%20complejas>.
- FIDE. (1-5 de marzo de 2010). *Programa Integral de "Asistencia Técnica y Capacitación para la Formación de Especialistas en Ahorro y Uso Eficiente de Energía Eléctrica de Guatemala"*. Obtenido de Curso-Taller Promotores de Ahorro y Eficiencia de Energía Eléctrica: [http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20\(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n\).pdf](http://www.cnee.gob.gt/EficienciaEnergetica/FIDE/004%20M%C3%B3dulo%20IV%20(AEE%20Motores%20de%20Inducci%C3%B3n).pdf)
- FLIR. (2011). *Guía de termografía para mantenimiento predictivo*. FLIR Systems AB.
- FLUKE. (2013). *EFICIENCIA ENERGÉTICA*. Fluke Ibérica, 62.
- FLUKE. (s.f.). *Analizadores y solucionadores de problemas de calidad eléctrica*. Obtenido de <https://www.fluke.com/es-ec/productos/comprobacion-electrica/analizadores-de-calidad-electrica>
- Gálvez, F. (julio de 2017). *ELECTROINDUSTRIA*. Obtenido de <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=3045&ni=caida-de-potencial-para-la-medida-de-resistencia-de-puesta-a-tierra>
- Garza, C., Martínez, R., & Ramón, S. (2012). *ANÁLISIS DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA DE CORRECCIÓN DE FACTOR DE POTENCIA CON BANCOS DE CAPACITORES DISTRIBUIDOS EN VALEO SISTEMAS ELECTRÓNICOS S. DE R.L. DE C.V.* México.
- Gómez Sánchez, H. D., & Morales Guachamin, C. L. (2019). *AUDITORIA ELÉCTRICA*

EN INDUSTRIA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS INPROLAC S.A., Tesis de Pregrado. Quito: ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL.

Google. (s.f.). *Mapa de San Rafael, Ecuador en Google maps.* Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/EmFALU/@-0.2995444,-78.4609153,334m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x7cc50450559f9eae!8m2!3d-0.299724!4d-78.4607481?hl=es-419>

Google. (s.f.). *Mapa de Sangolquí, Ecuador en Google maps.* Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/EMFALU+SANGOLQU%C3%8D/@-0.3386786,-78.4453807,239m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x0:0x93bf74a883868d88!8m2!3d-0.338658!4d-78.4453719?hl=es>

IEEE 519. (1992). *Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.*

La Verdad. (16 de febrero de 2019). *LA ENERGÍA Y SU USO RESPONSABLE.* Obtenido de <http://www.miperiodicodigital.com/2019/grupos/noticiasvirgipe-328/la-energia-su-uso-responsable-606.html>

Llumiquina Loya, F. S. (2012). *DISEÑO DE UN BANCO DE CONDENSADORES PARA LA CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA DE LA EMPRESA BANCHISFOOD S.A (tesis de pregrado).* Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador.

Ludeña Granja, F. M. (2017). *APLICACIÓN DEL DISEÑO DE EXPERIMENTOS EN EL DESARROLLO DE UN NUEVO PRODUCTO PARA LA EMPRESA EMFALU (Tesis de Maestría).* ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL, Quito.

MEER. (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética 2016-2035.* Quito.

MEER. (s.f.). *Plan de Normalización y Etiquetado.* Obtenido de <http://historico.energia.gob.ec/plan-de-normalizacion-y-etiquetado/>

Ministerio de Minas y Energía. (2007). *Guía didáctica para el desarrollo de Auditorías Energéticas.* Bogotá.

Molina, M. (30 de agosto de 2014). *ANESTESIAR.* Obtenido de El error de la confianza. Cálculo del intervalo de confianza de una media: El error de la confianza. Cálculo del intervalo de confianza de una media

Morocho Quisaguano, J. A. (2019). *DIAGNÓSTICO DEL ESTADO DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS DEL CAMPAMENTO DE LA FUNDACIÓN NUEVA VIDA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA PROPUESTA DE MODERNIZACIÓN Y EFICIENCIA ENERGÉTICA (tesis de pregrado).* Quito: EPN.

Muñoz Saona, E. P., & Vergara Reyes, A. E. (2011). *DESARROLLO Y APLICACIÓN*

DE UNA GUÍA PARA REALIZAR AUDITORÍAS ENERGÉTICAS EN EL SECTOR INDUSTRIAL (tesis de pregrado). Quito: EPN.

NTE INEN 2 498:2009. (2009). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN MOTORES ELÉCTRICOS ESTACIONARIOS. REQUISITOS.* Quito.

Núñez Mata, O. (octubre de 2010). *Levantamiento de Temperatura en Motores Eléctricos.* Obtenido de <http://www.motortico.com/biblioteca/MotorTico/2010%20OCT%20-%20Levantamiento%20de%20temperatura%20de%20motores%20electricos.pdf>

OptimaGrid. (2017). *Buenas Prácticas para el Ahorro de Energía en la Empresa.* Zaragoza.

Pérez Trisancho, C., & Vera Méndez, F. (2012). Fundamentos para la administración energética en la industria Colombiana a través de indicadores de gestión. *Scientia et Technica Año XVII*, 58.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2019). *Industria, innovación e infraestructura.* Obtenido de <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-9-industry-innovation-and-infrastructure.html>

Promonet Comunicaciones S.L. (2018). *Gestion.Org.* Obtenido de El Proceso Productivo: qué tipos hay y cuáles son sus etapas principales: <https://www.gestion.org/el-proceso-productivo/>

Robles López, M., Torres Hernández, Z., & Robles López, M. (2016). La eficiencia energética en microempresas mexicanas. *Universidad Veracruzana*, 190.

RTE INEN. (2017). *RTE INEN 145 "Eficiencia energética en motores eléctricos.* Quito.

Ruiz Larrea, J. R. (2018). *CARACTERIZACIÓN ENERGÉTICA DE LA EMPRESA INDUSTRIAL "LICORERA EMBOTELLADORA LOJA S.A." (FASE1: ELÉCTRICA), Tesis de Pregrado.* Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, Sangolquí.

Solar App CCEEA. (2020). CCEEA. Obtenido de <https://cceeaa.mx/solar>

SOLARTIK. (s.f.). *SOLARTIK.* Obtenido de Energía fotovoltaica: <https://solartik.com.ar/energia-solar-fotovoltaica-paneles-solares/>

Triplepoint. (2018). *Triplepoint Calibrations.* Obtenido de <https://www.triplepoint.com.au/product/fluke-1736-three-phase-power-loggers/>

Universidad Veracruzana. (11 de marzo de 2014). *Evaluación de los niveles de iluminación en las áreas de trabajo del Laboratorio de Alta Tecnología de Xalapa (LATEX).* Obtenido de https://www.uv.mx/cosustenta/files/2014/06/ANALISIS-LATEX_VERSION-FINAL.pdf

Ventura, E. (11 de marzo de 2019). *LAVANGUARDIA.* Obtenido de

<https://www.lavanguardia.com/vida/junior-report/20190311/46919222059/ahorro-consumo-energetico-industria-sector-industrial-energia.html>

Vintimilla Cordova, E. V., & Paladines Eras, P. I. (2012). *AUDITORIA ELÉCTRICA A LA FABRICA DE CARTONES*, Tesis de Pregrado. Quito: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.

Anexos

- **Anexo 1:** Copia parcial del Pliego Tarifario para las Empresas Eléctricas De Distribución 2019
- **Anexo 2:** Detalles de Consumo de Energía Eléctrica de EMFALU Sangolquí de los años 2017 Y 2018
- **Anexo 3:** Detalles de Consumo de Energía Eléctrica de EMFALU San Rafael de los años 2017 Y 2018
- **Anexo 4:** Diagramas Unifilares Eléctricos
- **Anexo 5:** Termografías de Tableros y Motores Eléctricos de EMFALU
- **Anexo 6:** Análisis de los Motores, Equipos Eléctricos y Tableros Eléctricos en Condición de Operación
- **Anexo 7:** Detalle de la Cotización y Elementos a utilizarse en la Implementación del Sistema Automático para la Corrección del Factor de Potencia en EMFALU
- **Anexo 8:** Tasas de Interés Activas para diferentes sectores económicos de Ecuador - agosto 2020
- **Anexo 9:** Detalle de la cotización para la Instalación del Sistema Fotovoltaico en EMFALU
- **Anexo 10:** Detalle de la cotización para la Implementación de Variador de Frecuencia en EMFALU
- **Anexo 11:** Formatos para el Seguimiento de las Medidas y Acciones que Promueven el Ahorro Energético en EMFALU
- **Anexo 12:** Manual de Usuario para el Uso Correcto del Software de Gestión Energética