



Auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS para proponer alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos de operación.

Andrade Villacís, Carlos Esteban y Cevallos Rubio, Mauricio David

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Ingeniería Electromecánica

Trabajo de Titulación, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Electromecánica

Ing. Jiménez León, Mario Polibio

Latacunga, 09 de febrero del 2022



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**Auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS para proponer alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos de operación**” fue realizado por los señores **Andrade Villacís, Carlos Esteban** y **Cevallos Rubio, Mauricio David** 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.

Latacunga, 09 de febrero de 2022



Ing. Jiménez León, Mario Polibio

C.C.: 0501519326

DIRECTOR DEL PROYECTO

Reporte de verificación de contenido



Andrade_Cevallos_Tesis_V2.pdf

Scanned on: 20:8 February 9, 2022 UTC



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	1013
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	584
Omitted Words	4661

MARIO
POLIBIO



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Responsabilidad de auditoría

Nosotros, **Andrade Villacís, Carlos Esteban** y **Cevallos Rubio, Mauricio David**, con cédulas de ciudadanía N° 1725052086 y 0503883316 declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **“Auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS para proponer alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos de operación”** es de nuestra 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.

Latacunga, 09 de febrero de 2022

Andrade Villacís, Carlos Esteban

C.C.: 1725052086

Cevallos Rubio, Mauricio David

C.C.: 0503883316



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTROMECAÁNICA

Autorización de publicación

Nosotros **Andrade Villacís, Carlos Esteban** y **Cevallos Rubio, Mauricio David**, con cédulas de ciudadanía N° 1725052086 y 0503883316, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS para proponer alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos de operación”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 09 de febrero de 2022

Andrade Villacís, Carlos Esteban

C.C.: 1725052086

Cevallos Rubio, Mauricio David

C.C.: 0503883316

Dedicatoria

El presente trabajo lo dedico principalmente a Dios, por ser el inspirador y darme fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres Carlos y Carmen quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo, perseverancia y dedicación.

A mi hermano Brandon y a mi abuelita Isabel por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.

A mis tías que se volvieron como segundas mamás y mis primos como mis hermanos, ya que me compartieron su hogar permitiéndome llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas siempre.

A mi enamorada gracias por ser como mi mejor amiga, confiar en mí, apoyarme en cada paso, por sus consejos y sus ánimos para culminar el presente proyecto.

Andradé Villacís, Carlos Esteban

Dedicatoria

El presente trabajo de grado va dedicado a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida, bendiciéndome y dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer.

A mi familia por estar conmigo en todo momento, que con su apoyo incondicional, amor, aliento, esfuerzo y oraciones permitieron que logre culminar mi carrera profesional, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A todas las personas que me han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito, en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Finalmente, a los futuros profesionales quienes en su formación académica harán uso del presente proyecto.

Cevallos Rubio Mauricio David

Agradecimiento

Agradezco a Dios por bendecir mi vida, por guiarme, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Carlos y Carmen, por ser los principales promotores de mis sueños, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Mario Jiménez y al personal de la EPMAPS Bellavista quienes fueron los principales colaboradores durante todo este proceso, quienes con su dirección, conocimientos, enseñanzas y colaboración permitieron el desarrollo de este trabajo.

Andrade Villacís, Carlos Esteban

Agradecimiento

Siempre agradecido a Dios por todas sus bendiciones, por darme fuerzas, sabiduría como persona y brindarme una vida llena de aprendizajes y experiencias.

A mi familia por ser los primordiales promotores de mis sueños, que siempre confían en mí y me apoyan por más duro que fuese el camino, por quienes sigo mejorando continuamente.

A mi tutor de tesis por haberme guiado, no solo en la elaboración de este trabajo de titulación, sino a lo largo de mi carrera universitaria.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, por enriquecerme en conocimiento y permitirme concluir con una etapa de mi vida.

Al personal de la Planta EPMAPS Bellavista por haberme brindado el apoyo para desarrollar la tesis y culminar con éxito.

A mis amigos por el apoyo y momentos compartidos, haciendo que este proceso sea más ameno y llevadero.

Cevallos Rubio Mauricio David

Tabla de contenido

Carátula.....	1
Certificación	2
Reporte de verificación de contenido	3
Responsabilidad de auditoría	4
Autorización de publicación	5
Dedicatoria.....	6
Dedicatoria.....	7
Agradecimiento	8
Agradecimiento	9
Tabla de contenido	10
Índice de figuras.....	18
Índice de tablas	21
Resumen	23
Abstract.....	24
Planteamiento del problema	25
Antecedentes	25
Planteamiento del problema.....	27
Justificación e importancia	30
Objetivo general y específicos	31
<i>Objetivo General</i>	31
<i>Objetivo Específicos</i>	31
Marco teórico.....	32
Antecedentes investigativos	32
Planta de tratamiento de agua	37
Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) Bellavista.....	38
<i>Captación</i>	38
<i>Tratamiento</i>	38
<i>Distribución</i>	39
Procesos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS – Bellavista.....	39
<i>Reserva de agua cruda</i>	39
<i>Dosificación de productos químicos</i>	39
<i>Mezcla rápida</i>	39

<i>Clarificación</i>	39
<i>Filtración</i>	40
<i>Desinfección</i>	40
<i>Laboratorio – Control de calidad</i>	40
<i>Reserva de agua tratada</i>	40
El consumo de energía en plantas de tratamiento de agua	41
Dependencia del consumo energético	41
Auditorías energéticas	42
<i>Concepto</i>	42
<i>Tipos de auditorías energéticas</i>	43
Auditoría preliminar.	43
Auditoría detallada.	44
Auditoría especial.	44
Objetivos de la auditoría energética preliminar.....	45
Puntos esenciales para la auditoría energética preliminar	45
<i>Recopilación de información actual</i>	45
<i>Análisis de la factura eléctrica.</i>	45
<i>Diagnóstico de las instalaciones.</i>	46
<i>Análisis en las dependencias.</i>	46
<i>Propuesta de medidas correctivas.</i>	46
Levantamiento de información técnica	46
<i>Información precedente para la auditoría energética</i>	47
<i>Toma de datos</i>	47
Equipos necesarios para la auditoría energética	47
<i>Analizador de redes</i>	47
<i>Luxómetro</i>	48
<i>Multímetro</i>	48
Normativa ISO 50001 & NCh ISO 50006.....	48
<i>Sistema de gestión energética (SGE)</i>	49
El ahorro y la eficiencia energética	49
<i>Ahorro energético</i>	49
<i>Eficiencia energética</i>	50
<i>Beneficios del ahorro de energía y eficiencia energética</i>	51
Calidad de energía eléctrica	52

Variables eléctricas	52
<i>Voltaje.....</i>	52
Normativa para el voltaje.....	53
<i>Frecuencia</i>	54
Normativa para la frecuencia eléctrica.....	54
<i>Factor de potencia</i>	54
Normativa para factor de potencia.	55
<i>Distorsión armónica</i>	55
Normativa para armónicos.	57
<i>Potencia activa.....</i>	58
<i>Potencia reactiva</i>	58
<i>Potencia aparente.....</i>	58
<i>Corriente eléctrica</i>	59
<i>Sistema de iluminación</i>	60
<i>Magnitudes y unidades</i>	60
<i>Clasificación de fuentes de iluminación.....</i>	61
Artificial.....	61
Natural.....	61
Mixta.....	61
<i>Clasificación de la iluminación.....</i>	61
Directa.....	61
Semi-directa.....	61
Indirecta.....	61
Semi-indirecta.....	62
<i>Tipos de alumbramiento</i>	62
General.....	62
Localizado.....	62
Individual.....	62
<i>Niveles de luminosidad</i>	62
<i>Colores de iluminación</i>	65
<i>Componentes de una luminaria</i>	66
Carcasa.....	66
Reflector.....	66
Difusor.....	66

<i>Tipos de lámparas</i>	66
Lámparas incandescentes.	66
Lámparas ahorradoras.	67
Lámparas Fluorescentes.	67
Lámpara HID.	67
Lámpara tipo LED.	68
Herramienta computacional Excel	69
<i>Factores de evaluación económica</i>	69
Valor actual neto (VAN).	69
Tasa Interna de Retorno (TIR).	70
Relación Costo / Beneficio.	71
Período de recuperación de inversión.	72
Fundamentación legal	72
Hipótesis	74
Variables de investigación	74
<i>Variable independiente</i>	74
<i>Variable dependiente</i>	74
Operacionalización de las variables	74
Metodología	77
Antecedentes de la investigación	77
Enfoque de la investigación	80
Modalidad de la investigación	81
<i>De Campo</i>	81
<i>Bibliográfica – Documental</i>	81
<i>Inductiva deductiva</i>	82
Fuentes de investigación	82
<i>Fuente primaria:</i>	82
<i>Fuente secundaria:</i>	83
<i>Fuente terciaria:</i>	83
Niveles de investigación	83
<i>Exploratorio</i>	83
<i>Descriptivo</i>	83
<i>Explicativo</i>	84
Técnicas de investigación	84

<i>Observación directa</i>	84
<i>Entrevista no estructurada</i>	84
<i>Técnica indirecta de información</i>	84
<i>Técnica de medición</i>	85
Condiciones iniciales para la medición.	85
Ejecución de la medición.	85
Adquisición de datos.	86
Validez y confiabilidad	86
Procedimiento de la investigación	87
<i>Recopilación de información</i>	87
<i>Levantamiento de cargas</i>	88
<i>Caracterización energética</i>	89
Usos significativos de energía (USE´n).....	90
Sistema de iluminación.	90
<i>Análisis de resultados</i>	90
Diagrama de barras.....	91
Diagrama de sectores	91
Diagramas de tendencia.	91
Diagramas lineales.....	91
Diagrama de dispersión.....	91
<i>Propuesta</i>	91
Análisis e interpretación de resultados	93
Particularidades del lugar de estudio.....	93
<i>Ubicación geográfica</i>	93
<i>Información general</i>	93
<i>Descripción de las áreas</i>	94
<i>Descripción de los procesos de tratamiento de agua</i>	94
Proceso de dosificación de reactivos.	94
Proceso de mezclado de reactivos.....	96
Proceso de clarificación.	97
Proceso de filtración.	98
Proceso de desinfección.	99
Recopilación de información y levantamiento de carga.....	99
Suministro de la Planta Bellavista	100

<i>Transformador I</i>	101
<i>Transformador II</i>	101
<i>Generador Diésel</i>	102
Capacidad instalada de la Planta Bellavista	103
<i>Según la aplicación del uso de energía</i>	103
<i>Según los niveles de la planta</i>	104
<i>Según las áreas de la planta</i>	105
Facturación de la energía eléctrica de la EPMAPS Bellavista.....	107
<i>Consumo eléctrico</i>	108
<i>Demanda eléctrica</i>	109
<i>Factor de potencia</i>	110
<i>Total de planilla</i>	110
Tendencia de antigüedad de los activos.....	111
Sistema de iluminación.....	112
Consumo teórico de energía eléctrica.....	114
<i>Según la aplicación del uso de energía</i>	115
<i>Según los niveles de la planta</i>	116
<i>Según las áreas de la planta</i>	117
Usos significativos de energía (USE´n) de la Planta Bellavista	120
Medición de variables eléctricas.....	121
<i>Transformador</i>	122
Voltaje Transformador.	122
Corriente Transformador.	123
Frecuencia Transformador.....	124
Potencia Transformador.....	125
Energía Transformador.....	126
Factor de potencia Transformador.....	127
THD de corriente Transformador.....	128
<i>Dispensor</i>	129
<i>Soplador</i>	133
<i>Bomba de lavado de filtros</i>	137
<i>Clarificador</i>	140
<i>Sistema de iluminación</i>	144
Análisis de variables eléctricas	145

<i>Transformador</i>	145
Voltaje Transformador.	145
Corriente Transformador.	146
Frecuencia Transformador.	147
Potencia Transformador.	147
Factor de potencia Transformador.	147
Distorsión armónica total Transformador.	147
<i>Dispensor.</i>	148
Voltaje Dispensor.	148
Corriente Dispensor.	148
Frecuencia Dispensor.	149
Factor de potencia Dispensor.	149
<i>Soplador.</i>	149
Voltaje Soplador.	149
Corriente Soplador.	150
Frecuencia Soplador.	150
Factor de potencia Soplador.	151
<i>Bomba de lavado de filtros</i>	151
Voltaje Bomba.	151
Corriente Bomba.	151
Frecuencia Bomba.	152
Factor de potencia Bomba.	152
<i>Clarificador</i>	152
Voltaje Clarificador.	152
Corriente Clarificador.	153
Frecuencia Clarificador.	154
Factor de potencia Clarificador.	154
<i>Sistema de iluminación</i>	154
Propuesta	156
Título de la propuesta	156
Datos Informativos	156
<i>Nombre de la empresa</i>	156
<i>Ubicación</i>	156
<i>Dirección</i>	156

<i>Tipo de empresa</i>	156
<i>Tamaño de empresa</i>	156
<i>Equipo responsable</i>	156
Beneficiarios	156
Justificación de la propuesta	157
Fundamentación de la propuesta	157
Objetivo de la propuesta	158
<i>Objetivo general</i>	158
<i>Objetivos específicos</i>	158
Diseño de la propuesta	158
<i>Implementación de un sistema de iluminación eficiente</i>	158
Reemplazo de lámparas fluorescentes a lámparas tipo led.....	158
<i>Análisis técnico y económico.</i>	159
Reemplazo de lámparas ahorradores por lámparas tipo led.	160
<i>Análisis técnico y económico.</i>	161
Reemplazo de lámparas HID a lámparas tipo led.....	162
<i>Análisis técnico y económico.</i>	162
<i>Implementación de un sistema de control de iluminación</i>	164
Análisis técnico y económico.	165
<i>Sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia</i>	167
Análisis técnico y económico.	168
<i>Implementación de un sistema de autoconsumo.</i>	170
Análisis técnico y económico.	180
<i>Escenario A.</i>	180
<i>Escenario B.</i>	180
<i>Concientización del personal</i>	181
Análisis económico de las alternativas de ahorro y eficiencia.....	182
Conclusiones y recomendaciones	186
Bibliografía	189
Anexos	196

Índice de figuras

Figura 1 <i>EPMAPS de Bellavista</i>	29
Figura 2 <i>Procesos de la planta de tratamiento de agua Bellavista</i>	40
Figura 3 <i>Dependencia del consumo energético</i>	42
Figura 4 <i>Diagrama de Deming - Ciclo PHVA</i>	49
Figura 5 <i>Medición mediante los equipos en áreas específicas</i>	86
Figura 6 <i>Desarrollo de la auditoría energética en la planta Bellavista</i>	92
Figura 7 <i>Ubicación geográfica de la EPMAPS</i>	93
Figura 8 <i>Niveles y áreas de la Planta Bellavista de la EPMAPS</i>	94
Figura 9 <i>Proceso de dosificación de reactivos</i>	95
Figura 10 <i>Proceso de mezclado de reactivos</i>	96
Figura 11 <i>Proceso de clarificación</i>	97
Figura 12 <i>Proceso de filtración</i>	98
Figura 13 <i>Proceso de desinfección</i>	99
Figura 14 <i>Especificaciones técnicas del T1</i>	101
Figura 15 <i>Especificaciones técnicas del T2</i>	101
Figura 16 <i>Especificaciones técnicas del generador diésel</i>	102
Figura 17 <i>Potencia instalada según la aplicación del uso eléctrico</i>	103
Figura 18 <i>Potencia instalada según la aplicación del uso eléctrico</i>	104
Figura 19 <i>Potencia instalada según los niveles de la Planta</i>	104
Figura 20 <i>Potencia instalada según los niveles de la Planta</i>	105
Figura 21 <i>Potencia instalada según las áreas de la Planta</i>	106
Figura 22 <i>Potencia instalada según las áreas de la Planta</i>	107
Figura 23 <i>Historial de facturación de la planta Bellavista</i>	108
Figura 24 <i>Consumo eléctrico en el año 2021</i>	109
Figura 25 <i>Demanda eléctrica en el año 2021</i>	109
Figura 26 <i>Factor de potencia en el año 2021</i>	110
Figura 27 <i>Costo de planilla en el año 2021</i>	111
Figura 28 <i>Tendencia de antigüedad de los activos</i>	112
Figura 29 <i>Tipos de lámparas que presenta la planta EPMAPS – Bellavista</i>	113
Figura 30 <i>Cantidad y tipo de lámparas en las áreas de la Planta Bellavista</i>	114
Figura 31 <i>Consumo teórico según la aplicación del uso eléctrico</i>	115
Figura 32 <i>Consumo teórico según la aplicación del uso eléctrico</i>	116
Figura 33 <i>Consumo teórico según los niveles de la Planta</i>	116

Figura 34 Consumo teórico según los niveles de la Planta.....	117
Figura 35 Consumo teórico según las áreas de la Planta.....	118
Figura 36 Consumo teórico según las áreas de la Planta.....	119
Figura 37 Usos significativos de energía de la Planta Bellavista	121
Figura 38 Comportamiento de los voltajes vs tiempo real.....	122
Figura 39 Comportamiento de las corrientes vs tiempo real.....	123
Figura 40 Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.....	124
Figura 41 Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real .	125
Figura 42 Comportamiento de la energía vs tiempo real	126
Figura 43 Comportamiento de los factores de potencia vs tiempo real	127
Figura 44 Representación de los THD de corriente	128
Figura 45 Comportamiento de los voltajes vs tiempo real.....	130
Figura 46 Comportamiento de las corrientes vs tiempo real.....	130
Figura 47 Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.....	131
Figura 48 Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real .	132
Figura 49 Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.....	132
Figura 50 Comportamiento de los voltajes vs tiempo real.....	134
Figura 51 Comportamiento de las corrientes vs tiempo real.....	134
Figura 52 Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.....	135
Figura 53 Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real .	136
Figura 54 Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.....	136
Figura 55 Comportamiento de los voltajes vs tiempo real.....	138
Figura 56 Comportamiento de las corrientes vs tiempo real.....	138
Figura 57 Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.....	139
Figura 58 Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real .	139
Figura 59 Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.....	140
Figura 60 Comportamiento de los voltajes vs tiempo real.....	141
Figura 61 Comportamiento de las corrientes vs tiempo real.....	142
Figura 62 Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.....	143
Figura 63 Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real .	143
Figura 64 Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.....	144
Figura 65 Valores medidos del sistema de iluminación.....	145
Figura 66 Funcionamiento del sensor de movimiento.....	164
Figura 67 Irradiación global promedio diaria [kWh/m ² día] de cada mes	172

Figura 68 <i>Distanciamiento para los paneles solares.....</i>	178
Figura 69 <i>Área disponible en la azotea de la EPMAPS Bellavista.....</i>	178
Figura 70 <i>Esquema unifilar del sistema fotovoltaico conectado a red</i>	179

Índice de tablas

Tabla 1 Límites del nivel de voltaje.....	53
Tabla 2 La distorsión armónica total de corriente.....	57
Tabla 3 La distorsión armónica total de voltaje	57
Tabla 4 Magnitudes y unidades para sistemas de iluminación.....	60
Tabla 5 Niveles mínimos de iluminación.....	63
Tabla 6 Número mínimo de puntos a medir	64
Tabla 7 Rango de valoración de la iluminación	65
Tabla 8 Clase de color para sistemas iluminación	65
Tabla 9 Aspectos técnicos de los tipos de lámparas.....	68
Tabla 10 Valor actual neto.....	70
Tabla 11 Toma de decisión respecto al valor del TIR.....	71
Tabla 12 Toma de decisión respecto a la relación costo / beneficio	72
Tabla 13 Variable independiente	74
Tabla 14 Variable dependiente.....	75
Tabla 15 Consumo teórico total de energía eléctrica de la Planta Bellavista.....	119
Tabla 16 Voltaje máx, promedio y mín. [V].....	122
Tabla 17 Corriente máx, promedio y mín. [A].....	123
Tabla 18 Frecuencia máx, promedio y mín. [Hz].....	124
Tabla 19 Potencia máx, promedio y mín. [W]; [Var]; [VA].....	125
Tabla 20 Energía máx., promedio y mín. [Wh]	126
Tabla 21 Factor de potencia (FP) máx, promedio y mín.....	127
Tabla 22 THD de corriente promedio [%]	128
Tabla 23 Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Dispensor.....	129
Tabla 24 Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Soplador.....	133
Tabla 25 Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Bomba.....	137
Tabla 26 Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Clarificador.....	140
Tabla 27 Porcentaje de la variación de voltaje [%].....	146
Tabla 28 Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]	146
Tabla 29 Porcentaje de variación de voltaje [%].....	148
Tabla 30 Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]	149
Tabla 31 Porcentaje de variación de los voltajes [%]	150
Tabla 32 Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]	150
Tabla 33 Porcentaje de variación de los voltajes [%]	151

Tabla 34 <i>Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]</i>	152
Tabla 35 <i>Porcentaje de variación de los voltajes [%]</i>	153
Tabla 36 <i>Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]</i>	153
Tabla 37 <i>Características lámpara fluorescente y tipo led</i>	159
Tabla 38 <i>Propuesta del sistema de iluminación</i>	159
Tabla 39 <i>Costos de inversión de la propuesta</i>	160
Tabla 40 <i>Características lámpara ahorrador y tipo led</i>	161
Tabla 41 <i>Propuesta del sistema de iluminación</i>	161
Tabla 42 <i>Costos de inversión de la propuesta</i>	162
Tabla 43 <i>Características lámpara de alta intensidad de descarga y tipo led</i>	162
Tabla 44 <i>Propuesta del sistema de iluminación</i>	163
Tabla 45 <i>Costos de inversión de la propuesta</i>	163
Tabla 46 <i>Propuesta del sistema de iluminación a tipo led</i>	164
Tabla 47 <i>Características del sensor de movimiento</i>	165
Tabla 48 <i>Estimación de la propuesta</i>	166
Tabla 49 <i>Costos de inversión de la propuesta</i>	166
Tabla 50 <i>Características principales del motor estándar actual y el de alta eficiencia</i>	168
Tabla 51 <i>Análisis económico entre motor actual y de alta eficiencia</i>	169
Tabla 52 <i>Análisis para el área de dispersores</i>	169
Tabla 53 <i>Coordenadas de la planta Bellavista</i>	171
Tabla 54 <i>Irradiación global diaria promedio [kWh/m²día]</i>	171
Tabla 55 <i>Especificaciones del panel solar</i>	173
Tabla 56 <i>Especificaciones del inversor</i>	173
Tabla 57 <i>Análisis económico para los escenarios</i>	181
Tabla 58 <i>Análisis económico de la mejora del sistema de iluminación</i>	183
Tabla 59 <i>Análisis económico para la adquisición de motores de alta eficiencia</i>	184
Tabla 60 <i>Análisis económico del sistema fotovoltaico</i>	184

Resumen

Actualmente en función de las políticas de estado vigentes toda industria tiene el propósito de fomentar el ahorro y eficiencia energética para un consumo responsable de energía que minimice los impactos negativos del medio ambiente e incrementar la rentabilidad y competitividad; frente a estos aspectos, el presente proyecto tiene como objetivo desarrollar la auditoría energética preliminar del sistema eléctrico en la Planta Bellavista de la EPMAPS para proponer alternativas de ahorro y eficiencia energética considerando las estrategias de desarrollo que emana la Ley Orgánica de Eficiencia Energética, para minimizar costos de operación y promover la sostenibilidad ambiental. Al ser una entidad que brinda un servicio vital como es el agua y que viene operando desde el año de 1990, fue necesario conocer la situación actual en la que opera; para ello, el desarrollo se basó en la recopilación de información para la elaboración del inventario de activos actuales y el levantamiento de cargas en la que se obtuvo la comprobación de la energía utilizada con la registrada por la entidad distribuidora y se logró identificar que el área de sopladores, bombas de lavado, dispersores y clarificadores son los usos significativos de energía (USEⁿ). A fin de obtener un análisis operativo de la planta en general y de los usos significativos se obtuvo parámetros eléctricos mediante el analizador de redes AEMC 3945 y el luxómetro EXTECH 407026, para ser evaluados de acuerdo a la Regulación ARCERNNR y otros estándares vigentes. Bajo el análisis se plantea la implementación de un sistema de iluminación eficiente mediante la utilización de tecnología led y el control de luminarias en áreas poco transitadas, la actualización de motores por unos más eficientes y se plantea el sistema de autoconsumo con energía solar fotovoltaica.

Palabras clave:

- **AUDITORÍA ENERGÉTICA**
- **AHORRO ENERGÉTICO**
- **EFICIENCIA ENERGÉTICA**

Abstract

Currently, according to current state policies, every industry has the purpose of promoting energy savings and efficiency for responsible energy consumption that minimizes negative environmental impacts and increases profitability and competitiveness; in view of these aspects, the objective of this project is to develop a preliminary energy audit of the electrical system at the Bellavista Plant of EPMAPS to propose alternatives for energy savings and efficiency, considering the development strategies set forth in the Organic Law on Energy Efficiency, to minimize operating costs and promote environmental sustainability. Being an entity that provides a vital service such as water and has been operating since 1990, it was necessary to know the current situation in which it operates; for this, the development was based on the collection of information for the preparation of the inventory of current assets and the survey of loads in which the verification of the energy used with that registered by the distributing entity was obtained and it was possible to identify that the area of blowers, washing pumps, dispersers and clarifiers are the significant uses of energy (USE'n). In order to obtain an operational analysis of the plant in general and of the significant uses, electrical parameters were obtained using the AEMC 3945 network analyzer and the EXTECH 407026 luxmeter, to be evaluated according to the ARCERNNR Regulation and other standards in force. Under the analysis, the implementation of an efficient lighting system is proposed through the use of LED technology and the control of lighting fixtures in areas with little traffic, the upgrade of motors for more efficient ones, and a self-consumption system with photovoltaic solar energy.

Key words:

- **ENERGY AUDIT**
- **ENERGY SAVINGS**
- **ENERGY EFFICIENCY**

Capítulo I

1. Planteamiento del problema

1.1. Antecedentes

A nivel mundial, los requerimientos de energía ascienden apresuradamente, ya que las personas dependen de los recursos energéticos para cubrir la mayoría de sus necesidades, teniendo en cuenta de que la energía barata ha quedado en la historia; por el mismo hecho la humanidad viene buscando alternativas como fuentes de energía para cubrir su necesidad. (Cerón, 2007). En su gran mayoría una de las fuentes más destacables a nivel mundial es mediante los combustibles fósiles, mismos que provocan agravio al medio ambiente. Hablando directamente de nuestro país Ecuador se dice que depende de gran medida del petróleo y del gas natural; por lo que se considera como un país con una matriz energética contaminante y no sustentable de acuerdo a la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo; por lo que es preciso tomar medidas desde el punto de vista económico, social y ambiental.

En los últimos años las necesidades energéticas se han ido duplicando y más cuando se habla de los países desarrollados, el consumo de energía en el sector industrial corresponde a la cuarta parte de la energía producida por el país, pese a esto aquellas organizaciones en general han tomado medidas para enfrentar esta problemática mediante la práctica eficiente de la energía, el ahorro energético en sus actividades, utilización de energías renovables viables, entre otros, siendo los necesarios para solventar los procesos de producción y en la prestación de servicios, convirtiéndose en organizaciones respetuosas con el ambiente.

En la actualidad uno de los propósitos que se destaca a nivel empresarial es fomentar el ahorro y eficiencia energética buscando establecer un consumo responsable de la energía, en la que el sector público y privado se encamina cada vez

con mayor ímpetu en el ahorro de los recursos sobre todo en la parte energética para alcanzar el desarrollo sostenible y la obtención de un crecimiento económico, como lo manifiesta el informe Brundtland (Comité Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1987); además se obtiene varios beneficios no energéticos, en la que se incluyen huellas positivas en el aspecto social afín con la disminución de la pobreza energética y mejorando el beneficio en el acceso a la energía de acuerdo a lo planteado en (Gancino, 2018).

(URE, 2020), manifiesta que el sector empresarial e industrial hoy en día tiene un gran desafío, ya que para reducir los impactos negativos en el medio ambiente es necesario usar de manera racional la energía, lo que significa evitar desperdiciarla y realizar las actividades con el mínimo de energía posibles, incrementando directamente su rentabilidad, para ello se requiere aprovechar de la innovación y la tecnología para minimizar los elevados consumos de energía y combustible en las empresas, asegurando un mejor futuro.

Por lo antes mencionado, la mejor manera de que las organizaciones puedan tener un ahorro de energía es mediante una evaluación técnica denominada como auditoría energética, siendo esto un procedimiento organizado para evaluar el sistema eléctrico, adquiriendo un perfil de conocimiento suficiente de la situación real, identificando y evaluando las posibles oportunidades de ahorro de energía.

De acuerdo a los argumentos y criterios insinuados, se espera que el Ecuador continúe dando pasos en este camino, hacia una nueva matriz energética para promover el avance financiero del país descubriendo la soberanía energética, ya que el consumo energético es un elemento que afecta llanamente en los costos operativos de cualquier industrial; como también suscita con la preservación del medio ambiente.

Con estos antecedentes, La Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS como algunas otras empresas ecuatorianas posee problemáticas energéticas, siendo inevitable contar de un estudio técnico que permita establecer alternativas de ahorro y utilización racional de la energía, en sitios que requiere atención para su análisis.

Posteriormente, con el propósito de mantener una mejor perspectiva de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS, se describen algunos de los aspectos, características y particularidades considerados importantes:

EPMAPS es una empresa encargada de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y salvaguardar el recurso vital para toda la población del Distrito Metropolitano de Quito, está ubicada en el Parque Metropolitano Bellavista, comenzó sus operaciones en el mes de mayo de 1990, con capacidad máxima de tratamiento de 3 000 L/s, capacidad que abastece al 36% de Quito (Álvarez R. , 2014).

La planta está compuesta de tres grandes etapas que son: captación, tratamiento y distribución; cada una de ellas presenta procesos técnicos y de control que satisfacen la calidad y la continuidad del recurso vital con esto se asegura que cada habitante del Distrito Metropolitano de Quito tenga acceso a este recurso vital, con una operación de 24 horas del día y los 365 días del año.

1.2. Planteamiento del problema

Actualmente uno de los principales propósitos empresariales e industriales independientemente de su sector o razón social, es el de mejorar la producción o servicios, maximizando costos operativos relativamente mínimos, generando ahorro de energía y a la vez reduciendo los impactos ambientales, motivo por el cual en algunas

ocasiones se ignora si los recursos energéticos existentes están o no aprovechándose de manera óptima.

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – Bellavista al ser una empresa que cumple una función importante en el Distrito Metropolitano de Quito como es el de brindar agua potable para el consumo humano, garantizando así las respectivas necesidades y preservando la salud de los habitantes, así como el cuidado del entorno ecológico y contribuyendo al mantenimiento de las fuentes hídricas de Quito, razón por la cual es necesario una evaluación del sistema eléctrico mediante una auditoría energética, por tal motivo el planteamiento del problema se lo ve reflejado de la siguiente manera:

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – Bellavista opera desde el 18 de mayo de 1990 sin ninguna actualización en su infraestructura, lo cual buena parte de sus instalaciones para los diferentes procesos de tratamiento que dispone cuentan con tecnología de los años ochenta como son en su mayoría las bombas y los motores. De acuerdo a (Izar, 2017) la tecnología de los años ochenta tienen una eficiencia baja y tiende a disminuir su vida útil lo que conlleva a un consumo energético elevado, un continuo mantenimiento y una variedad de problemáticas en parámetros eléctricos como pueden ser variaciones en el voltaje, corrientes, factor de potencia, entre otras; afectando directamente la rentabilidad de la empresa.

Por otro lado, es el desconocimiento del estado del sistema eléctrico actual de la planta, puesto que no se cuenta con un estudio técnico referente, por lo que no disponen de registros ni seguimientos de los cambios que han surgido hasta la presente para una comparación, cuantificación y consumo de energía de la planta, así como de otros datos necesarios.

En consecuencia, es imprescindible la auditoría energética, ya que de esta manera permite conocer la situación actual eléctrica e identificar las debidas alternativas de ahorro energético en las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Agua de Bellavista, para mejorar el uso eficiente de la energía eléctrica garantizando reducir los costos operacionales y los impactos medio ambientales. En la **Figura 1** se puede visualizar la Planta Bellavista de la EPMAPS.

Figura 1

EPMAPS de Bellavista



Nota. Este gráfico representa las instalaciones de la EPMAPS de Bellavista. Tomado de: (EPMAPS Quito, 2021)

Con el fin de obtener los resultados mencionados es necesario conocer dónde y cómo está siendo utilizada la energía en todos sus puntos de consumo, de tal forma saber dónde tener un ahorro energético y no solamente de las zonas específicas; por esto partimos con el levantamiento de información para la realización de un inventario de activos existentes de la Planta de Tratamiento de Agua de Bellavista, ya que en los próximos años consideran una repotenciación de las instalaciones como son remodelaciones en su infraestructura, adquisición de equipos, entre otros; con el propósito de garantizar un servicio de calidad a los usuarios.

1.3. Justificación e importancia

Toda empresa tiene por objetivo propio actual a futuro irse innovando constantemente no solo en términos de adquisición de nuevos activos sino de la utilización de equipos eficientes, como también la utilización de energías renovables o en la implementación de políticas para un buen uso de la energía eléctrica; de esta manera obteniendo beneficios económicos y siendo respetuoso con el medio ambiente.

El desarrollo del presente proyecto tiene trascendencia significativa ya que la Planta de Tratamiento de Agua de Bellavista brinda un servicio básico vital como es el agua para el consumo humano utilizando una serie de procesos para dar el respectivo tratamiento, por lo que es necesario contar con una auditoría energética para conocer la situación actual en la que se encuentra operando, analizar e identificar las posibles alternativas en términos de eficiencia, ahorro energético; y por otro lado apoyar a futuro al proyecto que tiene la Empresa Pública Metropolitana de Agua y Saneamiento EPMAPS de la implementación de la normativa ISO 50001 en la Planta Bellavista.

Este proyecto tiene como finalidad proponer alternativas de mejoras, que se vean reflejadas principalmente en el ahorro de energía y eficiencia energética, ya que el valor económico de la energía eléctrica forma parte importante de los rubros dentro de los costos generales de la Planta Bellavista de la EPMAPS, así mismo encaminar hacia el desarrollo sostenible. Cabe señalar que la auditoría energética en el sistema eléctrico es importante para:

- Conocer la situación y el estado en la que se encuentran los activos.
- Realizar un inventario de activos del estado energético actual.
- Medir y registrar parámetros eléctricos en las zonas específicas.
- Realizar un análisis en base a los resultados obtenidos.
- Plantear alternativas que atenúen posibles problemáticas de consumo.

- Determinar posibles oportunidades de ahorro y eficiencia.

1.4. Objetivo general y específicos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar una auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS para proponer alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos de operación.

1.4.2. Objetivo Específicos

- Realizar un inventario de activos actuales que posee la EPMAPS Bellavista.
- Efectuar la auditoría energética preliminar en el sistema eléctrico de acuerdo con la información recolectada.
- Analizar las áreas críticas según los parámetros obtenidos en la auditoría, para reconocer los potenciales de ahorro energético.
- Proponer posibles soluciones de eficiencia energética para lograr el ahorro de energía y reducción de los costos de operación.
- Realizar una evaluación económica de acuerdo a las propuestas establecidas.

Capítulo II

2. Marco teórico

2.1. Antecedentes investigativos

A nivel mundial la necesidad de ahorrar la energía y mejorar la eficiencia energética en los sectores industriales aumenta cada día más, ya que al ser una alternativa muy importante para las empresas es considerada barata y no contaminante, por lo que es aplicable en cualquier empresa. En Estados Unidos, Unión Europea, Japón, Canadá, entre otros, tienen implementado equipamientos con la mayor eficiencia posible y programas de ahorro energético para cumplir sus estrategias y objetivos en cada uno de sus sectores que se destacan en los diferentes países que son impulsados por sus gobiernos. (Llancamán & Porflit, 2017). Uno de los objetivos que se maneja en la Unión Europea se denomina el Pacto Verde, en la que las industrias deben lograr a medio plazo una industria sostenible y competitiva en el sector, a largo plazo ser una industria prácticamente digital y verde. (Dionisio, 2020)

En la actualidad las industrias deben involucrarse en la innovación de manera constante para permanecer en el sector, esto no solo en el punto de equipamientos modernos sino en la parte de efectuar políticas energéticas con el objeto de usar la energía de forma consiente para ejecutar procesos productivos o proveer servicios. La eficiencia energética se convertirá en un futuro como la palanca clave para estimular la transición energética y alcanzar un sistema energético sostenible en el sector industrial.

De este modo, las mejoras en el ahorro energético pueden formar un papel distinguido en el aspecto económico, social y medioambiental para aquellas empresas e industrias que se ven asociadas normalmente a las mejoras en su ahorro energético, por lo que generalmente se busca inversiones de gran volumen en instalaciones y equipamientos eficientes, provocando un nivel más óptimo en el sector. (Gómez, 2021).

En América Latina de manera general se dice que existe un comienzo sobre la implementación de estrategias o políticas asociadas al uso racional de las energías, desde el lado del consumidor. Desde ese punto de vista han realizado un estudio para diagnosticar el estado de algunos sectores sobre la aplicación de eficiencia energética, obteniendo como resultado que en los países seleccionados varía el nivel de impulso de las políticas. En la que concluyen que en la región se requiere de un soporte para que impulse la ejecución de proyectos en eficiencia energética y que ésta se pueda mantener constante en el tiempo. (Dae, 2016).

El Plan Nacional de Eficiencia Energética (PLANEE, 2017) tiene como fin reducir el consumo energético, por lo que establece como líneas de acción el programa de sustitución activos ineficientes en las industrias con lo que pretende una disminución del 10% para el 2035 de la intensidad energética, al igual el (CAF, 2016) tiene el mismo fin, ya que comprende propuestas de ahorro adaptables basadas en experiencias internacionales de acuerdo al sector; por lo que el Ecuador actualmente viene efectuando iniciativas encaminadas a la eficiencia energética, uso inteligente y responsable de la energía, desde la perspectiva del sector industrial. A partir del año 2012 se ejecutaron proyectos de esta índole, pero algunos de ellos son complicados de conseguir, una de las razones es por el tamaño de inversión que necesita. De acuerdo al Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER, 2016) que al efectuar medidas de uso racional de energía y ahorro energético se llegará a disminuir un porcentaje del consumo energético en cualquier sector. Por tal motivo se debe ejecutar auditorías energéticas del tipo preliminar, detallada y especial en base a normativas nacionales o internacionales, en sectores puntuales tales como Industrias, Empresas, Transporte, etc; para mejorar el desempeño energético.

En esencia, con el incremento espectacular del consumo de energía eléctrica en el país, principalmente en la parte urbana, cuentan con diferentes empresas consideradas fundamentales para la sostenibilidad de las personas y el país por brindar servicios o productos vitales; como por ejemplo las plantas de tratamiento de agua potable, industrias farmacéuticas, servicios hospitalarios, entre otras; siendo un conjunto de empresas con un porcentaje de consumo energético alto, esto a causa de la parte operativa, es decir funciona los 365 días del año y las 24 horas del día, por lo que la energía eléctrica requerida es constante para cubrir las diferentes necesidades, convirtiéndose en sectores con mayor consumo de energía. (Albornoz, 2012)

Con respecto al tema los trabajos vinculados que presentan estudios energéticos en diferentes tipos de organizaciones se presentan a continuación, uno de ellos corresponde a (Lozano, 2020), de la Universidad Internacional SEK con el tema "Planeación energética estación de bombeo de agua cruda Manta - Ecuador, bajo la norma ISO 50001", realizó una evaluación energética para obtener indicadores de desempeño y objetivos energéticos, para ello recolectó datos de consumo energético logrando obtener como resultado que la zona crítica con mayor consumo eléctrico del proceso de tratamiento de agua potable se da en la estación de bombeo de captación, recomendando así, que se implemente un sistema de gestión acorde a las expectativas y exigencias del plan nacional sobre eficiencia energética.

Mientras que, (Molina P. , 2014), con el tema "Levantamiento, rediseño y auditoría energética para la factibilidad de implantación de la norma ISO 50001 en el sector de Termoplásticos de la empresa Plasticaucho Industrial S.A.", desarrolló un estudio energético mediante la auditoría donde se obtuvo como resultado mediante un levantamiento de carga, la utilización de la energía en la empresa y la maquinaria involucrada en las áreas; identificando que el área crítica es la de mezclas

termoplásticas, de igual forma consideraron cuánto pagan al final de cada mes y las zonas donde existe uso innecesario o irracional de energía con la necesidad de mejorar la eficiencia en el consumo energético para la implementación de un sistema de gestión energético como es la norma ISO 50001 que asegura el uso racional y eficiente de la energía eléctrica, incrementando la rentabilidad y competitividad de la empresa.

En cambio, en el documento de la (CEPAL, 2015) titulado como “Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado”, se argumenta la problemática sobre la falta de la eficiencia energética en los servicios de agua potable y alcantarillado, que comprende la captación, potabilización y distribución de agua, dando como resultado que debido a problemáticas eléctricas como bajo factor de potencia, bajo rendimiento de equipos entre otros. Se presenta un proyecto de eficiencia energética con la participación de doce empresas en las cuáles se aplicó metodologías de carácter técnico, acciones destinadas para un ahorro energético como es la mejora de la gestión, mantenimiento de equipos ya que gran parte de motores y bombas funcionan con bajo nivel de rendimiento debido a los años de servicio y a una selección inadecuada de los mismos, en la mayoría se concuerda con la sustitución de activos por unos de alta eficiencia, corrección del factor de potencia y sustitución de lámparas ineficientes.

De acuerdo a (Vintimilla & Paladines, 2012), con el tema “Auditoría Eléctrica a la Fábrica de Cartones Naciones CARTOPEL” mediante un levantamiento de información de las cargas que se encuentran dentro de las diferentes áreas, permitió identificar el consumo dentro de la industria dando como resultado establecer los sistemas o equipos con mayor consumo eléctrico para de esta manera buscar las alternativas de ahorro de energía y uso eficiente de la misma, como por ejemplo el rediseño del banco de

capacitores para mejorar el factor de potencia y cambio de luminaria a tipo led permitiendo así tener un ahorro significativo en sus instalaciones.

Entre los trabajos de investigación con mayor relación al tema que se encuentran realizados internacionalmente, es en la que realizaron un estudio o evaluación energética en plantas de tratamiento de agua potable, con el proyecto “Auditoría energética en una planta de tratamiento de agua potable” por los autores (Álvarez & Folgueras, 2012), de la Universidad de OVIEDO, en la que partieron desde un estudio energético básico mediante la recopilación de información sobre el uso de la energía, equipos dentro de las diferentes áreas y variables que se considere importante para el consumo de energía, con ayuda de equipos como un analizador de redes, luxómetro, multímetro, entre otros, adicional a esto se analizó desde el punto de vista económico las diferentes propuestas de mejora que se obtuvieron.

Otro trabajo relacionado es el perteneciente a (Rodríguez, 2014), con el proyecto “Eficiencia energética y tratamiento de agua potable” en el que menciona que para poder potabilizar el agua se lo realiza a través de plantas de tratamiento, pero en la mayoría se concuerda que el área con mayor consumo energético es el de filtración ya que se ocupan equipos de gran capacidad. Según el estudio realizado en el Sistema de Bombeo de Agua Potable y Saneamiento de Municipalidades de México se tiene un indicador de consumo para el sistema de tratamiento de agua de $0,0266 \text{ KWh/m}^3$ (Mem, 2017).

En conclusión, las investigaciones revisadas de varios autores concuerdan con una misma metodología de análisis, en donde presentan los procedimientos necesarios para desarrollar un estudio energético, permitiendo identificar zonas que requieren ser analizadas y aplicando propuestas de mejora para alcanzar un ahorro sin afectar la

productividad de la industria, logrando reducir sus costos operacionales y contribuyendo al cuidado del medio ambiente.

Finalmente, gracias a todas estas investigaciones efectuadas, han conseguido favorecer en gran medida en obtener la eficiencia energética en las industrias independientemente de su sector, ya que la eficiencia energética se considera una prelación para las mismas, no solo económicamente sino por cuidar el medio ambiente al hacer un uso provechoso de la energía.

2.2. Planta de tratamiento de agua

La Planta de tratamiento de agua potable según (Diseprosa, 2013) hacen referencia a una estación en la que tratan el agua mediante diferentes operaciones biológicas, químicas y físicas, con el objeto de reducir gran parte o toda de la contaminación no deseada del agua proveniente de forma natural o de algún proceso; en la que finalmente gracias al conjunto de operaciones efectuadas se obtiene aguas con características apropiadas para el uso humano.

Este tipo de plantas de tratamiento poseen distintas tecnologías para potabilizar el agua, pero todas favorecen con los mismos criterios a cumplir, como, por ejemplo: poseer diferentes fases del proceso de potabilización, cada fase del proceso cumple una función en específico respecto a la contaminación del agua de partida, generar un tratamiento integrado para lograr el propósito general, entre otros. (Cobra, 2017). La mayoría de plantas de tratamiento de agua presentan los siguientes procesos: floculación, sedimentación, filtración y desinfección; toda su estructura está diseñada de forma compacta, robusta e innovadora o dispuesta a modificaciones futuras. (Isa, 2020).

2.3. Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS)

Bellavista

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) Bellavista se trata de una entidad que pertenece al Sistema Papallacta, situada en la loma de Guangüiltagua, en el Parque Metropolitano (nororiente) a una altura de 2960 msnm. (Cañas, 2015). Es una empresa con personería jurídica administrativa, operativa y financiera, que se rige por la ley de régimen municipal.

De acuerdo a (Toapanta, 2008), EPMAPS, es la encargada de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y salvaguardar el recurso vital para toda la población del Distrito Metropolitano de Quito. Su capacidad instalada produce 3.000 l/s de agua al mes aproximadamente, en la que abastece aproximadamente a 36% de habitantes del Distrito Metropolitano de Quito (DMQ). Está compuesta de tres etapas que se detallan a continuación, cada etapa emplea procesos técnicos y de control que satisfacen la calidad y continuidad del recurso vital; con la operación de 24 horas del día y todos los días del año. (Cañas, 2015).

2.3.1. Captación

Se encuentra aledaña de la planta con el propósito de recoger el agua de la fuente natural y posteriormente trasladada mediante conductos por gravedad. La captadora de la planta Bellavista es Papallacta (caudal 3000 litros por segundo).

2.3.2. Tratamiento

Existen diferentes plantas de tratamiento de agua en el DMQ para potabilizar el agua, para encargarse de purificar y desinfectar el líquido para el consumo humano. La planta de tratamiento Bellavista se encuentra al norte de la capital.

2.3.3. Distribución

La última etapa es la de distribuir el líquido vital, es decir transportar el agua potabilizada a las zonas del Distrito Metropolitano de Quito mediante una red de tuberías subterráneas por gravedad.

2.4. Procesos de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS – Bellavista.

La Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento (EPMAPS) de Bellavista según (Frutos, 2013), es una de las plantas de tratamiento de agua principales dentro del Distrito Metropolitano de Quito, en la que se efectúan diferentes procesos para lograr la potabilización del agua, los cuales a continuación se muestran:

2.4.1. Reserva de agua cruda

Se tiene un tanque en forma circular el cuál comprende dos cámaras las cuáles tienen una capacidad de 63.000 metros cúbicos en total.

2.4.2. Dosificación de productos químicos

Para realizar el proceso de tratamiento se utiliza productos químicos como: sulfato de aluminio, polímero; y para la desinfección del agua, cloro.

2.4.3. Mezcla rápida

Se tiene dos mezcladores mecánicos los cuáles poseen velocidad variable con motores de 50 HP, garantizándose la mezcla entre los productos y el agua.

2.4.4. Clarificación

Se dispone de cuatro unidades mecánicas, en donde se realizan los procesos combinados de floculación y sedimentación.

2.4.5. Filtración

Se cuenta con diez unidades de filtración rápida de flujo descendente. El lecho filtrante está constituido por arena cuarcífera apoyada sobre grava, y esta a su vez sobre un fondo falso de hormigón pre moldeado.

2.4.6. Desinfección

Al agua filtrada se aplica una solución de cloro, a fin de garantizar la calidad bacteriológica del agua a nivel de la red de distribución.

2.4.7. Laboratorio – Control de calidad

La Planta cuenta con un laboratorio Físico – Químico y Microbiológico para el control de la calidad del agua en base a la Norma 1108 y Sello de Calidad 9001.

2.4.8. Reserva de agua tratada

La Planta cuenta con dos tanques de reserva para el almacenamiento de agua tratada, el primero de 10.000 m³ y el segundo de 20.000 m³.

A continuación, en la **Figura 2**, se visualiza un esquema de los procesos que efectúa la Planta Bellavista de la EPMAPS, para potabilizar el agua.

Figura 2

Procesos de la planta de tratamiento de agua Bellavista



Nota. El esquema representa los diferentes procesos que se tiene dentro de la planta de Tratamiento de agua Bellavista. Tomado de: (Frutos, 2013)

2.5. El consumo de energía en plantas de tratamiento de agua

La energía eléctrica es necesaria para conducir, potabilizar y distribuir el agua; esta dependencia que posee la energía y el agua están muy correlacionadas como recursos, ya que fundamentalmente no solo en el ámbito económico es importante, sino que también en términos de salud, bienestar humano y en sostenibilidad ambiental. El uso de energía forma un parámetro importante en los costos operacionales para generar agua potabilizada, ya que los procesos de tratamiento que intervienen utilizan máquinas grandes en términos de carga instalada según (Mem, 2017).

Cuando hablamos del sector industrial se dice que el 35% del consumo total corresponde al sistema de iluminación, esto de manera aproximada ya que depende de otros factores que intervienen en la industria tales como ubicación, tamaño, dependencia de luz natural, en sí actividades que realiza, entre otras. (Endesa, 2010). Por lo que provoca un consumo eléctrico considerable en toda empresa, por lo que se podría disminuir con aparatos más eficientes, sistemas de control inteligente y aprovechamiento de luz natural, según (PME, 2013).

De acuerdo a (Ameneer, 2019), en la operación de una planta de tratamiento de agua, el coste de energía eléctrica es siempre uno de los principales y normalmente el primero o segundo, junto con el coste de personal. Mientras que (Bustamante G. E., 2018), menciona que el sector industrial en el Ecuador representa un 19% aproximadamente del total de la demanda del país, ocupando el segundo lugar de mayor consumo energético, siendo las plantas de tratamiento de agua potable parte del sector industrial.

2.6. Dependencia del consumo energético

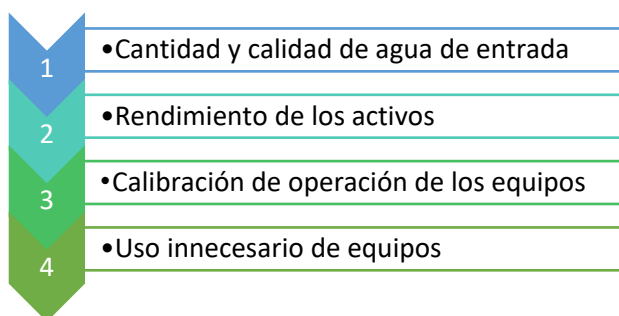
La dependencia del consumo energético en las plantas de tratamiento de agua tiene función en los siguientes parámetros: cantidad y calidad del agua entrante por lo

que depende de mucho el tipo de agua que ingrese para partir desde este punto los procesos necesarios para el tratamiento lo que directamente influye al gasto de más energía eléctrica. También se tiene a la eficiencia de los equipos empleados en la planta de tratamiento de agua ya que su rendimiento dependerá mucho el consumo necesario de energía eléctrica en general; asimismo, mantener los equipos correctamente calibrados resulta beneficioso para el consumo. Por otro lado, lo que provoca un consumo adicional de energía es mantener encendidas luminarias innecesarias en la mayoría de áreas. (Agrelo, 2014)

Las plantas de tratamiento de aguas consumen energía principalmente en función de cuatro parámetros, que son las que se describen en la **Figura 3**.

Figura 3

Dependencia del consumo energético



Nota. Se representa los parámetros principales de consumo de energía en plantas de tratamiento. Tomado de: (Ameneer, 2019)

2.7. Auditorías energéticas

2.7.1. Concepto

Una auditoría energética o estudio técnico no es más que una inspección, evaluación de la situación actual y análisis de factores técnicos que afectan de manera indirecta o directa en el consumo de las energías para identificar sectores donde se

podrían proponer soluciones de ahorro y eficiencia energética desde el punto de vista técnico y económico.

La auditoría eléctrica es esencial en cualquier industria o empresa que desee comprobar sus costos de energía y conocer el estado en que se encuentra operando, de esta forma se obtiene información fiable y segura que permite detectar aspectos que están perjudicando la eficiencia y el consumo de la electricidad. Por consiguiente, se parte desde la recolección de información actual, se aplica la medición de campo, se realiza un análisis poco exhaustivo; de esta manera se busca, se evalúa propuestas y finalmente se presenta a la entidad beneficiaria. (Monga, 2018)

Para efectuar auditorías energéticas se puede acudir a distintas normas expuestas por instituciones internacionales y nacionales expertas en el tema tales como: Institute of Electrical and Electronic Engineers – IEEE, Una Norma Española – UNE, International Organization for Standardization - ISO, Norma Chilena – NCh, Norma Ecuatoriana de Construcción – NEC, Plan Nacional de Eficiencia Energética – PLANEE, etc. Dichas normas son de gran utilidad práctica para estudios de eficiencia y ahorro energético, las cuales han venido actualizándose con el pasar del tiempo. (Aec, 2019).

2.7.2. Tipos de auditorías energéticas

Las auditorías energéticas poseen tres niveles los cuáles se diferencian por su alcance, que a continuación se describen cada uno.

2.7.2.1. Auditoría preliminar.

Este tipo de auditoría corresponde al nivel básico, en el que se efectúa un diagnóstico en forma visual de las instalaciones eléctricas, recopilando datos importantes y parámetros básicos, como también un análisis no muy exhaustivo del historial de facturación del servicio eléctrico y en el caso de requerir complementar el estudio se realizará posteriores mediciones en zonas requeridas, de esta manera se

aborda un análisis poco exhaustivo, identificación y evaluación de oportunidades en cuanto a la parte de eficiencia y ahorro energético.

Este tipo de auditoría energética está mayormente enfocada en estudios de eficiencia, ahorro energético y uso racional de la energía. Cabe mencionar que el presente proyecto de investigación está direccionado a un nivel mencionado anteriormente. (Ain, 2016)

2.7.2.2. Auditoría detallada.

Este tipo de auditoría contempla a un nivel detallado, en cuanto se parte con una amplia cantidad de información que concierne al sistema de diagnóstico, en la que se necesita información previa de diagramas eléctricos, planos, memorias técnicas, histórico de presupuesto, entre otros. Así mismo se analiza tareas ejecutadas de mantenimiento con sus datos importantes.

Para abordar este nivel de auditoría es necesario utilizar dispositivos inteligentes que permitan obtener parámetros eléctricos necesarios en tiempo real y de esta manera conocer el estado energético actual del punto de análisis, por lo que su costo para efectuar el estudio es considerado como medio. (Ovance, 2021).

2.7.2.3. Auditoría especial.

Este tipo de auditoría implica un nivel mucho más detallado, para lo cual es necesario disponer de equipos y dispositivos de medida de alta tecnología hasta el punto en que se pueda adquirir todos los datos de manera concreta de varios procesos a la vez, pero el costo implica a un más elevado por el mismo hecho de los dispositivos de medida de alta tecnología.

Este nivel aborda un análisis con todos los detalles de variables, parámetros y otros valores existentes, así mismo el registro e interpretación de mediciones con equipos especiales y costosos para obtener datos reales de manera rápida, con personal especializado y certificado. (Ovance, 2021).

2.8. Objetivos de la auditoría energética preliminar

El desarrollo de una auditoría energética preliminar permite obtener algunos objetivos, principalmente:

- Obtener un conocimiento fiable de información técnica actual.
- Conocer el estado físico y funcional de los activos.
- Visualizar dónde y cómo se consume la energía para identificar factores que afecten la misma.
- Diagnosticar posibles oportunidades de ahorro energético en el sistema.
- Analizar técnica y económicamente las posibles oportunidades de ahorro energético.
- Con la implementación de las propuestas se logrará reducir los costos energéticos e impactos ambientales.
- Fomentar sobre el uso racional de la energía.

2.9. Puntos esenciales para la auditoría energética preliminar

Al momento de ejecutar la auditoría energética preliminar se contempla a un estudio por puntos; en las que a continuación se describen los puntos esenciales con los que se llevó a cabo la auditoría.

2.9.1. Recopilación de información actual

En este punto se recopila la información técnica útil para realizar el inventario de activos actuales con su codificación, estado físico - funcional y las especificaciones técnicas y el levantamiento de carga para identificar las zonas donde se requiere un análisis sencillo.

2.9.2. Análisis de la factura eléctrica.

En este punto se analiza los valores de las variables eléctricas que emite la empresa que suministra la energía a la industria, para representarlos mediante

diagramas y observar el comportamiento que posee dichas variables respecto al tiempo. El periodo considerado para el análisis es un año continuo de facturación.

2.9.3. Diagnóstico de las instalaciones.

En este punto se diagnostica las instalaciones pertinentes de forma visual. Para complementar el diagnóstico se puede efectuar mediciones de datos en campo, todo aquello en zonas que requieran atención para un mejor análisis.

2.9.4. Análisis en las dependencias.

En este punto se analiza la información obtenida de manera general o independiente, para encontrar las posibles prácticas, factores o problemáticas que afectan el consumo de energía.

2.9.5. Propuesta de medidas correctivas.

En este punto se proponer todas aquellas posibles mejoras para reducir el consumo energético ya sea sustituyendo equipos por tecnologías más eficientes, optimizar las condiciones de iluminación, entre otras. Además, evaluar la viabilidad técnica - económica. (Segui, 2014).

2.10. Levantamiento de información técnica

Al realizar una auditoría energética es necesario empezar con un levantamiento de información en la que se recolecta datos técnicos, se determina el estado en que se encuentra en la actualidad las instalaciones, procesos y los activos eléctricos, para ello se identifica las diversas áreas de la empresa y se inspecciona cada una de ellas; de esta manera se tiene una mejor percepción de la situación actual y proceder con el estudio energético. (Ricardo, 2014).

El levantamiento de información se logra mediante la observación directa de las instalaciones en la que se obtiene la gran mayoría de información necesaria y al igual

mediante una entrevista del personal se puede complementar información extra que no se encuentra de manera directa en las instalaciones.

2.10.1. Información precedente para la auditoría energética

De acuerdo a (Sánchez, 2009), es inevitable examinar la información que estén favorables sobre lo que concierne a la empresa, específicamente del sistema eléctrico; para la realización de un estudio idóneo y coordinable con el personal de la empresa. Para ello la información precedente son: planos de la empresa, inventario de luminarias, de equipamiento instalado, Historial de facturación, diagramas unifilares.

2.10.2. Toma de datos

Mediante la inspección en el lugar de estudio, los datos técnicos e información que son de perfecta ayuda son: descripción de las instalaciones y procesos, datos técnicos de las placas y de fábrica de activos, información sobre anomalías detectadas durante la vida de funcionamiento de las instalaciones, descripción del circuito eléctrico, estado aparente los activos, detalles de operación; para generar el inventario de activos actuales y el levantamiento de cargas. (Sánchez, 2009).

2.11. Equipos necesarios para la auditoría energética

Especialmente para el caso particular de una auditoría energética se puede utilizar básicamente tres equipos fundamentales. (Rivas, 2016)

2.11.1. Analizador de redes

Es un dispositivo de medida que directamente calcula los diferentes parámetros eléctricos de una red. La mayoría de estos dispositivos incluyen nuevas tecnologías para el registro de los datos medidos y configuraciones de acuerdo a la necesidad que se requiera. Permite obtener: voltaje, corriente, potencia, energía, frecuencia, factor de potencia, armónicos, distorsión armónica. (José, 2017).

2.11.2. Luxómetro

Es un dispositivo que permite medir los niveles de iluminación (en lux) respecto a una superficie en particular, de una manera instantánea; poseen escalas para adecuarse a las luminosidades débiles o fuertes de una zona de estudio. Teniendo presente que la iluminancia es la cantidad de luz (lux) de llegada en un espacio cuadrático (m^2); en la que 1 lux es equivalente a 1 lumen por m^2 . (José, 2017).

2.11.3. Multímetro

Instrumento de medición denominado tester para obtener valores de magnitudes eléctricas de un circuito en determinados rangos. Los multímetros actuales incorporan una pinza amperimétrica para la medida de la corriente impidiendo interrumpir el circuito para su medición. Algunas funciones estándares de todo multímetro son: voltaje AC-DC, corriente AC-DC, prueba de continuidad, resistencia. (Campos, 2017)

2.12. Normativa ISO 50001 & NCh ISO 50006

Al desarrollar una auditoría energética posibilita a una industria a aplicar la norma internacional ISO 50001 para implementar un sistema de gestión energético, siendo el punto de partida; la norma chilena ISO 50006 orienta en forma práctica para el cumplimiento de los requisitos de la ISO 50001. En general estas normas apuntan a mejorar la eficiencia, el uso de la energía y el consumo eléctrico; ya que es importante dentro del desarrollo de las industrias. (ISO-50001, 2018).

De acuerdo a la norma chilena ISO 50006 para conocer el estado energético de equipamientos e instalaciones de una empresa se debe llevar a cabo una revisión energética mediante actividades típicas, convirtiéndose en una metodología práctica como guía para desarrollo de estudios energéticos. (ISO-50006, 2014).

Actualmente, algunas organizaciones europeas, han sido certificadas por un sistema de gestión energético (SGE), por el hecho de trabajar bajo lineamientos de

eficiencia, logrando conseguir beneficios procedentes de la implantación de la normativa desde el punto de vista medio ambiental, económico y operativo. (Torres, 2013).

2.12.1. Sistema de gestión energética (SGE)

Un Sistema de gestión energética (SGE) establece políticas energéticas, gestiona el desempeño energético de sus actividades que involucren el uso de energía y alcanza oportunidades de eficiencia en aquellas actividades de la industria. (Torres, 2013). La aplicación del sistema de gestión energética, se basa en cuatro etapas que se encuentran enfocadas en el ciclo PHVA (Deming), en la **Figura 4** a continuación se detallan cada una de ellas:

Figura 4

Diagrama de Deming - Ciclo PHVA



Nota. Se representa la metodología para un SGE. Tomado de: (ISO-50001, 2018)

2.13. El ahorro y la eficiencia energética

2.13.1. Ahorro energético

Las empresas en los próximos años deben asumir el desafío de un ahorro de energía y mejora de la eficiencia energética ya que es un factor muy importante para que continúen o no en el mercado y primordial para aprovechar de los recursos energéticos; por tal motivo para lograr una competitividad ante los demás se debe

ejecutar estrategias o técnicas necesarias para lograr visualizar a futuro un ahorro en el consumo de energía, lo que conlleva a la reducción de costos de la energía eléctrica.

Para alcanzar el ahorro energético en la planta se parte desde utilizar la energía eléctrica de mejor manera mediante estrategias o con el cambio de prácticas y con la aplicación de nuevas tecnologías poco costosas, pero de mejor eficiencia; en otras palabras, aprovechando una cantidad menor o necesaria de energía eléctrica para generar un mismo servicio final. Por consiguiente, al fomentar las estrategias de ahorro y eficiencia energética implica a futuro la disminución de los impactos en el medio ambiente. (García, 2019).

2.13.2. Eficiencia energética

Desde el punto de vista energético toda empresa ya sea de tamaño grande, mediano o micro debe evaluar sus instalaciones, para identificar donde se pueda mejorar la eficiencia, ya que de esta manera se observa un ahorro del valor energético en la facturación. Para obtener eficiencia se debe suprimir acciones no necesarias en procesos o implementar tecnologías que realicen tareas con el mínimo consumo de energía posible cumpliendo el mismo servicio; sin que obligatoriamente realice una inversión tecnológica sumamente elevada, formando parte de la cultura empresarial eficiente y sobre todo conservando el medio ambiente. (Sevilleja, 2011).

Como información general de acuerdo al Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia – CEER, manifiestan que gran parte de empresas de nuestro país no poseen medidas de eficiencia energética, como tampoco disponen de registros de consumos energéticos generando un riesgo en el costo de energía respecto a la producción o servicio final, además el personal tanto de mantenimiento como de operación no presentan la capacidad adecuada sobre la eficiencia por lo que se genera acciones operativas inefectivas surgiendo problemáticas en el consumo.

Con el propósito de cumplir las expectativas de obtener un ahorro y eficiencia energética se tiene como alternativas más destacables: Sustitución a tecnología eficiente, implementación de dispositivos de control, aprovechamiento de energías renovables, cambio de hábitos en el uso de energía, implementación de compensadores reactivos. Al efectuar planes de mejoras de bajo costo se tendrá un ahorro aproximado del 5-15% de la energía consumida, esto según el Centro Ecuatoriano de Eficiencia de Recursos y Producción más Limpia (CEER, 2014). La utilización de motores de alta eficiencia va de la mano de un ahorro de energía significativo ya que trabaja con la menor cantidad de pérdidas porque incorpora materiales de alta calidad y fabricación de mayor precisión; los motores se clasifican en eficiencia estándar-IE1, alta eficiencia-IE2, eficiencia premium-IE3 y eficiencia super premium-IE4 de acuerdo a la norma IEC. (Quispe, 2015)

2.13.3. Beneficios del ahorro de energía y eficiencia energética

De acuerdo a (Altmann, 2020), explica que en el caso de plantas industriales que tengan procesos y que se efectúen planes de mejoras de ahorro, eficiencia y utilización racional de la energía, se obtiene beneficios como:

- Mejoramiento de la competitividad de la empresa.
- Aumento de la rentabilidad de la empresa.
- Mejora la disponibilidad de la empresa por lo que se reducen los tiempos de parada inoportunos.
- Incremento de la vida útil de los activos de la empresa, ya que trabajan en condiciones apropiadas.
- Reducción de la contaminación ambiental por lo que se minimiza las emisiones de gases y gasto excesivo de energía.
- Se dispone información explícita para gestionar un defecto en tiempo a futuro.

- Aporta beneficios en el personal de mantenimiento ya que optimiza la gestión en sus tareas o planes.

2.14. Calidad de energía eléctrica

Según (Iecor, 2006) se utiliza el término de calidad de energía eléctrica cuando la energía que es suministrada a los activos se encuentra dentro de los límites óptimos, mismos establecidos en normativas; de esta manera el desempeño de cada activo es el adecuado. La pésima calidad de la energía eléctrica tiende a causar problemas en mayor o menor grado dentro de las instalaciones, donde las pérdidas económicas que se crean a partir de esto llegan a ser considerables.

(Energos, 2020), hace referencia que para el sector residencial la calidad de energía eléctrica está referida más a continuidad de servicio, en cambio para el sector industrial el requerimiento no solamente es la continuidad de servicio, sino que también la calidad de las señales tanto de voltaje como de corriente. En base a lo expuesto se especifica cinco variables: frecuencia, forma de la señal, desbalance de fases, continuidad y amplitud. Para conocer el comportamiento de magnitudes eléctricas (voltaje, frecuencia, etc.); se utiliza el analizador de redes para identificar si se encuentran dentro de los límites aceptables por las normativas. (Campos, 2017).

2.15. Variables eléctricas

De acuerdo a (Parrales & Flores, 2015), las variables eléctricas consideradas como fundamentales para un análisis energético son los que se detallan a continuación:

2.15.1. Voltaje

Su unidad de medida es en V (Voltios), es una magnitud con valores alternos y no constante en el tiempo. El voltaje alterno es el más frecuente que se utiliza por el sector industrial, razón por la que se transporta y se genera con facilidad.

2.15.1.1. Normativa para el voltaje.

Los rangos de voltaje que son admitidos según la (Regulación ARCERNNR No. 017/2020) respecto al valor del voltaje nominal son los de la siguiente **Tabla 1** y cumple cuando el 95% o más de los valores medidos, en el período de evaluación de al menos siete (7) días continuos, se encuentran dentro del rango admisible.

Tabla 1

Límites del nivel de voltaje

Nivel de Voltaje	Rango admisible
Alto Voltaje	±5.0 %
Medio Voltaje	±6.0 %
Bajo Voltaje	±8.0 %

Nota. Se representa los límites admisibles según el nivel de voltaje. Tomado de: (Regulación ARCERNNR No. 017/2020)

La variación de voltaje según la (Regulación ARCERNNR No. 017/2020) se lo obtiene a partir de la ecuación (1):

$$\Delta V_k = \frac{V_k - V_n}{V_n} * 100 \quad (1)$$

Donde:

ΔV_k : Variación del voltaje (punto de medición el intervalo k de 10 min)

V_k : Voltaje rms medido en cada intervalo de medición [V]

V_n : Voltaje nominal en el punto de medición [V]

El desequilibrio de voltaje conocida como phase voltage unbalance de acuerdo a la (IEEE 1159) recomienda al igual que la norma (IEC 61000-2-2) mantener un índice de desequilibrio no mayor al 2% en sistemas trifásicos de bajo voltaje y se lo obtiene a partir de la ecuación (2):

$$PVU = \frac{\text{Desviación máxima del promedio de } [V_1, V_2, V_3]}{\text{Promedio de } [V_1, V_2, V_3]} * 100 \quad (2)$$

Donde:

PVU: Desequilibrio del voltaje de fases

V₁, V₂, V₃: Voltajes del sistema

2.15.2. Frecuencia

Su unidad de medida es Hz (Ciclos por segundos o Hertz), la frecuencia en sistema de corriente alterna representa la velocidad a la que la corriente cambia su sentido durante un segundo.

2.15.2.1. Normativa para la frecuencia eléctrica.

Según la (Regulación ARCERNR No. 017/2020), la frecuencia de corriente alterna que se maneja en Ecuador es de 60 Hz. La variación admisible de la frecuencia es de $\pm 0,2$ del valor establecido en el país.

2.15.3. Factor de potencia

Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente, para lo cual se la define como la relación en la que muestra la cantidad de potencia que se transforma en trabajo. Cabe mencionar que el factor de potencia es una variable importante para el sector industrial ya que es penalizada al encontrarse fuera del límite establecido. El factor de potencia es expresado por la ecuación (3) y (4):

$$fp = \cos\theta = \frac{P}{S} \quad (3)$$

$$fp = \frac{P}{\sqrt{P^2+Q^2}} \quad (4)$$

Donde:

fp: $\cos\theta$: factor de potencia

P: Potencia activa [W]

S: Potencia aparente [VA]

Q: Potencia reactiva [VAR]

2.15.3.1. Normativa para factor de potencia.

De acuerdo a la (Regulación ARCERNNR No. 017/2020), establece que si el 5% o más del periodo de evaluación el valor de factor de potencia es menor a límite el usuario está incumpliendo. El límite del factor de potencia es de 0.92.

2.15.4. Distorsión armónica

Corresponde a una forma de onda distorsionada (no sinusoidal). Existen los armónicos impares y pares: en las instalaciones industriales – comerciales aparecen los impares mientras que al existir una asimetría en la señal por causa de una componente continua aparecen los pares. (Lombarte, 2013)

La distorsión armónica total (THD) es una medida para representar la distorsión de la señal eléctrica en porcentaje y corresponde a la relación de los armónicos respecto a la fundamental o de todos los armónicos. El THD(I) de corriente es creado por la carga, THD(V) de voltaje es creado por la fuente como consecuencia de una corriente distorsionada. (Tèllez, 2015)

Distorsión armónica total en corriente THD(I) y voltaje THD(V), respecto a la componente fundamental se puntualiza mediante la norma (IEC 61000-2-2) en la que se expresa mediante la ecuación (5) y (6) respectivamente:

$$THD I(\%) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_N^2}}{I_1} * 100 \quad (5)$$

$$THD V (\%) = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + \dots + V_N^2}}{V_1} * 100 \quad (6)$$

Donde:

I_x : amplitud de corriente armónica de orden 1,2,3 n

I_1 : amplitud de corriente armónica fundamental

I_T : amplitud total de corriente armónica

Distorsión armónica total en corriente THD (I) y voltaje THD(V), respecto a la señal total se puntualiza en el artículo (On the Definition of Total Harmonic Distortion), en la que se expresa mediante la ecuación (7) y (8) respectivamente:

$$THD I(\%) = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + \dots + I_N^2}}{\sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_N^2}} * 100 \quad (8)$$

$$THD V(\%) = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + \dots + V_N^2}}{V_T} * 100 \quad (9)$$

Donde:

V_x : amplitud de voltaje armónico de orden 1,2,3 ... n

V_1 : amplitud de corriente armónica fundamental

V_T : amplitud total de voltaje armónico

Como sustentación general (Martínez & Gómez, 2017), obtiene como resultado que la distorsión armónica y el factor de potencia tienen un comportamiento opuesto ya que al compensar el factor de potencia el índice de distorsión incrementa. Esto debido a que el factor de potencia total es el producto del factor de potencia de desplazamiento y del factor de distorsión, en la que un aumento de la potencia aparente da como resultado un factor de potencia de distorsión bajo y entre más se trate de enmendar dicho factor de potencia mayor índice de distorsión armónica se obtiene, lo que en otras palabras es una contaminación eléctrica.

Por otro lado, en el proyecto de (Ramírez, 2019) mediante un análisis para mejorar el factor de potencia determinaron la instalación de bancos capacitores para compensar, pero se originó el incremento de las distorsiones y como resultado fue necesario implementar filtros pasivos.

2.15.4.1. Normativa para armónicos.

Según la norma (IEC 61000-2-2), la THD de voltaje y corriente presenta tres categorías de porcentajes para valorar la importancia que tiene en el sistema eléctrico. La **Tabla 2** y **Tabla 3**, permiten valorar las imperfecciones de la onda de la corriente y de voltaje respectivamente de acuerdo a los valores especificados y delimitados:

Tabla 2

La distorsión armónica total de corriente

Valor THD (I)	Comentario
$THD (I) < 10\%$	<i>Armónicos débiles: poco riesgo de sufrir fallos de funcionamiento.</i>
$10\% < THD (I) < 50\%$	<i>Armónicos significativos: sobredimensionamiento de las fuentes, amenaza de calentamiento.</i>
$50\% < THD (I)$	<i>Armónicos muy importantes: Amenaza de padecer fallos de funcionamiento, degradación y calentamiento perjudicial a menos que la instalación se haya calculado teniendo en cuenta esto.</i>

Nota. La tabla muestra la valoración del THD (I). Tomado de: (IEC 61000-2-2)

Tabla 3

La distorsión armónica total de voltaje

Valor THD (V)	Comentario
$THD (V) < 5\%$	<i>Deformación insignificante de la onda de voltaje: poco riesgo de sufrir fallos de funcionamiento.</i>
$5\% < THD (V) < 8\%$	<i>Deformación significativa de la onda de voltaje: amenaza de calentamiento.</i>
$8\% < THD (V)$	<i>Deformación significativa de la onda de voltaje: exposición elevada de sufrir fallos de funcionamiento a menos que la instalación ya se haya calculado teniendo en cuenta esto.</i>

Nota. La tabla muestra la valoración del THD (V). Tomado de: (IEC 61000-2-2)

2.15.5. Potencia activa

La unidad de medida es en W (Watts), es considerada potencia real o efectiva, aprovecha la energía para realizar trabajo. Es determinada a partir de la ecuación (9):

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos\theta \quad (9)$$

Donde:

P: Potencia activa [W]

V: Voltaje de línea [V]

I: Corriente de la línea [A]

θ : Ángulo de desfase *V* y *I* [°]

2.15.6. Potencia reactiva

La unidad de medida es en VAR (Voltamperios reactivos), es considerada potencia que no origina trabajo útil, se produce en los sistemas eléctricos que presentan elementos reactivos, como los condensadores y las bobinas. Es determinada a partir de la ecuación (10):

$$Q = \sqrt{3} * V * I * \sen\theta \quad (10)$$

Donde:

Q: Potencia reactiva [VAR]

V: Voltaje de línea [V]

I: Corriente de la línea [A]

θ : Ángulo de desfase *V* y *I* [°]

2.15.7. Potencia aparente

La unidad de medida es en VA (Voltamperios), se la define como potencia total, se considera potencia útil cuando el factor de potencia sea uno, es el resultado de la suma vectorial de la potencia activa y la potencia reactiva. Es determinada a partir de la ecuación (11) y (12):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (11)$$

$$S = \sqrt{3} * V * I \quad (12)$$

Donde:

S: Potencia aparente [VA]

V: Voltaje de línea [V]

I: Corriente de la línea [A]

2.15.8. Corriente eléctrica

Su unidad de medida es en A (Amperios), se trata de una onda sinusoidal, en la que posee magnitudes o corrientes cuya dirección y sentido varían cíclicamente, se la determina a partir de la ecuación (13):

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} * V * \cos\theta} \quad (13)$$

Donde:

I: Corriente de la línea [A]

V: Voltaje de línea [V]

P: Potencia activa [W]

θ : Ángulo de desfase *V* y *I* [°]

El desbalance de carga se puede obtener mediante la corriente de las líneas de acuerdo a la (IEEE 1159) en la que recomienda tener un desbalance de carga en bajo voltaje del 5% al 20% en fases y se lo puede conseguir con la ecuación (14):

$$\% \text{ desbalance} = \frac{\text{carga mayor} - \text{carga menor}}{\text{carga mayor}} \times 100 \quad (14)$$

Donde:

$\%$: Desbalance de carga [%]

carga mayor y menor: corrientes de las líneas [A]

2.15.9. Sistema de iluminación

La iluminación es la más antigua de las aplicaciones de la electricidad, actualmente se considera dificultoso vivir sin luz eléctrica. La luz eléctrica es considerada como limpia, segura y cómoda que los otros tipos de luz, y que hoy en día se busca obtener la mejor iluminación en interiores o exterior con el mínimo consumo de energía eléctrica. (Montesdeoca, 2013)

El sector industrial no deja de evolucionar y la principal prioridad es que la productividad sea mayor y más eficiente, es por esto que el sistema de iluminación se considera como una contribución importante; para evitar accidentes, signos de fatiga y deslumbramiento en los operadores con la finalidad de facilitar las tareas visuales. Un sistema de iluminación adecuado es un agente de seguridad, rendimiento, productividad y confort visual en los lugares de trabajo. (Álvarez, 2015)

2.15.10. Magnitudes y unidades

Cuando se habla de iluminación se cuenta con las siguientes magnitudes de medida como se muestra en la **Tabla 4**, que son expresadas de manera cuantitativa y permiten ser evaluada o comparadas entre sí. (Montesdeoca, 2013).

Tabla 4

Magnitudes y unidades para sistemas de iluminación

Magnitud	Definición	Símbolo	Unidad
<i>Flujo luminoso</i>	<i>Potencia total luminosa emitida por una fuente de luz.</i>	<i>F</i>	<i>Lumen (lm)</i>
<i>Nivel de iluminación</i>	<i>Flujo luminoso que incurre en una superficie.</i>	<i>E</i>	<i>Lux (lx)</i>
<i>Intensidad luminosa</i>	<i>Flujo luminoso en una dirección de ángulo sólido</i>	<i>I</i>	<i>Candela (cd)</i>

Nota. En la tabla se muestra las magnitudes y unidades frecuentemente utilizadas en sistemas de iluminación. Tomado de: (Alemán, 2014)

2.15.11. Clasificación de fuentes de iluminación

De acuerdo a (Montesdeoca, 2013), se clasifican en tres categorías.

2.15.11.1. Artificial.

Se refiere a la generación de la luz de manera controlada y son construidas por el ser humano a partir de otra fuente de energía, como, por ejemplo: lámparas, focos, velas, ampollitas, etc.

2.15.11.2. Natural.

Se refiere a la generación de la luz que no puede ser modificada o adaptarse a cambios, ya que se produce por organismos que generan luz propia, como, por ejemplo: luna, sol, fuego, relámpagos, etc.

2.15.11.3. Mixta.

Se refiere a la combinación de la luz natural y artificial, que se produce en algunas situaciones propias del entorno.

2.15.12. Clasificación de la iluminación

Según (Vázquez, 2005), se catalogan de acuerdo a la repartición del flujo luminoso por arriba o debajo de la horizontal, entre estas poseemos las siguientes:

2.15.12.1. Directa.

El flujo luminoso está conducente de manera espontánea a la superficie requerida de iluminación.

2.15.12.2. Semi-directa.

El flujo luminoso se dirige a la superficie a iluminar, pero una pequeña parte se dirige a la superficie luego de reflejar.

2.15.12.3. Indirecta.

El flujo luminoso se proyecta en un techo o paredes, el cual reflejan al flujo luminoso a la superficie a iluminar.

2.15.12.4. Semi-indirecta.

El flujo luminoso incurre en paredes o techos que reflejan y en otras zonas que traspasan el flujo luminoso en varias direcciones a la superficie.

2.15.13. Tipos de alumbramiento

El alumbramiento se describe como la agrupación de la luz para ejecutar algún tipo de actividad en una zona determina, tal como lo menciona (Vázquez, 2005).

2.15.13.1. General.

Provee iluminación uniformemente en la zona a iluminar. Las lámparas distribuidas de forma rectangular en el techo.

2.15.13.2. Localizado.

Es un complemento del general, en la que se pretende iluminación también en zonas específicas donde se realiza tareas.

2.15.13.3. Individual.

Esto se da donde es necesario un nivel de iluminación alto para tareas de precisión, habitualmente en trabajados de dibujo.

2.15.14. Niveles de luminosidad

De acuerdo a la (Nec, 2014) y (Iess, 2003), todo lugar de trabajo donde se aplique tareas visuales debe estar fijado de suficiente iluminación para que el personal logre ejecutar sus labores de manera apropiada y cómodo visualmente; para ello es necesario examinar el sitio para alcanzar un entorno de trabajo lo más apropiado y tomando en consideración una correcta utilización. En la **Tabla 5** se describen los niveles mínimos de iluminación en luxes de acuerdo al lugar de trabajo.

Tabla 5*Niveles mínimos de iluminación*

Nivel mín (lux)	Actividad / Lugar
20	<i>Pasillos, corredores, patios y lugares de paso.</i>
30	<i>Áreas de parqueaderos cubiertos,</i>
50	<i>Actividades en las que la distinción no sea esencial como manejo de materias, desechos de mercancías, escaleras, servicios higiénicos.</i>
100	<i>Cuando sea preciso una distinción de detalles rápida como: construcción de productos de acero y de hierro, sala de descanso, industria manufacturera y textil, salas de máquinas y calderos, ascensores.</i>
200	<i>Si es esencial una distinción moderada de detalles, tales como: talleres de metal mecánica, costura, industria de conserva, imprentas, cuartos de compresores, recepción y despacho.</i>
300	<i>Siempre que sea sustancial la distinción de detalles, tales como: encargos de montaje, laboratorios, pintura a pistola, tipografía, contabilidad, taquigrafía, aulas, oficinas y áreas de trabajo.</i>
500	<i>Actividades esenciales con una delicada distinción sobre los detalles, contraste bajo, tales como: corrección de pruebas, fresado, torneado, dibujo.</i>
750	<i>Actividades en que sea indispensable una alta precisión, tales como: acabados de superficies, áreas de control de calidad, zonas de pintura.</i>
1000	<i>Actividades que exijan una distinción extremadamente fina o de gran exactitud, tales como: trabajos con colores o artísticos, inspección delicada, montaje de precisión electrónico, relojería.</i>

Nota. Se presenta los niveles mínimos de iluminación en luxes de acuerdo al lugar de trabajo. Tomado de: (Iess, 2003) y (Nec, 2014)

Los niveles de iluminación mostrados en la tabla, son valores considerados en áreas de trabajo visuales más representativas, para aquellas áreas no estimadas se debe adoptarle el valor con aquella que más semejanza presente de acuerdo a la actividad que se efectúe en el área de trabajo.

Para conocer el nivel de iluminación en un área es necesario identificar y conocer los puntos de medición distribuidos uniformemente, para ello se utiliza la ecuación (15) y la **Tabla 6**, esta metodología bajo la explicación de (Riva, 2012) que está muy relacionada con la norma mexicana (NOM 025, 2008).

$$k = \frac{x*y}{h(x+y)} \quad (15)$$

Donde:

k: Índice de área

x, y: Dimensiones del área a evaluar (m)

h: altura de la luminaria respecto al plano de trabajo (m)

Tabla 6

Número mínimo de puntos a medir

<i>k</i>	<i>Nº min</i>
<1	9
1< <i>k</i> <2	16
2< <i>k</i> <3	25
>3	36

Nota. La tabla presenta la relación del índice de área (*k*) para el número mínimo de puntos a medir. Tomado de: (NOM 25, 2008)

Una vez que se tenga las mediciones de acuerdo al número de puntos calculados se obtiene el nivel de iluminación promedio, siendo esta la relación de sumatoria de las mediciones y el número de mediciones, dicho valor es comparado con el nivel de iluminación mínimo mencionado en el apartado **2.15.14** de acuerdo al lugar

de trabajo. Además, se puede calcular la dosis de iluminación a través de la ecuación (16) y se lo valora mediante la **Tabla 7**.

$$ID = \frac{Em}{Er} \quad (16)$$

Donde:

Em. = Nivel de iluminación medida (Lux)

Er. = Valor mínimo recomendado (Lux)

DI = Dosis de iluminación

Tabla 7

Rango de valoración de la iluminación

Bajo	Óptimo	Aceptable	Deslumbrante
$0 > ID > 0,8$	$0,8 > ID < 1,5$	$1,5 > ID > 2,0$	$ID > 2$

Nota. La tabla muestra los rangos para valorar la iluminación en un área evaluada.

Tomado de: (NOM 25, 2008)

2.15.15. Colores de iluminación

El color de la iluminación es en referencia a la temperatura, ya que seleccionar el color más adecuado para un sitio aporta de gran medida a la seguridad, eficiencia y bienestar general de los usuarios. Estos colores varían desde un blanco cálido hasta blanco frío, en la **Tabla 8**, se muestra al grupo que pertenecen. (Pósligua, 2015)

Tabla 8

Clase de color para sistemas iluminación

Color	Temperatura °K	Aplicaciones	Efectos
Cálida	< 3.300	Locales residenciales	Amigable
		Restaurante	Personal
Neutro	3.300 a 5.300	Recepciones	Amigable
		Lugares de trabajo	Atrayente
Frío	> 5.300	Trabajo industrial	Fresca

Color	Temperatura °K	Aplicaciones	Efectos
		<i>Oficinas</i>	<i>Eficiente</i>

Nota. La tabla presenta las clases de colores para iluminación conjuntamente con sus efectos y zonas recomendadas para su aplicación. Tomado de: (Pósligua, 2015)

2.15.16. Componentes de una luminaria

Una luminaria consta de los siguientes componentes. (Vázquez, 2005).

2.15.16.1. Carcasa.

Componente físico con materiales resistentes que brinda el soporte y concreta el cuerpo de la luminaria.

2.15.16.2. Reflector.

Superficie que se encuentra en la parte interior de la luminaria, misma que permite dirigir y ajustar la forma del flujo luminoso.

2.15.16.3. Difusor.

Componente de recubrimiento de la luminaria en la trayectoria de la radiación luminosa.

2.15.17. Tipos de lámparas

Según (Acnur, 2017), las lámparas convierten la energía eléctrica en luz visible y existe una variedad de lámparas con diferentes especificaciones.

2.15.17.1. Lámparas incandescentes.

Se las considera como tradicionales, la luz es provocada por un filamento metálico compuesto por tungsteno en el interior de un bulbo. Las lámparas incandescentes generan altas temperaturas, por ende, el filamento en el transcurso del funcionamiento se desgasta hasta finalmente provocarse el corte, por lo que su vida útil es corta. Por otro lado, estas lámparas consumen un significativo porcentaje de energía por la producción del calor para la generación de luz. (Acnur, 2017)

2.15.17.2. Lámparas ahorradoras.

Son denominadas con lámparas compactas LFC, en la que aprovecha la tecnología de los tubos fluorescentes, pero en menos tamaño, con una cantidad de mercurio que es un peligro latente al romperse. Las lámparas ahorradoras como dato general el calor que emite es menor al 80% del calor emitido por los focos tradicionales, por lo que se reduce el consumo, al igual este tipo de lámparas tiene una duración de vida larga, pero la desventaja es que el valor en precio es más elevado que las otras tecnologías. (García, 2011)

2.15.17.3. Lámparas Fluorescentes.

Este tipo de lámparas es la más utilizada en todos los sectores que requieren una fuente de luz en espacios de interior, prácticamente en la mayoría de ámbitos. Las lámparas fluorescentes están formadas por un tubo de vidrio y contienen un gas en su interior que al recibir una carga eléctrica que proporciona dos electrodos genera la luz; son consideradas una mejor alternativa referente a las bombillas incandescentes tradicionales, razón por la que genera poco calor, aprovecha de mejor manera la energía, su vida útil es un poco más alargada que los incandescentes. (Supra, 2018)

2.15.17.4. Lámpara HID.

Estas lámparas de igual manera son conocidas como tradicionales, son utilizadas por el sector industrial principalmente la iluminación de exteriores o patios. Las lámparas HID o descarga de alta intensidad generan luz por un procedimiento de canalización de la electricidad a través de una ampolla tubular que sujeta gas y sales de metal que al tomar carga liberan plasma provocando el brillo intenso; además este tipo de luminaria ofrece durabilidad, resistencia y de un consumo medio de energía. (Supra, 2018)

2.15.17.5. Lámpara tipo LED.

Una de las lámparas muy conocidas hoy en día es la que utiliza tecnología Light Emitting Diode LED. Se puede aplicar en cualquier lugar, campo y sector; una de las acciones o metas para adquirir ahorro es la implementación de tecnología tipo LED. Son dispositivos semiconductores que al pasar electrones por el diodo esta se convierte en luz. Liberan una mínima cantidad de calor, consumen menor energía posible, su eficiencia energética es enorme, gran durabilidad y su potencia lumínica es mayor teniendo una luz más distribuida y no concentrada en un solo punto, sustituye de forma directa cualquier tipo de lámpara ya sea incandescente, fluorescente, ahorrador, HID, etc. (Supra, 2018)

De acuerdo a los tipos de lámparas presentando anteriormente, se visualiza en la **Tabla 9** las especificaciones o aspectos técnicos mediante un cuadro comparativo como se visualiza a continuación.

Tabla 9

Aspectos técnicos de los tipos de lámparas

Características	LED	Ahorrador	Incandescente	HID	Fluorescente
<i>Eficiencia</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alta</i>
<i>Consumo</i>	<i>Bajo</i>	<i>Medio</i>	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>	<i>Medio</i>
<i>Vida útil (h)</i>	<i>60000</i>	<i>10000</i>	<i>1000</i>	<i>7000</i>	<i>10000</i>
<i>Ciclos de on/off</i>	<i>Indefinid o</i>	<i>Acorta su vida útil</i>	<i>Acorta su vida útil</i>	<i>Acorta su vida útil</i>	<i>Acorta su vida útil</i>
<i>Tiempo de encendido</i>	<i>Instantá neo</i>	<i>Algún retardo</i>	<i>Instantáneo</i>	<i>Retardo</i>	<i>Algún retardo</i>
<i>Emisión de calor</i>	<i>Mínima</i>	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>	<i>Baja</i>
<i>Sensibilidad a la baja temperatura</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Alta</i>	<i>Baja</i>	<i>Medio</i>	<i>Alta</i>
<i>Sensibilidad a la humedad</i>	<i>Ninguna</i>	<i>Alta</i>	<i>Baja</i>	<i>Alta</i>	<i>Alta</i>

Características	LED	Ahorrador	Incandescente	HID	Fluorescente
<i>Contenido de mater. tóxicos</i>	<i>Ninguno</i>	<i>Mercurio</i>	<i>Ninguno</i>	<i>Gas/metal</i>	<i>Mercurio</i>
Precio	Alto	Medio	Bajo	Alto	Medio

Nota. Se muestra un cuadro comparativo de las especificaciones técnicas de cada tipo de lámpara. Fuente: (Jaega, 2021)

2.16. Herramienta computacional Excel

Hoy en día, el uso de herramientas computacionales es fundamental para proyectos de toda índole, logrando un gran éxito ya que la resolución de problemas cotidianos, especialmente en el mundo empresarial, convirtiéndose en una oportunidad para obtener resultados cada vez más rápidos y con mayor certeza, maximizando beneficios con ella. (Toledo A. , 2015)

Una de las herramientas más importantes, potente y flexibles es la denominada Excel, programa soportado por Microsoft, en la que se presenta como un software de hoja de cálculo con una variedad de funciones de campos diversos, tales como financiero, texto, matemática, lógica, estadística e ingeniería, que nos facilita representar datos y entender de manera adecuada - organizada, transmitiendo apropiadamente a otras personas el resultado o significado de la información a tratarse en algún caso en específico. Una de las altas características de esta herramienta es la personalización para representar la información; en el caso particular una de las funciones que se destaca son las tabulaciones y las tablas dinámicas, mismas que son muy útiles para un estudio facilitando un análisis profundo y detallado de la información.

2.16.1. Factores de evaluación económica

2.16.1.1. Valor actual neto (VAN).

Radica en comprobar la equivalencia en el tiempo 0 de los flujos de caja neto futuros que crea un proyecto y concertar esta equivalencia con la inversión. Si la

equivalencia es mayor que la inversión, entonces, es digno que el proyecto sea aceptado, como representa en la **Tabla 10**. El valor actual neto se obtiene mediante la siguiente ecuación (17). (Molina P. , 2014)

$$VAN = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{((1+k))^t} \quad (17)$$

Donde:

Q_t : Representa los flujos de caja en cada periodo t .

I_0 : es el valor de la inversión

n : es el número de periodos considerado

k : es la tasa de descuento o interés utilizada

Tabla 10

Valor actual neto

Valor	Argumento	Valoración
	<i>La inversión producirá</i>	
$VAN > 0$	<i>ganancias por encima de la rentabilidad exigida</i>	<i>El proyecto es rentable</i>
	<i>La inversión producirá</i>	
$VAN < 0$	<i>pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida</i>	<i>El proyecto no es rentable</i>
	<i>La inversión no producirá ni ganancia ni pérdida</i>	<i>El proyecto resulta indiferente</i>

Nota. La tabla representa la equivalencia del valor neto actual para valorar el proyecto.

Tomado de: (Molina P. , 2014)

2.16.1.2. Tasa Interna de Retorno (TIR).

Indicador de la rentabilidad promedio al año que provoca el capital invertido de un proyecto, a mayor TIR mayor rentabilidad, como se presenta en la **Tabla 11**. El TIR se expresa en la ecuación (18). (Molina P. , 2014).

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Q_t}{((1+TIR))^t} - I_0 = 0 \quad (18)$$

Donde:

Q_t : Representa los flujos de caja en cada periodo t .

I_0 : es el valor de la inversión

n : es el número de periodos considerado

TIR : es la tasa interna de retorno

Tabla 11

Toma de decisión respecto al valor del TIR

Tasa	Valoración	Razón
$TIR \geq k$	Se aceptará el proyecto.	El proyecto da una rentabilidad mayor que la rentabilidad mínima requerida
$TIR < k$	Se rechazará el proyecto.	El proyecto da una rentabilidad menor que la rentabilidad mínima requerida.

Nota. La tabla representa la equivalencia de la tasa interna de retorno para la toma de decisión. Tomado de: (Molina P. , 2014)

2.16.1.3. Relación Costo / Beneficio.

Corresponde a un factor para evaluar la viabilidad de un proyecto a invertir como se muestra en la **Tabla 12**, la relación se expresa de la siguiente manera, ver ecuación (19): (Achig, 2006)

$$\frac{B}{C} = \frac{\text{Valor Actual de Ingresos}}{\text{Valor Actual Gastos}} \quad (19)$$

Tabla 12

Toma de decisión respecto a la relación costo / beneficio

Relación	Evaluación
$B/C > 1$	<i>Rentable el proyecto</i>
$B/C = 1$	<i>Proyecto indiferente</i>
$B/C < 1$	<i>No rentable el proyecto</i>

Nota. La tabla representa los rangos de la relación costo / beneficio para la respectiva evaluación del proyecto. Tomado de: (Achig, 2006)

2.16.1.4. Período de recuperación de inversión.

Corresponde a la medida de conveniencia económica más elemental. Indica en cuánto tiempo se recuperará el total de la inversión a valor presente, se obtiene a partir de la ecuación (20) de la siguiente manera. (Molina P. , 2014)

$$PR_c = \frac{\text{Inversión de capital}}{\text{Ahorro anual neto}} \quad (20)$$

Donde:

PRC: Es el periodo de recuperación de la inversión

Q: Ingreso actual

k: Es la tasa de interés o descuento utilizado

Io: Corresponde a la inversión

2.17. Fundamentación legal

En la actualidad se tiene varios estándares y normativas con enfoque general en términos de eficiencia y ahorro energético, como también para la aplicación de auditorías energéticas, con el fin de perfeccionar la gestión de la energía en los diferentes sectores.

En cuanto a nivel nacional, las normas más destacables se tienen a: La Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC mención Eficiencia Energética 2018 y en

mención Instalaciones eléctricas 2018, en la que establece requerimientos de seguridad y calidad que se debe adoptar en cualquier edificación en el Ecuador. El Plan Nacional de Eficiencia Energética - PLANEE 2016 – 2035, puesto que menciona estrategias conjuntamente con sus objetivos y metas sobre eficiencia energética en el sector industrial, transporte, residencial, comercial, etc. La Regulación N° 017/2020 de la Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales no Renovables – ARCERNNR, ya que imparten las limitaciones o niveles de servicio de comercialización y distribución del recurso eléctrico.

Mientras que a nivel internacional las normas destacables se tienen a: La Organización Internacional de Estandarización – ISO 50001 2018, que implanta directrices para mejorar el desempeño energético y establece los requisitos que corresponden a ser utilizados para llevar a la práctica un SGE en una entidad. La Norma Española - UNE 16247-1 2014 mención requisitos generales y la 16247-3 2014 mención procesos, en la que define aspectos de las auditorías energéticas en tres escenarios distintos de aplicación como es edificaciones, procesos y transporte con el objeto de encontrar potenciales de ahorro energético. La norma Chilena – NCh ISO 50006 2014, recalca los principios generales y la orientación práctica para gestionar eficientemente el desempeño energético de instalaciones, equipos o procesos, con relación al uso de indicadores de desempeño y líneas base de energía. El Instituto de Ingenieros en Eléctrica y Electrónica - IEEE 519 2014 y la 1159, ya que muestran los indicadores o límites de algunas variables eléctricas que debe cumplir un diseño eléctrico para prevenir inconvenientes de calidad en el sistema eléctrico. La Comisión Electrotécnica Internacional – IEC 61000-3 2015, en la que trata limitaciones de variables que implican en un sistema eléctrico siendo factores que perturban la eficiencia y operatividad de un sistema.

2.18. Hipótesis

¿Al desarrollar la auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS, se generará alternativas de eficiencia energética que van a minimizar los costos de operación?

2.19. Variables de investigación

2.19.1. Variable independiente

Desarrollar la auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS.

2.19.2. Variable dependiente

Generar alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos de operación de la energía.

2.20. Operacionalización de las variables

En la **Tabla 13** y **Tabla 14**, se muestra claramente la operacionalización de la variable independiente y dependiente.

Tabla 13

Variable independiente: Desarrollar la auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS.

Variable	Concepto	Indicador	Dimensión	Técnica o instrumento
<i>Desarrollar la auditoría energética del sistema eléctrico de la Planta</i>	<i>Mediante la auditoría energética de la planta Bellavista EPMAPS,</i>	<i>Levantamiento de información técnica</i>	<i>a) Recolección de datos técnicos b) Visualización del estado físico y funcional de los activos</i>	<i>Observación Matrices digitales y físicas</i>

Variable	Concepto	Indicador	Dimensión	Técnica o instrumento
Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS.	se conocerá el estado actual del sistema eléctrico	Monitoreo de variables eléctricas	c) Elaboración del inventario de activos y levantamiento de carga d) Análisis de consumo de energía e) Medición y análisis de variables eléctricas que influyen en el estudio f) Medición y análisis de niveles de luminosidad en áreas relevantes de la planta	Analizador de redes Luxómetro Matrices digitales

Nota. La tabla representa la operacionalización de la variable independiente.

Tabla 14

Variable dependiente: Generar alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos de operación de la energía.

Variable	Concepto	Indicador	Dimensión	Técnica o instrumento
Generar alternativas de eficiencia energética que minimicen los costos	Obtener principales alternativas que permitan utilizar de mejor manera la energía, lo que disminuirá	Propuesta de las alternativas de mejoras en zonas críticas Evaluación financiera de las propuestas de	a) Determinación de las posibles alternativas de mejora b) Análisis financiero para la implementación	Documento digital Excel Documento digital

Variable	Concepto	Indicador	Dimensión	Técnica o instrumento
de operación de la energía.	el consumo y aumentará la rentabilidad.	mejoras en las zonas críticas	de las alternativas de mejora	

Nota. La tabla representa la operacionalización de la variable dependiente.

Capítulo III

3. Metodología

3.1. Antecedentes de la investigación

Las auditorías energéticas (AE) son el medio óptimo para que cualquier tipo de industria o empresa identifique sus oportunidades de ahorro y de eficiencia energética permitiendo así llegar a ser más rentable y sostenibles en un futuro. Como se manifiesta en el (Real Decreto 56, 2016), una AE se puede especificar como un proceso ordenado destinado a conseguir conocimientos sobre el uso de la energía y distribución de consumos existente en una organización, de servicio privado o público, así como para identificar las oportunidades de ahorro y eficiencia energética.

El estudio realizado por (Kaddari M. & Hajjaji A., 2018), está compuesto de una auditoría energética preliminar donde se desarrolla una valoración global del consumo energético de la estación de bombeo y se analiza las facturas energéticas para tener idea de cuánto consume dicha estación. Los datos más relevantes en esta primera parte son los consumos y cantidades de producción de los últimos años, recolección de planos y fichas técnicas de los equipos. La segunda parte es una auditoría energética profunda donde se basa en tres criterios los cuáles son: técnico, económico y ecológico; en la que se identifica los equipos que más energía consumen siendo las motobombas las que representan el 80% del consumo de energía total utilizada por la estación de bombeo. En la que la operación del sistema de bombeo de agua de mar origina el consumo excesivo ya que existe el arranque o parada injustificado de las motobombas generando costos innecesarios a futuro y consecuencia de esto la reducción de vida útil de dichos equipos. Por tal motivo propone un sistema de gestión que determina el óptimo funcionamiento para la estación de bombeo mediante la utilización de la herramienta de Excel y el uso de diferentes funciones en la propone la mejor

combinación para que trabajen los equipos con tres condiciones como: flujo óptimo, potencia mínima absorbida y máxima eficiencia; permitiendo así que los equipos puedan trabajar de forma eficiente dando como resultado que anteriormente en la estación de bombeo se tenía al año un consumo de 189.867,20 MWh y mediante esta propuesta se obtiene al año un consumo de 174.105,79 MWh que representa un 8,3% de ahorro en comparación al consumo antiguo a pesar de ser un porcentaje reducido tendrá un impacto positivo en la factura energética anual.

En el artículo publicado por (Iorgulescu, 2017), se analiza tres industrias, entre ellas metalmecánica, alimenticia y panadera, para poder aumentar la eficiencia energética de cada una de ellas. Se realiza una recopilación de información general de cada industria para conocer el uso de la energía dentro de cada área relevante, la adquisición de fichas técnicas de cada equipo junto a sus respectivas horas de trabajo y analizar los consumo de energía; finalmente tras realizar esta recopilación y análisis se obtienen como resultados generales que se pueden aplicar a cualquier tipo de industria independientemente de su actividad como: compensación óptima del factor de potencia, reemplazó de las lámparas con iluminación tipo LED y utilización de plantas fotovoltaicas para aprovechar el espacio no utilizado reduciendo así los consumos de electricidad.

El proyecto realizado por (Bhimrao, 2018), manifiesta que el principal sector de alto consumo energético en el mundo es el sector industrial, es por tal motivo que realiza una auditoría energética en la industria Riddhim Siddhim Steel en la India donde aplica la auditoría de tipo preliminar y detallada en la que plantea desarrollar por fases. La primera con recopilación de datos de la industria, horas de trabajo de equipos y revisión del historial de facturación, con el propósito de tener una vista general del consumo de energía mientras que la segunda consiste en el procesamiento de datos

distribuyendo las diferentes cargas en máquinas, iluminación, computadores y ventiladores para encontrar las áreas de mayor consumo en la que las máquinas representan el 94% de la energía total y las cargas restantes se encuentran distribuidas en el 6%. De acuerdo al análisis efectuado el problema que presentan las máquinas es la falta de un mantenimiento regular lo que ocasiona reducción de la eficiencia, generando mayor consumo de energía en comparación a la requerida, incrementando las pérdidas en la máquina y por ende un aumento en costos de facturación mientras que en el sistema de iluminación el problema radica en una selección inadecuada de lámparas y el uso innecesario de las mismas por lo que se consideran como áreas relevantes para propuestas de mejora; finalmente en la fase tres se estable como propuestas la implementación de equipos nuevos eficientes para sustitución de equipos sobredimensionados, mantenimiento a las máquinas, mejoramiento del factor de potencia mediante el uso de un compensador y sustitución del sistema de iluminación a tipo LED con la selección adecuada dependiendo de cada área. Dando como resultado que al analizar la propuesta de sustitución del sistema de iluminación a tipo LED se tendría un ahorro del 72% (64,8 kWh al mes) de energía al mes ya que el consumo de energía de una lámpara convencional de 250 W es de 90 kWh lo cual representa 636,3 rupias (\$8,43) al mes mientras que con una lámpara de tipo LED de 70 W el consumo es de 25,2 kWh lo que representa 178,16 rupias (\$2,36) generando un ahorro de 458,12 rupias (\$6,07) al mes y al año de 5497,47 rupias (\$72,84). Cabe mencionar que para el sistema de iluminación total de la industria con lámparas de tipo LED se tendría un consumo de 27518,4 kWh al año lo que representa 194555,08 rupias (\$2577,80).

El estudio de ahorro y reducción de costos en la planta de tratamiento de agua potable Pengok PDAM Tirtamarta Yogyakarta realizado por (R. Budiarto & I. Rizki , 2018), manifiesta que es necesario separar por áreas o procedimientos donde se tenga

la utilización de grandes motores y permitiendo identificar así zonas relevantes que afectan el consumo. Además, analiza el comportamiento del historial de facturación con la finalidad de observar las fluctuaciones de consumo en los meses del período 2017 – 2018 en la que el mayor consumo de energía es de 18790 kWh correspondiente al mes de enero de 2018, el menor consumo de energía es de 15364 kWh correspondiente al mes de marzo de 2017 y obteniendo un promedio de consumo de energía eléctrica de 16593,23 kWh de la planta de tratamiento de agua potable. De acuerdo al análisis realizado se obtuvo que el consumo de energía de la carga de las bombas es de 15769,17 kWh que representa el 98,8% de la energía total, la carga de iluminación es de 126,18 kWh que representa el 0,79% de la energía total mientras que la carga del equipo electrónico es de 55,65 kWh que representa el 0,34% de la energía total; todo aquello para la operación de la planta de tratamiento de agua validando así el consumo obtenido con el historial de facturación. Por esta razón realiza un diagnóstico en la zona de bombas por ser la más relevante en el consumo y propone optimizar es decir solo utilizar la bomba de pozo 1 siendo suficiente para efectuar el trabajo ya que con la utilización de la bomba 2 se tiene un consumo innecesario siendo este de 8910 kWh/mes por el hecho de encontrarse sobredimensionado el sistema de bombas, al implementarse la propuesta se tiene un ahorro de energía del 389,69 kWh/mes.

3.2. Enfoque de la investigación

El enfoque del proyecto de investigación está dado por el tipo cuali-cuantitativo, pese a que en primera instancia la investigación permite obtener, organizar y registrar una serie de valores cuantitativos sobre datos técnicos, parámetros y variables eléctricas mediante la observación directa y mediciones de parámetros eléctricos esenciales que influyen en el análisis energético por medio de instrumentos y dispositivos de medición para realizar el análisis energético correspondiente de la planta

para comprender la situación del sistema eléctrico y a través de hojas de cálculo generar representaciones gráficas para conocer el comportamiento de variables eléctricas que influyen en el análisis para tomar decisiones, mientras en segunda instancia mediante el análisis de la investigación permite proponer posibles alternativas de ahorro y eficiencia energética, las cuales ayuden a conseguir excelentes resultados, como la disminución del consumo de energía de la planta Bellavista a futuro cuando se aplique las alternativas y por otro lado reducir los impactos ambientales.

3.3. Modalidad de la investigación

3.3.1. De Campo

Para alcanzar los objetivos propuestos en el presente proyecto se debe efectuar una serie de visitas a las instalaciones de la Planta Bellavista de la EPMAPS bajo un horario planificado. Mediante esta modalidad de campo se alcanza un levantamiento de información técnica del sistema eléctrico para recopilar datos técnicos que son imprescindibles para la realización del respectivo inventario de activos actuales para el levantamiento de carga y posteriormente para el análisis pertinente, al igual para complementar el análisis se efectúa un monitoreo de los parámetros eléctricos necesarios mediante la utilización del analizador de redes a fin de obtener resultados reales y poder constatar la situación en que se encuentra funcionando, como también un diagnóstico preliminar del sistema de iluminación.

3.3.2. Bibliográfica – Documental

Para alcanzar los objetivos propuestos en el presente proyecto se plantea con la mayor cantidad de fundamentos teóricos a través de una amplia consulta en fuentes bibliográficas, páginas web, documentos, artículos científicos, libros – textos, afines con el estudio pertinente. Mediante esta modalidad permite obtener información limitada pero fiable, en la que se compara métodos y orientaciones de análisis en empresas, así

mismo la identificación del procedimiento general para llevar a cabo el análisis, suministrando el conocimiento y las guías oportunas para efectuar el proyecto.

Además, en esta investigación se logra conocer datos importantes para el estudio mediante registros y documentos existentes, tales como historial de facturación, especificaciones técnicas de activos, folletos técnicos, entre otros; facilitados por el departamento Unidad de Mantenimiento Electromecánico de Producción de la planta.

3.3.3. *Inductiva/deductiva*

Para alcanzar los objetivos propuestos en el presente proyecto se analiza el equipamiento, procesos, tópicos y en particular activos eléctricos de gran potencia acorde al análisis, que son fundamentales para direccionar a conclusiones adecuadas, además es necesario la utilización de la herramienta digital Excel para la creación de matrices que facilitan la organización y registro de los datos vinculados al estudio, así mismo para la interpretación y evaluación económica de las posibles propuestas. Mediante esta modalidad inductiva – deductiva se logra un análisis general en la que se conoce las condiciones en que operan los activos y de esta manera verificar si se encuentran funcionando en un nivel óptimo, así como lo establecen las respectivas normativas.

3.4. Fuentes de investigación

3.4.1. *Fuente primaria:*

Las fuentes primarias que se toman como referencia son las normativas nacionales e internacionales, como por ejemplo la norma IEEE, UNE, Regulación ARCERNNR, ISO 50001, NCh 50006, entre otras; en la que mencionan directrices, metodologías, parámetros eléctricos de operación, aspectos importantes para una adecuada auditoría energética, etc; con el fin de desarrollar la temática adecuadamente

y proponer posibles mejoras para perfeccionar la situación energética de la Planta Bellavista de la EPMAPS.

3.4.2. Fuente secundaria:

Las fuentes secundarias que se toman como referencia son las tesis, artículos científicos internacionales, libros de texto, sitios web y documentos similares con la temática, con el propósito de recolectar la mayor cantidad de información acerca del estudio; de esta manera poder sustentar contenido evidente a la realidad y conservar un respaldo de la información.

3.4.3. Fuente terciaria:

Las fuentes terciarias que se toman como referencia los catálogos y manuales bajados de bibliotecas virtuales correspondientes a los equipos que carecen de especificaciones técnicas y proyectos de investigación que estén dentro del contexto y que tengan como finalidad llevar a cabo estudios energéticos en sectores industriales.

3.5. Niveles de investigación

3.5.1. Exploratorio

Este nivel se menciona ya que se efectúa una serie de revisiones de las placas de datos de las cargas, una indagación de los procesos para disponer de un panorama actual, además la búsqueda de información técnica necesaria que sujete vinculación directa con la operatividad, monitoreo de parámetros eléctricos necesarios y así lograr contextualizar en lo que se refiere al análisis y posibles propuestas de mejora.

3.5.2. Descriptivo

Este nivel se menciona ya que en el desarrollo del análisis se detalla el comportamiento de parámetros eléctricos necesarios obtenidos en la planta y de acuerdo con ello se describe sus principales peculiaridades que se producen y de acuerdo a los resultados se describe el cumplimiento de las normativas y estándares.

3.5.3. Explicativo

Este nivel se menciona ya que por medio del análisis se explica las posibles mejoras en torno a la eficiencia y ahorro energético que se pueden aplicar de acuerdo al análisis juntamente con los beneficios que se tendrá, misma que será importante para poner en conocimiento cuando se destine su respectiva implementación en la Planta Bellavista, esto desde una perspectiva técnica y económica.

3.6. Técnicas de investigación

3.6.1. Observación directa

Es una técnica indispensable ya que se consigue información válida y confiable mediante la observación directa con los activos, procesos e instalaciones de la planta para tomar valores adecuados y conocer cómo funciona dicho sistema, así mismo se debe mantener una buena comunicación con el personal porque son quienes brinden su ayuda para llevar a cabo la inspección de áreas y obtención de datos, explicación de la operación de la planta, entre otros aportes que permitan generar una orientación más acertado y explícita para abordar de la mejor manera el análisis energético de la planta.

3.6.2. Entrevista no estructurada

Para el desarrollo del proyecto se planifica conversatorios con el personal autorizado de apoyo de la Planta bellavista de la EPMAPS para la ejecución del tema, con el propósito de mostrar la información resultante para ser validada o en algunos casos admisibles a sugerencias con el fin de cubrir las expectativas y cumplir los objetivos propuestos en el proyecto de investigación.

3.6.3. Técnica indirecta de información

Un porcentaje de información que surge como necesaria para el proyecto de investigación es proporcionado por parte de la Planta Bellavista de la EPMAPS y en la que se maneja de manera reservada algunos documentos tales como manuales de los

activos, catálogos técnicos, historiales de facturación, entre otros; siendo información relevante para el desarrollo del proyecto

3.6.4. Técnica de medición

Esta técnica se lleva a cabo mediante la utilización de equipos de medición tales como el analizador de redes en la que permite obtener los parámetros eléctricos necesarios para el análisis; por otro lado, el luxómetro para determinar la correcta luminosidad en áreas relevantes de la planta Bellavista y finalmente otros dispositivos de medición como multímetro de pinza amperimétrica para adquirir mediciones ineludibles; de esta manera se logra obtener datos reales y válidos para el análisis.

Para llevar a cabo la medición de los parámetros eléctricos necesarios para el análisis en la Planta de Bellavista de la EPMAPS, se efectúa de la siguiente manera.

3.6.4.1. Condiciones iniciales para la medición.

Definir las condiciones para la medición es importante ya que dependiendo del análisis a realizarse se debe concretar el tiempo de medición, los intervalos de registro de los valores; así mismo se debe definir los parámetros necesarios que se va a medir y que serán considerados importantes para el análisis pertinente, tras la definición de condiciones y parámetros se selecciona el dispositivo.

3.6.4.2. Ejecución de la medición.

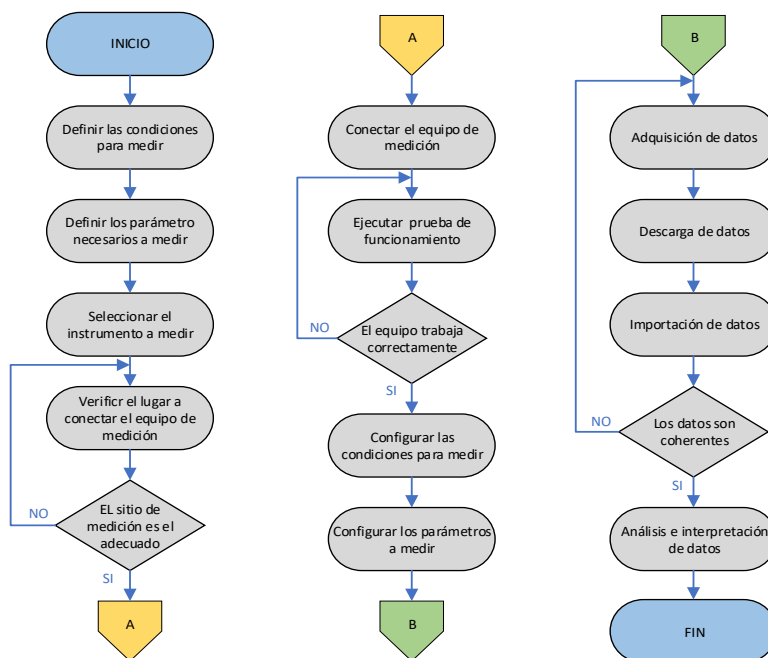
En este punto, de acuerdo al sitio considerado para un análisis y que requieren monitoreo / medición, se parte verificando que dicho sitio sea apto para ubicar el dispositivo. Cabe mencionar que antes de configurar el dispositivo con las condiciones iniciales se ejecuta una prueba de funcionamiento para validar que el equipo funcione correctamente.

3.6.4.3. Adquisición de datos.

Una vez efectuada la medición se obtienen todos los valores en el equipo, en el cual se pueden visualizar directamente en el equipo o a su vez se puede descargar la base de datos e importar a una extensión de programa que facilite la comprensión de los mismos para su respectivo análisis e interpretación. La **Figura 5**, muestra la metodología para llevar a cabo la medición de parámetros eléctricos necesarios para el análisis en la Planta de Bellavista de la EPMAPS.

Figura 5

Medición mediante los equipos en áreas específicas.



Nota. La figura representa la metodología para la medición de parámetros eléctricos necesarios para el análisis mediante equipos de medición.

3.7. Validez y confiabilidad

La validez y confiabilidad son términos importantes que se deben tener en cuenta en el estudio técnico, especialmente cuando se toma la información y en la medición de las variables físicas eléctricas, razón por la que emite mayor confianza en

la obtención de información y brinda veracidad en los valores expresados, que son de gran ayuda para tomar decisiones apropiadas y obtener conclusiones adecuadas.

En este contexto, los equipos de medición brindan la validez de los resultados ya que están desarrollados de acuerdo a normativas en términos de fiabilidad y seguridad, permitiendo efectuar el análisis energético de forma confiable y brindando veracidad al momento de proporcionar las mediciones. Por otra parte, toda la información utilizada para elaborar el levantamiento de carga, análisis energético y otros datos necesarios, son confiables ya que son proporcionados por los departamentos, directivos o personal de apoyo de la planta Bellavista.

3.8. Procedimiento de la investigación

Para el desarrollo del tema se lleva a cabo las siguientes fases consideradas fundamentales, en la que se describen a continuación de forma concisa.

3.8.1. Recopilación de información

Se inicia con el levantamiento de información, datos técnicos de activos, procesos, luminarias, suministros de energía, entre otros, de manera sistemática mediante una inspección visual de las instalaciones de la planta Bellavista, el uso de bitácoras o registros y la constatación de placas de datos; en este punto se necesita un acercamiento con el personal de la planta. Una vez realizado esto se elabora el inventario de activos actuales (**Anexo A**) que presenta la planta mediante matrices en Excel en la que se componen por nombre de activo, codificación, descripción, estado físico / funcional, cantidad, especificaciones técnicas, imagen y observaciones. A su vez es necesario disponer de un diagrama eléctrico unifilar (**Anexo B**) de los procesos de tratamiento para comprender de mejor manera los equipos que la componen junto a sus particularidades.

Las matrices tanto para el inventario como para el levantamiento de carga, se distribuyen en tres categorías denominados como receptores eléctricos con los que cuenta la planta Bellavista, que a continuación se mencionan; técnica empleada en base a lo efectuado en el proyecto de investigación de (Messina, 2012) con el fin de que los datos se encuentren aptos para el análisis.

- Equipos de potencia: se consideran a los motores de los procesos para el tratamiento de agua, etc.
- Sistema de iluminación: se consideran a lámparas fluorescentes, focos ahorradores, focos incandescentes, HID, etc.
- Equipos de oficina: se consideran a computadoras, laptops, impresoras, TV, radio, cafetera, equipos de medición de baja potencia en el área química, etc.

Para cada distribución mencionada se cataloga en cinco niveles que posee la planta Bellavista (**Anexo C**), como son: subsuelo (SB), planta baja (PB), primer piso (P1), segundo piso (P2) y tercer piso (P3); y cada uno de ellos se subclasifica en áreas de acuerdo a los procesos que se efectúan en cada nivel de la planta.

3.8.2. Levantamiento de cargas

De acuerdo a la información recolectada, constatada en el inventario de activos y haciendo uso de las fuentes secundarias que otorgan las pautas necesarias, se efectúa el levantamiento de cargas mediante matrices en Excel en la que se componen por nombre de activo, cantidad, potencia y horas de operación para estimar la capacidad instalada y el consumo de energía por cada activo de los procesos.

Una vez realizado esto, se realiza la cuantificación de la capacidad instalada por categorías, niveles y áreas con el fin de conocer la cantidad de potencia que se encuentra instalada; así mismo se realiza la cuantificación del consumo de energía teórico por categorías, niveles y áreas; (**Anexo D**). Este punto es de gran importancia

ya que al poseer los valores de consumo se descubre zonas denominadas como usos significativos de energía de la planta Bellavista de la EPMAPS para obtener un respectivo análisis.

3.8.3. Caracterización energética

Se inicia caracterizando el historial de facturación de energía eléctrica de la planta Bellavista, donde se analiza el consumo de energía, demanda eléctrica, factor de potencia y el costo de planilla eléctrica en función a cada mes, con el propósito de proporcionar una opinión acerca del comportamiento de cada variable mencionada en la trayectoria del año 2021, siendo el historial información que previamente fue obtenida por los registros del departamento de la Unidad de Mantenimiento Electromecánico de Producción UMEP, de esta manera se puede validar el valor registrado por la empresa distribuidora de energía eléctrica y el resultado obtenido en el levantamiento de carga en cuanto a consumo, teniendo presente que los valores teóricos contemplan una pequeña variación respecto a los medidos.

Para complementar el análisis se hace uso del analizador de redes disponible en la planta para obtener valores de variables eléctricas tales como voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia, potencia activa / reactiva / aparente, distorsión armónica total de corriente, energía; con el fin de obtener información real y suplementaria de la situación actual, que es de gran ayuda para adquirir particularidades primordiales para el análisis energético y verificar la existencia de desviaciones referente a los límites permitidos. La medición se debe realizar de acuerdo a lo estipulado en la (Regulación ARCERNR No. 017/2020), en la que se debe medir en un periodo no menor a siete días con un intervalo de diez minutos para el registro de datos.

3.8.3.1. Usos significativos de energía (USE´n).

Mediante los valores de consumo energético del levantamiento de carga permite identificar los USE´n (usos significativos de energía) ya que son equipos de alta potencia, operan constantemente y por ende generan un consumo de energía elevado.

3.8.3.2. Sistema de iluminación.

Para complementar el análisis es necesario de un diagnóstico preliminar del sistema de iluminación en la que se determina el uso excesivo de iluminación y la utilización de equipos ineficiente en las instalaciones de la planta, además verificar los niveles de luminosidad en zonas relevantes de la planta mediante el luxómetro.

3.8.4. Análisis de resultados

Prácticamente en este punto se realiza el análisis de los resultados obtenidos, en la que se parte desde la constatación y filtrado de los valores mediante hojas de cálculo, en la que se distribuye de acuerdo a cada variable medida. Una vez procesado se representa gráficamente para analizar su comportamiento respecto al tiempo de observación para tener el panorama más claro, además evaluar los límites en que operan las variables eléctricas (como por ejemplo voltaje, frecuencia, factor de potencia, desbalances) es sustancial para verificar si existe el cumplimiento con lo que establecen las normativas. Por lo que en el análisis de resultados es necesario la utilización de diferentes herramientas digitales siendo de gran ayuda para la interpretación de la información, de esta manera se puede comprender el comportamiento de operación o visualizar si las variables eléctricas se encuentran operando de manera adecuada, óptima y eficiente. La interpretación de información y la representación gráfica forman parte significativa para la toma de decisiones o conclusiones, por lo que se recurre a las siguientes herramientas digitales.

3.8.4.1. Diagrama de barras.

Corresponde a un gráfico de barras rectangulares en la que se puede comparar entre sí. Se representa variables cuantitativas en la que su altura es proporcional a la frecuencia de los valores.

3.8.4.2. Diagrama de sectores.

Conciernen a un gráfico en forma de círculo con partes como cuantas existan, de modo que cada parte le corresponde a un porcentaje del total del área del círculo. Cada parte dividida tiene diferente amplitud razón por la proporcionalidad a la frecuencia de los datos.

3.8.4.3. Diagramas de tendencia.

Herramienta de datos continuos para observar el comportamiento de variables en el lapso de un tiempo, en la que permite visualizar si existe desviaciones en los datos.

3.8.4.4. Diagramas lineales.

Gráfico que representa un grupo de datos almacenados en una línea que corresponden a una misma variable que se encuentra en función a una variable continua, mostrando así los cambios que se producen.

3.8.4.5. Diagrama de dispersión.

Corresponde a un gráfico en la que posee un conjunto de puntos que tienen un valor de acuerdo a la posición horizontal y vertical, que permite reconocer la presencia de algún tipo de relación entre las variables.

3.8.5. Propuesta

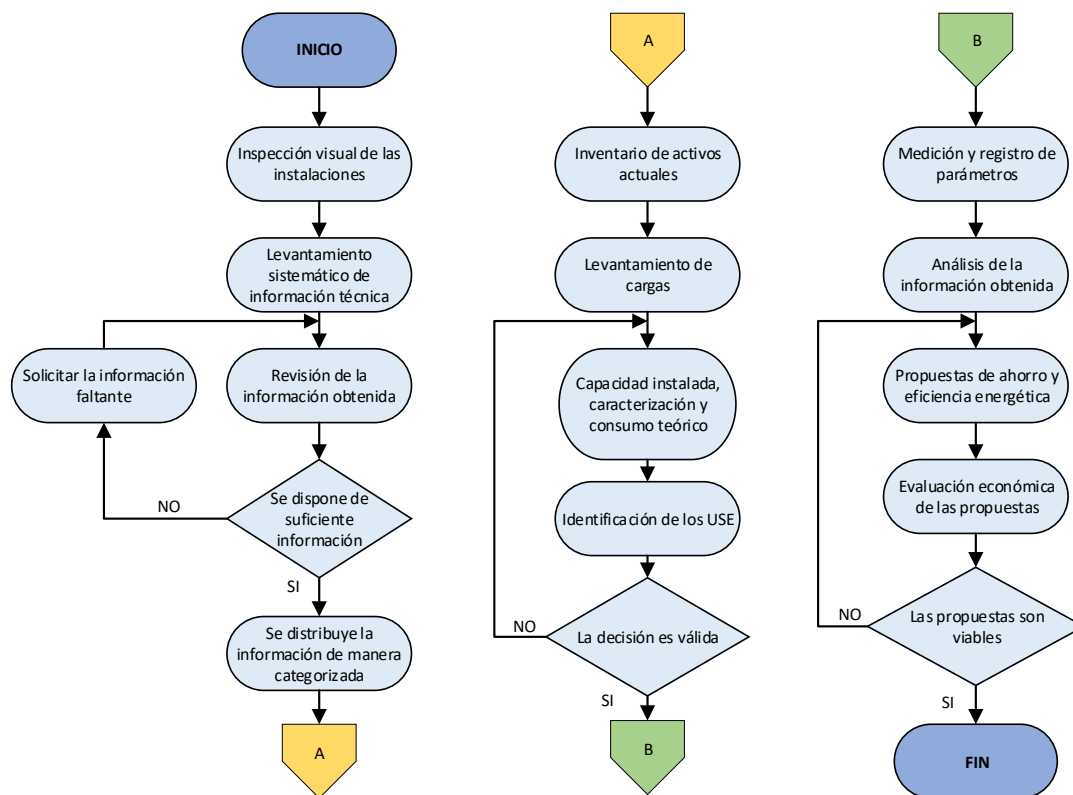
Finalmente, en paralelo a lo mencionado en las premisas anteriores y su respectivo análisis en gran parte de las instalaciones de la planta, permite identificar las posibles propuestas de mejoras enfocadas principalmente en el ahorro y eficiencia

energética; es importante señalar que en este punto se analiza de manera económica - técnica la propuesta y por otro lado ambiental, con el fin de proporcionar un análisis aceptable; de esta manera se da a conocer los costos de inversión, el ahorro estimado en alcanzar y el periodo de recuperación de dicha inversión.

La **Figura 6** a continuación, muestra la metodología para llevar a cabo el desarrollo de la auditoría energética en el sistema eléctrico de la Planta de Bellavista de la EPMAPS.

Figura 6

Desarrollo de la auditoría energética en la planta Bellavista.



Nota. La figura representa la metodología para el desarrollo de la auditoría energética en la planta Bellavista.

Capítulo IV

4. Análisis e interpretación de resultados

4.1. Particularidades del lugar de estudio

Para determinar el estado del sistema eléctrico en que se encuentra actualmente las instalaciones de la Planta Bellavista de la EPMAPS, es necesario realizar un recorrido por las diferentes áreas y conocer las características más relevantes del lugar.

4.1.1. Ubicación geográfica

La Planta Bellavista, se ubica en el sector nororiental de la ciudad de Quito, situada en el Parque Metropolitano (Guangüiltagua), a una altura de 2960 msnm, con una latitud de -0.180874 y longitud de -78.461537; como se visualiza en la **Figura 7**.

Figura 7

Ubicación geográfica de la EPMAPS



Nota. Representa la ubicación geográfica de las instalaciones de la Planta Bellavista de la EPMAPS. Tomado de: (Google Maps, 2021)

4.1.2. Información general

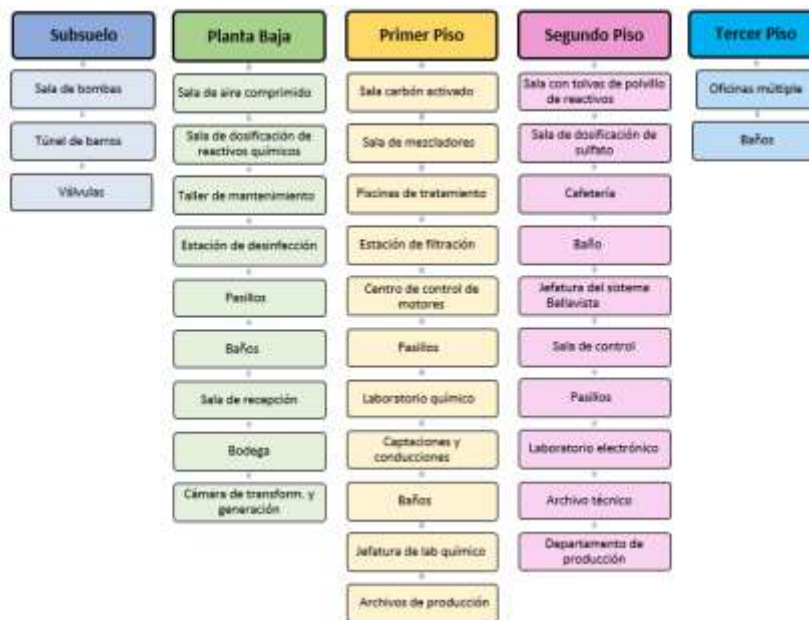
La Planta Bellavista de la EPMAPS es una empresa encargada de la prestación de servicios de agua potable, alcantarillado sanitario y salvaguardar el recurso vital, para abastecer aproximadamente al 36% de habitantes del Distrito Metropolitano Quito.

4.1.3. Descripción de las áreas

La Planta Bellavista de la EPMAPS presenta cinco niveles, cada uno conformado por diferentes áreas, como se detalla en la **Figura 8** a continuación.

Figura 8

Niveles y áreas de la Planta Bellavista de la EPMAPS



Nota. La figura presenta los diferentes niveles y las respectivas áreas de la Planta Bellavista de la EPMAPS.

4.1.4. Descripción de los procesos de tratamiento de agua

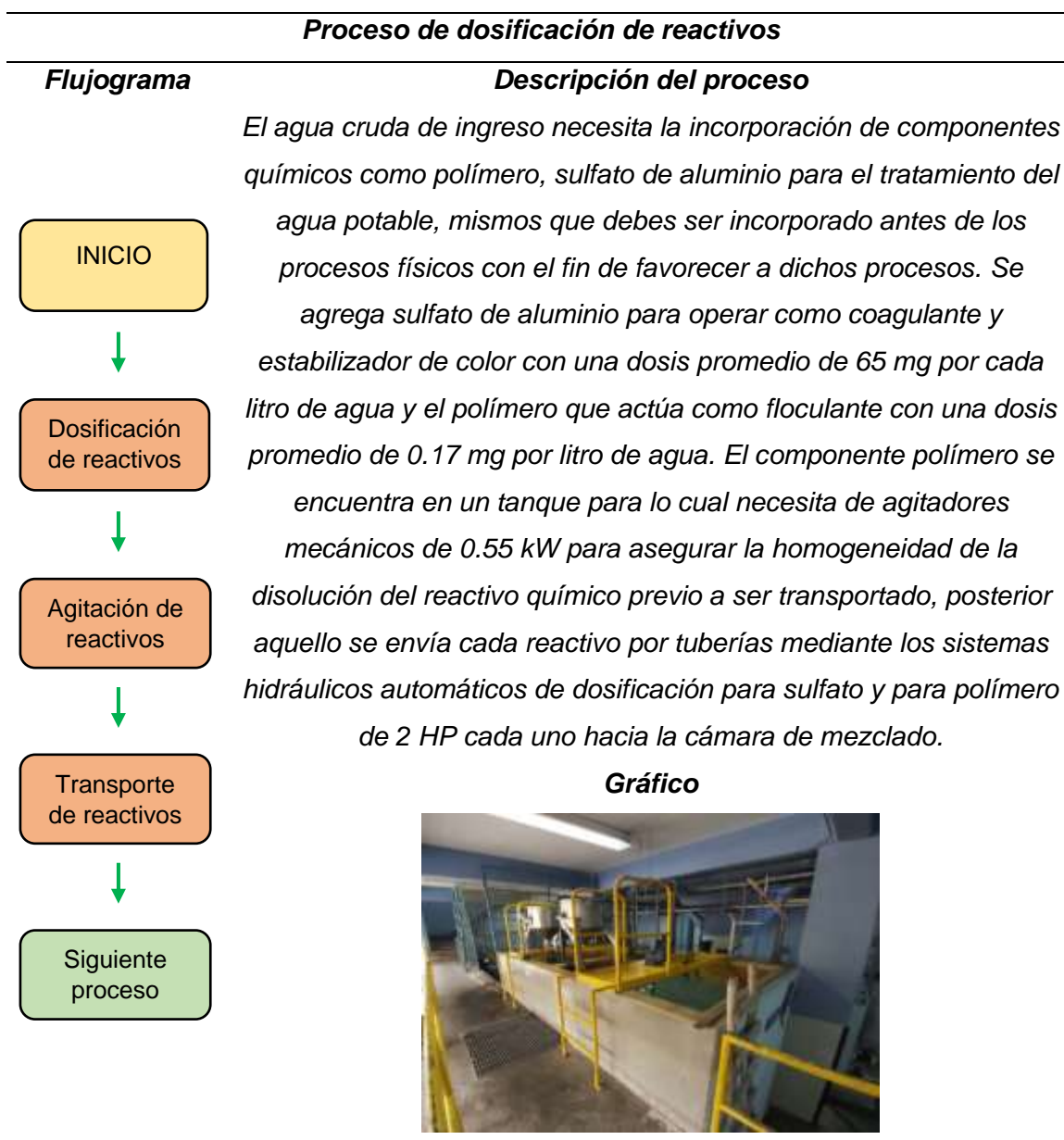
La Planta Bellavista de la EPMAPS, está conformada por diferentes procesos para potabilizar el agua, como a continuación se describen.

4.1.4.1. Proceso de dosificación de reactivos.

El proceso con el que inicia el tratamiento de agua es la dosificación de reactivos químicos, en la que se lleva a cabo un procedimiento metódico, como se muestra en la **Figura 9**.

Figura 9

Proceso de dosificación de reactivos



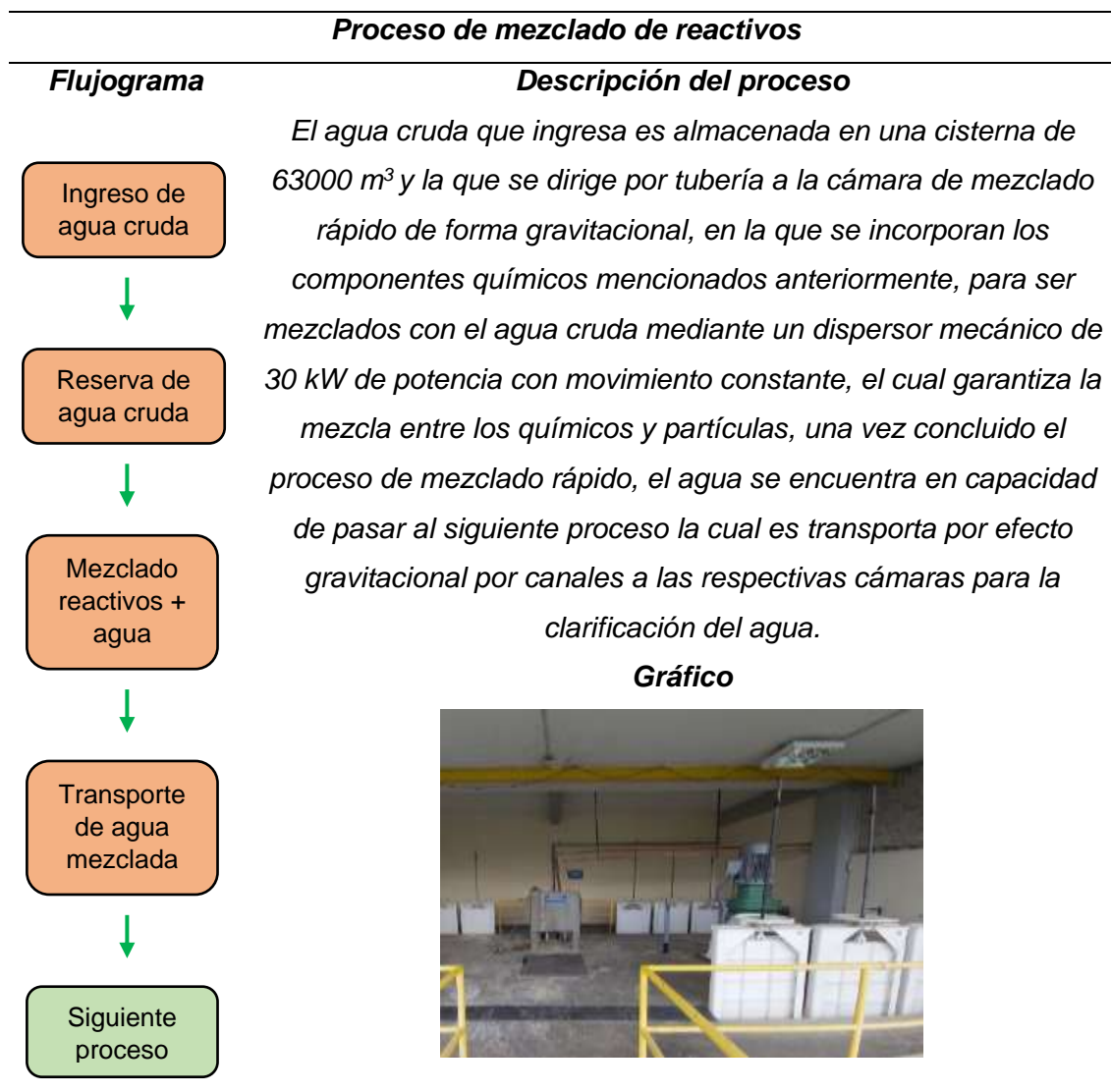
Nota. Representa el flujograma del proceso de dosificación de reactivos químicos de la Planta Bellavista.

4.1.4.2. Proceso de mezclado de reactivos.

El procedimiento metódico para llevar a cabo el mezclado de los reactivos químicos se muestra en la **Figura 10**.

Figura 10

Proceso de mezclado de reactivos



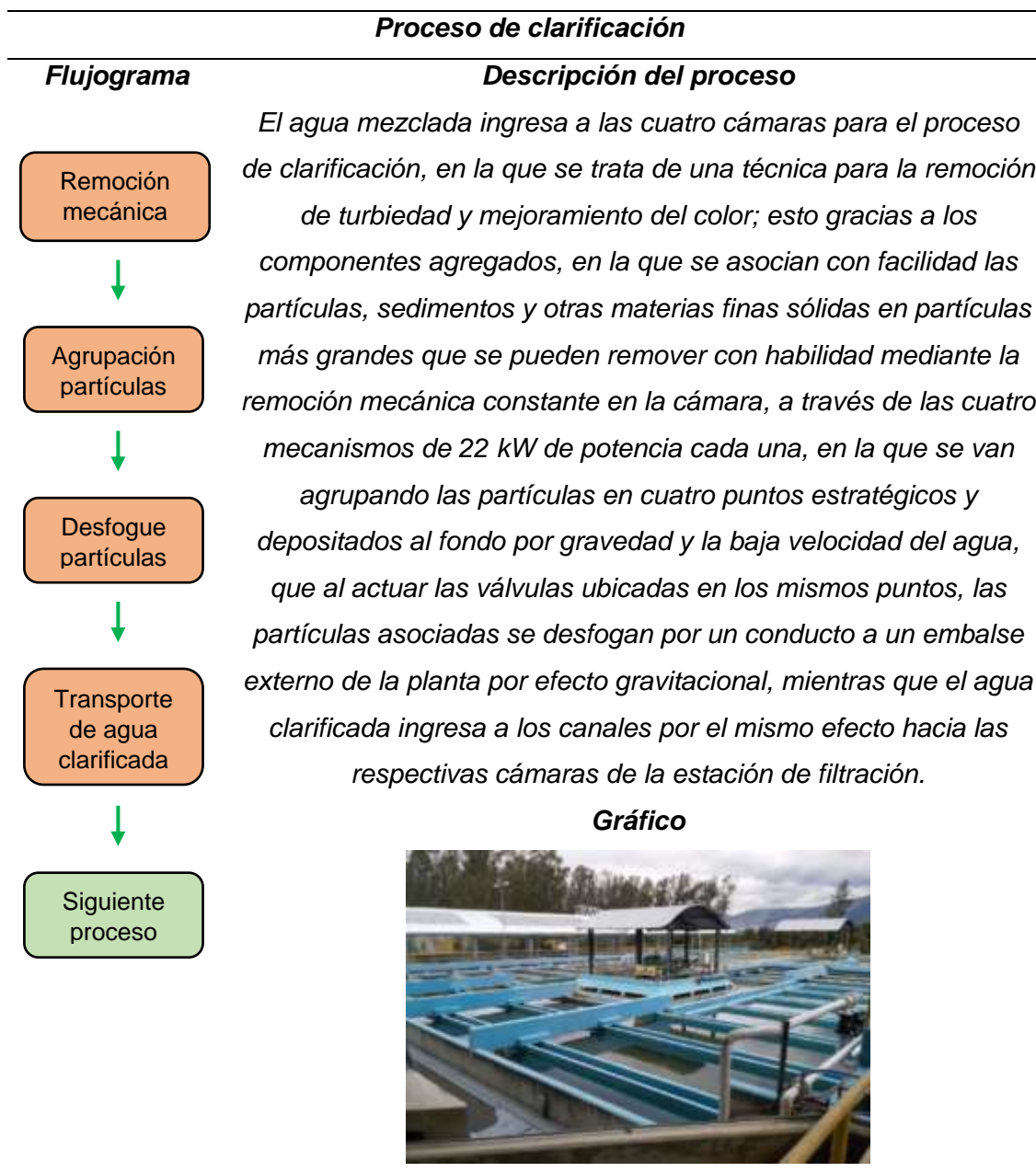
Nota. Representa el flujograma del proceso de mezclado de reactivos químicos de la Planta Bellavista.

4.1.4.3. Proceso de clarificación.

El procedimiento metódico para llevar a cabo la clarificación del agua se muestra en la **Figura 11**.

Figura 11

Proceso de clarificación



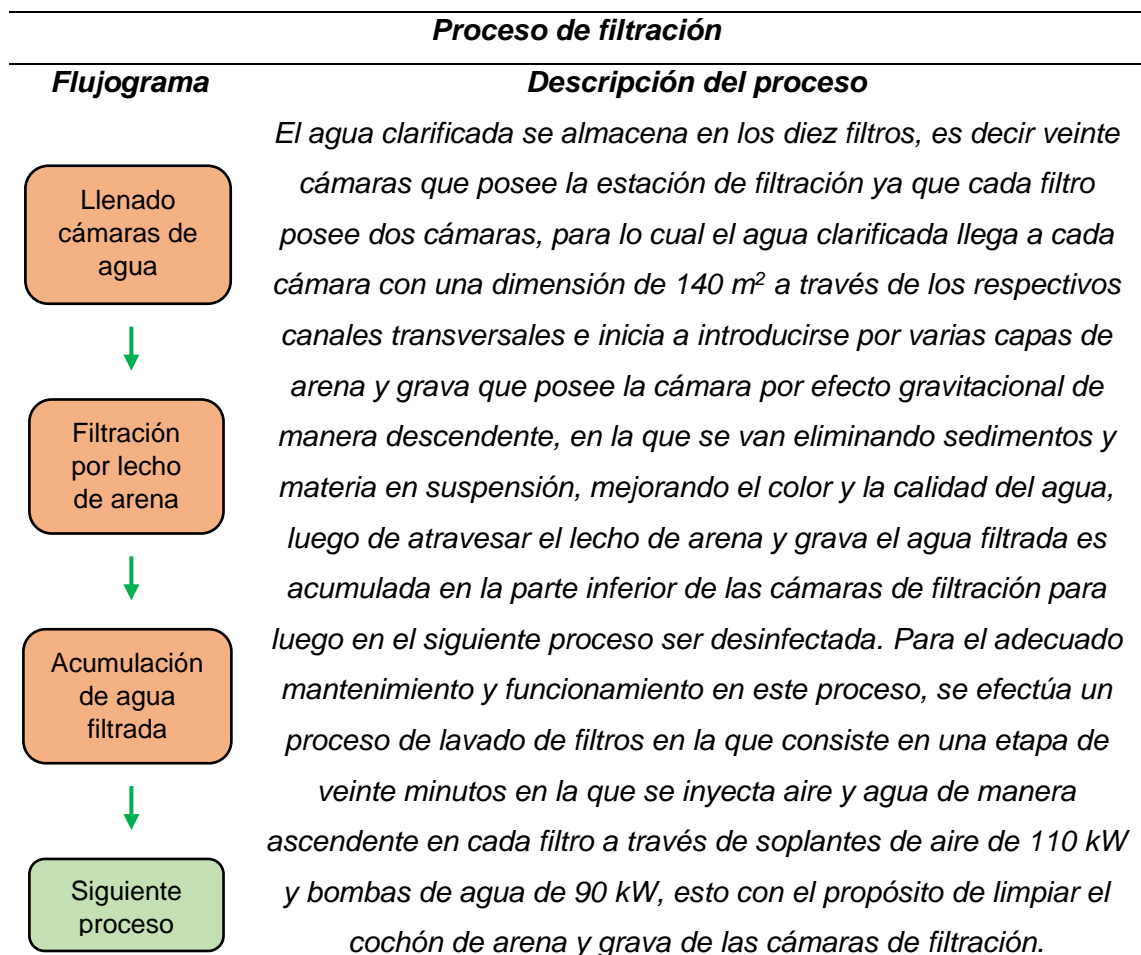
Nota. Representa el flujograma del proceso de clarificación de la Planta Bellavista.

4.1.4.4. Proceso de filtración.

El procedimiento metódico para llevar a cabo la filtración del agua se muestra en la **Figura 12**.

Figura 12

Proceso de filtración



Gráfico



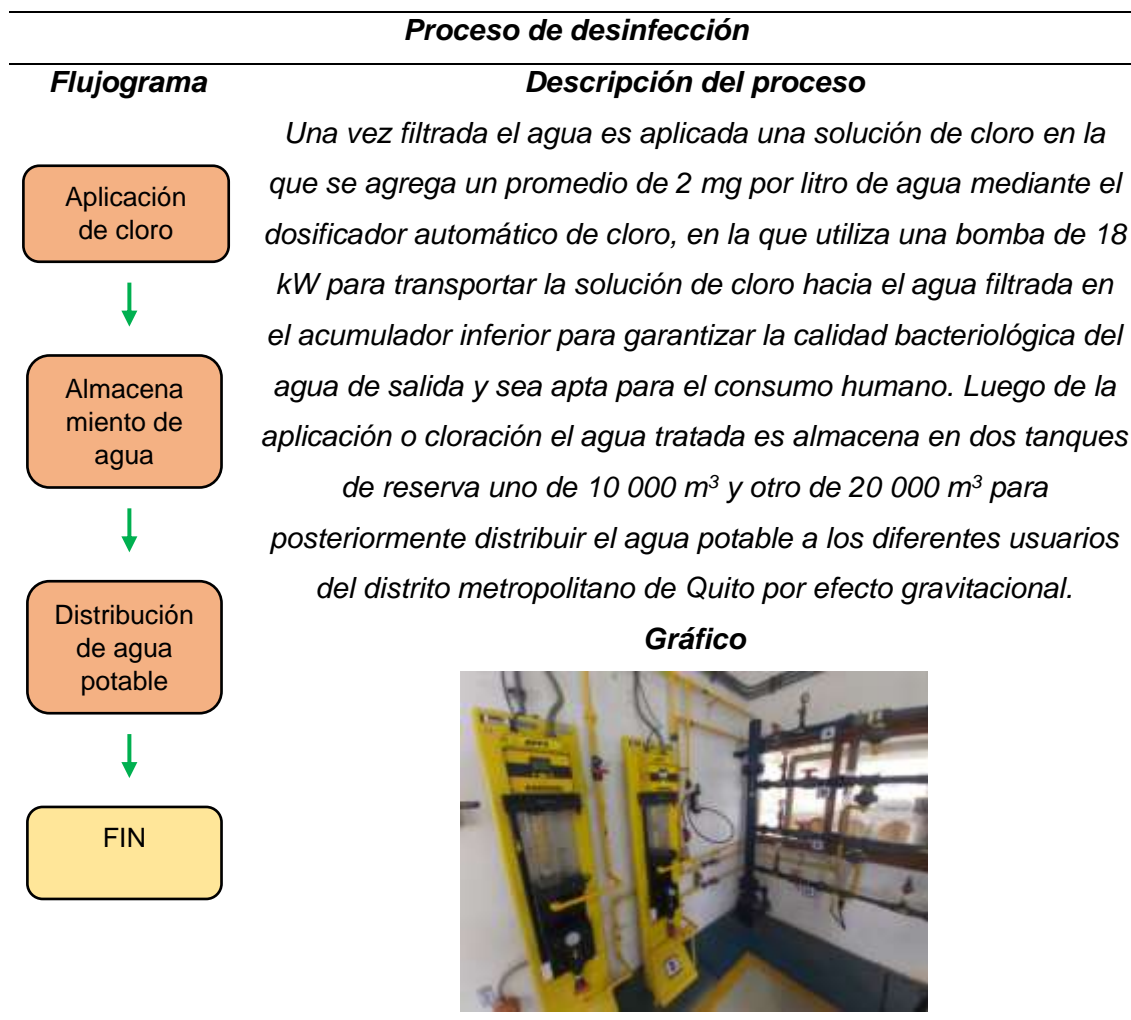
Nota. Representa el flujograma del proceso de filtración de la Planta Bellavista.

4.1.4.5. Proceso de desinfección.

El proceso con el que finaliza el tratamiento de agua es la desinfección, en la que se lleva a cabo un procedimiento metódico, como se muestra en la **Figura 13**.

Figura 13

Proceso de desinfección



Nota. Representa el flujograma del proceso de desinfección de la Planta Bellavista.

4.2. Recopilación de información y levantamiento de carga

Para la recopilación de información es necesario contar con los instrumentos necesarios, como por ejemplo el equipo de protección personal y disponer de fichas para registrar todos los datos necesarios; para conseguir información técnica en cuanto

a procesos, componentes, detalles prácticos, el estado físico / funcional y la toma de datos basados en la exploración de las placas características de los activos y de los manuales respectivos con el propósito de generar el inventario. Además, estar al tanto de los activos que actúan en los diferentes procesos, conjuntamente con tiempo de operación, siendo esta información necesaria para el levantamiento de cargas.

Para realizar el inventario actualizado y el levantamiento de cargas se utiliza fichas de registro de datos distribuidos en: equipos de potencia (EP), sistema de iluminación (SI) y equipos de oficina (EO); de esta manera se obtiene información de forma organizada y veraz. Cabe mencionar que para la obtención de algunos datos técnicos es necesario recurrir a hojas de registros del departamento de la UMEP y además se contrasta los valores mediante la visualización en la placa característica de cada uno de los activos que posee las instalaciones de la planta Bellavista.

A continuación, se muestra las características más relevantes de los transformadores y del generador diésel de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS.

4.3. Suministro de la Planta Bellavista

El suministro del sistema eléctrico está formado por dos transformadores, en la que uno de los transformadores se encuentra en operación para el suministro de todas las áreas de la planta, mientras que el segundo se encuentra en reserva para casos de emergencia. Cabe mencionar que la operación del transformador es rotativa por un determinado periodo de tiempo, es decir el transformador I está en servicio por una semana, mientras que el transformador II entrará en servicio la siguiente semana, de esta manera alternadamente.

4.3.1. Transformador I

En la **Figura 14** se especifican los datos técnicos del transformador I.

Figura 14

Especificaciones técnicas del T1

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA									
DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN Y GENERACIÓN									
Ubicación:	Parque Metropolitano de Quito EPMAPS - BELLAVISTA								
Hora inicio:	07h00	Hora final:	16h00	Inspección:	N° 001/012				
Instrumentos:	Ficha, EPP, Bolígrafo, Cámara								
Fecha de ejecución:	04 de Octubre 2021								
Centro de Transformación 1									
Ubicación:	EPMAPS - BELLAVISTA (Parque Metropolitano de Quito)								
Marca:	ECUATRAN	Alta tensión:			Baja tensión:				
Serie:	95688	Conexión:	Tap	V	A	Conexión:	Línea	V	A
Año de fabricación:	1989		1	6300			XI X2 X3 X0	480	1203
Peso total kg:	3610		2	6150					
Potencia nominal KVA:	1000		3	6000	96,22				
Calentamiento °C:	65/85		4	5850					
Grupo de conexión:	DY11		5	5700					
Impedancia C.C:	5,1								
Nivel de aisl. 60Hz Kv:	26								
Nivel de aisl. BIL Kv:	75								
Frecuencia Hz:	60								
Operación msnm:	3000								
Nº fases:	3								
Líquido aisl.	Aceite								
Peso liq aisl.	945								
Nota: El cambio de taps deberá realizarse desenergizando el transformador									

Nota. La figura presenta las características técnicas del transformador.

4.3.2. Transformador II

En la **Figura 15** se especifican los datos técnicos del transformador II.

Figura 15

Especificaciones técnicas del T2

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA									
DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN Y GENERACIÓN									
Ubicación:	Parque Metropolitano de Quito EPMAPS - BELLAVISTA								
Hora inicio:	07h00	Hora final:	16h00	Inspección:	N° 002/012				
Instrumentos:	Ficha, EPP, Bolígrafo, Cámara								
Fecha de ejecución:	04 de Octubre 2021								
Centro de Transformación 2									
Ubicación:	EPMAPS - BELLAVISTA (Parque Metropolitano de Quito)								
Marca:	ECUATRAN	Alta tensión:			Baja tensión:				
Serie:	95689	Conexión:	Tap	V	A	Conexión:	Línea	V	A
Año de fabricación:	1989		1	6300			XI X2 X3 X0	480	1203
Peso total kg:	3610		2	6150					
Potencia nominal KVA:	1000		3	6000	96,22				
Calentamiento °C:	65/85		4	5850					
Grupo de conexión:	DY11		5	5700					
Impedancia C.C:	5,1								
Nivel de aisl. 60Hz Kv:	26								
Nivel de aisl. BIL Kv:	75								
Frecuencia Hz:	60								
Operación msnm:	3000								
Nº fases:	3								
Líquido aisl.	Aceite								
Peso liq aisl.	945								
Nota: El cambio de taps deberá realizarse desenergizando el transformador									

Nota. La figura presenta las características técnicas del transformador.

El transformador que se encuentra en servicio alimenta toda la planta Bellavista, misma distribuida en cinco niveles: Subsuelo, Planta baja, Primer piso, Segundo piso y Tercer piso; cada una de ellas con sus respectivas áreas para los procedimientos que implica el tratamiento de agua que tiene la planta.

4.3.3. *Generador Diésel*

En la **Figura 16** se especifican los datos técnicos del generador diésel.

Figura 16

Especificaciones técnicas del generador diésel

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA			
DESCRIPCIÓN DE LA CÁMARA DE TRANSFORMACIÓN Y GENERACIÓN			
Ubicación:	Parque Metropolitano de Quito EPMAPS - BELLAVISTA		
Hora inicio:	07h00	Hora final:	16h00
Instrumentos:	Ficha, EPP, Bolígrafo, Cámara		
Fecha de ejecución:	04 de Octubre 2021		
Generador Diesel			
Ubicación:	EPMAPS - BELLAVISTA (Parque Metropolitano de Quito)		
Marca:	SDMO		
Serie:	JS170UC		
Potencia nominal KVA:	212,5		
Potencia nominal KW:	170		
Voltaje V:	480/277		
Corriente A:	263		
Velocidad rpm:	1800		
Frecuencia Hz:	60		
Nº fases:	3		

Nota. La figura representa las características técnicas del generador.

El generador diésel opera en caso de emergencia, mismo que entra en operación de manera manual para abastecer un porcentaje de las áreas de la planta por su capacidad que la limita, por lo que se excluye el proceso de lavado de filtros para ser abastecido, razón por la que contempla valores de potencia sumamente altos. Además, cada mes le disponen de un tiempo al generador para un mantenimiento rutinario.

Los transformadores I, II y el generador diésel se hallan situados en la parte exterior derecha del edificio, en la que se encuentran protegidos por una infraestructura con libre ventilación y mecanismos adicionales para salvaguardar el bienestar de los operarios y mantener la protección en contra de los agentes medio ambientales.

4.4. Capacidad instalada de la Planta Bellavista

De acuerdo con el levantamiento de cargas con las que cuenta la Planta Bellavista de la EPMAPS se logra tener la potencia instalada de manera distribuida, como se mencionó en el apartado **3.8.2**.

4.4.1. Según la aplicación del uso de energía

La distribución de la potencia instalada según la aplicación del uso eléctrico, se tiene a Equipos de Potencia (EP) con 699,35 kW, Sistema de Iluminación (SI) con 24,25 kW y Equipos de Oficina (EO) con 79,03 kW; como se observa en la **Figura 17**. Cabe mencionar que lo es sustancial considerar los (EO) incluido los de laboratorio, a pesar que dichos equipos son de baja potencia al final de las facturaciones implican un porcentaje del consumo de energía, siendo necesario para llegar a un valor realista en la cuantificación de consumo.

Figura 17

Potencia instalada según la aplicación del uso eléctrico

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA					
CAPACIDAD INSTALADA					
Ubicación:			PMQ EPMAPS - BELLAVISTA		
Hora inicio:	07h00	Hora final:	15h30	Inspección:	007/012
Instrumentos:			Fichas digitales, bolígrafo		
Fecha de ejecución:		07 de Oct 2021			
Potencia instalada según el uso de energía					
Potencia instalada según el uso de energía (W)					
	[EP]	[SI]	[EO]		
	699346,5	24249,8	79026		
TOTAL (kW)		802,62			

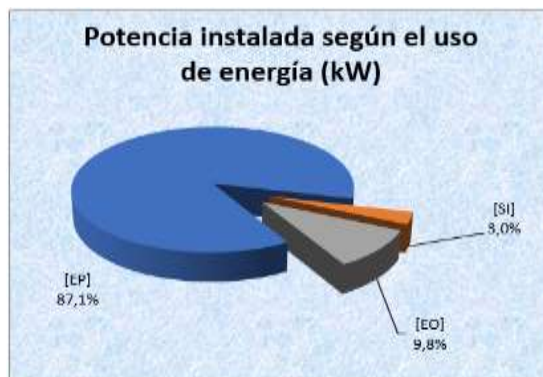
Nota. La figura representa potencia instalada según la aplicación del uso eléctrico.

De acuerdo a la **Figura 18** se determina que la potencia total instalada es de 802,62 kW y en base al diagrama los Equipos de Potencia (EP) representan el 87,1%, los Equipos de Oficina (EO) representan el 9,8% y el Sistema de Iluminación (SI) representan el 3,0%; cada uno respecto a la potencia total instalada. En conclusión, se

puede interpretar de acuerdo a los porcentajes representativos que los Equipos de Potencia (EP) son los de mayor capacidad de potencia instalada en la planta Bellavista.

Figura 18

Potencia instalada según la aplicación del uso eléctrico



Nota. La figura representa la potencia instalada según la aplicación del uso eléctrico.

4.4.2. Según los niveles de la planta

La distribución de la potencia instalada según los niveles de la Planta Bellavista, se tiene a Subsuelo (SB) con 209,60 kW, Planta Baja (PB) con 312,70 kW, Primer Piso (P1) con 235,50 kW, Segundo Piso (P2) con 25,00 kW, Tercer Piso (P3) con 16,90 kW y Parte Exterior (PE) con 2,90 kW; como se visualiza en la siguiente **Figura 19**.

Figura 19

Potencia instalada según los niveles de la Planta

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA					
CAPACIDAD INSTALADA					
Ubicación:		PMQ EPMAPS - BELLAVISTA			
Hora inicio:	07h00	Hora final:	15h30	Inspección:	008/012
Instrumentos:			Fichas digitales, bolígrafo		
Fecha de ejecución:		07 de Oct 2021			
Potencia instalada según los niveles de la planta					
Nivel	Potencia instalada según los niveles (W)		Potencia instalada según los niveles (kW)		
Subsuelo - SB	209589,5		209,6		
Planta baja - PB	312721,1		312,7		
Primer piso - P1	235540,5		235,5		
Segundo piso - P2	25032,8		25,0		
Tercer piso - P3	16863,4		16,9		
Parte exterior - PE	2875,0		2,9		
TOTAL	802622,3		802,62		

Nota. La figura representa la potencia instalada según los niveles de la Planta.

De acuerdo a la **Figura 20** se determina que la potencia total instalada es de 802,62 kW, y en base al diagrama el Subsuelo (SB) representa el 26,1%, Planta Baja (PB) representa el 39,0%, Primer Piso (P1) representa el 29,3%, Segundo Piso (P2) representa el 3,1%, Tercer Piso (P3) representa el 2,1% y Parte Exterior (PE) representa el 0,4%; cada uno respecto a la potencia total instalada. En conclusión, se puede interpretar de acuerdo a los porcentajes representativos que la Planta Baja (PB) es el de mayor potencia instalada en la planta y seguido por el Primer Piso (P1).

Figura 20

Potencia instalada según los niveles de la Planta



Nota. La figura representa Potencia instalada según los niveles de la Planta.

4.4.3. Según las áreas de la planta

La distribución de la potencia instalada según las áreas de cada nivel de la planta, se tiene a treinta y cuatro áreas con su respectiva potencia; como se visualiza en la siguiente **Figura 21**.

Figura 21

Potencia instalada según las áreas de la Planta

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA					
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA					
INGENIERÍA ELECTROMEQUÍNICA					
CAPACIDAD INSTALADA					
Ubicación:		Parque Metropolitano de Quito EPMAPS - BELLAVISTA			
Hora inicio:	07h00	Hora final:	15h30	Inspección:	009/012
Instrumentos:		Fichas digitales, bolígrafo			
Fecha de ejecución:		07 de Oct 2021			
Potencia instalada según las áreas de la planta					
Nivel	Áreas	Potencia instalada (W)			Potencia por áreas (W)
		[EP]	[SI]	[EO]	
SB	Sala de bombas	207766,50	774,40	0,00	208540,90
	Túnel de barras	176,00	588,20	0,00	764,20
	Válvulas	22,00	262,40	0,00	284,40
PB	Sala de aire comprimido	253570,00	960,00	0,00	254530,00
	Sala de dosificación reactivos	3140,00	1114,60	0,00	4254,60
	Taller de mantenimiento	42438,50	1926,40	450,00	44814,90
	Estación de desinfección	4625,20	3456,00	0,00	8081,20
	Pasillos	0,00	236,20	0,00	236,20
	Baños	0,00	640,00	0,00	640,00
	Sala de recepción	0,00	164,20	0,00	164,20
P1	Sala carbón activado	746,00	411,60	0,00	1157,60
	Sala de mezcladores	12238,00	286,00	0,00	12524,00
	Piscinas de tratamiento	19613,00	256,00	0,00	19869,00
	Estación de filtración	440,00	0,00	0,00	440,00
	Centro de control de motores	0,00	515,20	0,00	515,20
	Pasillos	0,00	606,40	0,00	606,40
	Laboratorio químico	152333,33	840,00	3881,00	157054,33
	Captaciones y conducciones	0,00	1040,00	20250,00	21290,00
	Baños	0,00	128,00	3000,00	3128,00
	Jefatura de lab químico	0,00	360,00	18000,00	18360,00
P2	Archivos de producción	0,00	96,00	500,00	596,00
	Sala con tolvas de polvillo	0,00	1075,40	0,00	1075,40
	Sala de sulfato de aluminio	2238,00	32,00	0,00	2270,00
	Cafetería	0,00	160,00	2150,00	2310,00
	Baño	0,00	160,00	3000,00	3160,00
	Jefatura del sistema Bellavista	0,00	768,00	1800,00	2568,00
	Sala de control	0,00	768,00	7259,00	8027,00
	Pasillos	0,00	1254,40	0,00	1254,40
	Laboratorio electrónico	0,00	384,00	1550,00	1934,00
	Archivo técnico	0,00	96,00	250,00	346,00
P3	Departamento de producción	0,00	288,00	1800,00	2088,00
	Oficinas múltiples	0,00	2170,40	11437,00	13607,40
PE	Baños	0,00	256,00	3000,00	3256,00
	Bodega & Cámara de transf.	0,00	2176,00	699,00	2875,00
TOTAL (W)		699346,53	24249,80	79026,00	802622,33
TOTAL (kW)					802,62

Nota. La figura representa la potencia instalada según las áreas de la Planta.

De acuerdo a la **Figura 22** se determina que la potencia total instalada es de 802,62 kW. En conclusión, en base al diagrama se puede interpretar de acuerdo a los porcentajes representativos que la sala de aire comprimido es el de mayor potencia instalada con el 31,71%, continuado con la sala de bombas con el 25,98%, seguido el

laboratorio químico con el 19,57%, posterior el taller de mantenimiento con el 5,58%; cada uno respecto a la potencia total instalada; razón por la que la sala de aire comprimido y de bombas disponen de activos de capacidad alta mientras que el laboratorio y el taller presentan una gran cantidad de equipos en particular.

Figura 22

Potencia instalada según las áreas de la Planta



Nota. La figura representa la potencia instalada según las áreas de la Planta.

4.5. Facturación de la energía eléctrica de la EPMAPS Bellavista

De acuerdo a los registros facturados por la empresa y recolectados inicialmente para el respectivo estudio en la que fue emitido por la UMEP (**Anexo E**), se toma como referencia para el análisis durante el periodo del año 2021. A continuación, en la **Figura 23** se muestra cada uno de los datos para visualizar el comportamiento del consumo de energía eléctrica, demanda, factor de potencia y costo de planilla.

Figura 23*Historial de facturación de la planta Bellavista*

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA													
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA													
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA													
Ubicación:			UMEP del Departamento de Producción (Av. Mañosca & Mariscal Sucre)										
Hora inicio: 07h00		Hora final: 15h30		Inspección N°:					006/012				
Instrumentos:			Ficha, bolígrafo, pendrive										
Fecha de ejecución:		05 de Octubre del 2021											
DATOS DE FACTURACIÓN DE LA PLANTA BELLAVISTA - EPMAPS													
Año 2021													
Consumo													
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	
(kWh)													
72780,86	67509,21	80334,49	74116,91	74124,14	75097,09	77612,14	79122,04	78833,76	77530,53	72607,65	71460,00	901128,82	
(MWh)													
72,78	67,51	80,33	74,12	74,12	75,10	77,61	79,12	78,83	77,53	72,61	72,79	902,46	
Demanda (kW)													
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROM	
325,4	326,48	332,04	348,37	326,01	375,31	323,89	342,6	376,22	353,57	337,91	326,72	341,21	
Factor de Potencia													
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROM	
0,97	0,97	0,98	0,99	0,98	0,98	0,94	0,95	0,95	0,95	0,94	0,99	0,97	
Total Planilla EEQ (USD)													
ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL	
2097,91	2075,75	2123,38	2215,42	2080,09	2374,5	2066,63	2181,71	2384,48	2244,59	2145,87	2092,71	26083,04	

Nota. La figura representa el historial de facturación de la planta Bellavista. Tomado de: (UMEP de la Planta Bellavista, 2021)

4.5.1. Consumo eléctrico

De acuerdo a la **Figura 24** representativa se establece que en el lapso del año 2021 el consumo de energía eléctrica es de 75,21 MWh en promedio y un valor mayor de consumo en el mes de Marzo de 80,33 MWh, así mismo los meses que continúan con el mayor consumo son Agosto, Septiembre y Julio. Mientras que los meses de menor consumo son en Febrero, Diciembre y Noviembre esto debido a que dichos meses presentan feriados en la que los usuarios viajan y por ende la demanda de agua se reduce en la localidad. El consumo en el periodo de Abril a Diciembre presenta una variabilidad leve aproximada del 1,5%, mientras que de Enero a Abril la variabilidad es considerable con valores que oscilan de 7 - 15%; respecto a cada mes.

Figura 24

Consumo eléctrico en el año 2021



Nota. La figura representa el consumo eléctrico en el año 2021.

4.5.2. Demanda eléctrica

De acuerdo a la **Figura 25** representativa se establece que en el lapso del año 2021 la demanda de energía eléctrica es de 341,21 kW en promedio y un valor máximo de demanda de energía eléctrica en el mes de Septiembre de 376,22 kW, así mismo los meses que continúan son Junio y Octubre. La demanda en los meses de Mayo a Junio y de Agosto a Septiembre posee una variabilidad aproximada de 13%, mientras que en el resto de meses la variabilidad oscila de 0,3 – 7%; respecto a cada mes.

Figura 25

Demanda eléctrica en el año 2021



Nota. La figura representa la demanda eléctrica en el año 2021.

4.5.3. Factor de potencia

De acuerdo a la **Figura 26** representativa se establece que en el lapso del año 2021 el factor de potencia es de 0,97 en promedio y un valor mínimo de factor de potencia en el mes de Julio de 0,94, asimismo los meses que continúan con el menor factor de potencia son de Agosto a Noviembre. En conclusión, durante el periodo 2021 la Planta de Tratamiento de Agua de Bellavista cumple con la (Regulación ARCERNR No. 017/2020), ya que el factor de potencia en todos los meses del año se mantiene por encima del valor mínimo aceptable (0,92), por lo que no repercute en el costo de penalización por el incumplimiento. La variabilidad existente en los valores del factor de potencia oscila entre el 1% al 5%, en la que los meses de Diciembre a Junio los valores se mantienen altos y al contrario sucede en los meses de Julio a Noviembre.

Figura 26

Factor de potencia en el año 2021



Nota. La figura representa el factor de potencia en el año 2021.

4.5.4. Total de planilla

De acuerdo a la **Figura 27** siguiente se establece que en el lapso del año 2021 el costo de planilla por la energía eléctrica es de 2173,59 USD en promedio y un valor máximo de costo de planilla por la energía eléctrica en el mes de Septiembre de 2384,48 USD, asimismo los meses que continúan con el mayor costo de planilla son

Junio y Octubre. El costo de planilla en los meses de Mayo a Junio y de Agosto a Septiembre posee una variabilidad aproximada de 13%, mientras que en el resto de meses la variabilidad oscila de 1 – 6%; respecto a cada mes.

Figura 27

Costo de planilla en el año 2021



Nota. La figura representa el costo de planilla en el año 2021.

4.6. Tendencia de antigüedad de los activos

De acuerdo a la recopilación de información se analiza la tendencia del año de fabricación de cada uno de los activos para conocer la antigüedad de los mismos.

Los equipos de potencia son importantes porque corresponden a los procesos de tratamiento del agua y según el diagrama de tendencia **Figura 28**, se visualiza que en su mayoría dichos equipos poseen mayor antigüedad, años que se divisan desde 1983 a 1987, lo que es muy importante considerar este aspecto en cuanto a lo energético; en cuanto a los otros equipos restantes de potencia como los equipos de mantenimiento, extractores - ventiladores, etc. se encuentran por los años 1995 al 2000.

Asimismo, en el año 2002 existió una actualización en lo que concierne a las bombas de dosificación de sulfato de aluminio por bombas de menor capacidad ya que se encontraba con un valor sobredimensionado, lo cual repercutían el consumo eléctrico. Todos estos activos forman parte del grupo de tecnología de los años 80 que

a pesar de sus años de operación aún continúan funcionando, razón por la que ejecutan planes de mantenimiento apropiado. En cuanto a los activos como los compresores, secador de aire y otros equipos que se encuentran por los años del 2006 al 2010, tienen una tendencia actualizada, que literalmente se hallan en un estado tolerable para el funcionamiento correspondiente en cada proceso, ya que la mayoría de industrias se manejan con equipamientos de aquellos años y se encuentran dentro de la vida útil de la maquinaria industrial esto bajo el fundamento de (Mejía, 2018).

Figura 28

Tendencia de antigüedad de los activos



Nota. La figura representa los años de fabricación de los activos para conocer la antigüedad de los mismos.

4.7. Sistema de iluminación

El sistema de iluminación de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS – Bellavista presenta varias lámparas en todas las instalaciones, así como diferentes marcas, tipos o tecnologías, con el fin de velar las necesidades de iluminación en cada área de trabajo. En la **Figura 29** se muestra los tipos de lámparas que presenta la planta Bellavista.

Figura 29

Tipos de lámparas que presenta la planta EPMAPS – Bellavista

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA							
DESCRIPCIÓN DE LOS TIPOS DE LÁMPARAS							
Ubicación:	Parque Metropolitano de Quito EPMAPS - BELLAVISTA						
Hora inicio:	07h00	Hora final:	15h30	Inspección:	004/012		
Instrumentos:	Ficha para registro de datos, Bolígrafo, Cámara (fotografías)						
Fecha de ejecución:	04 de Octubre del 2021						
Tipos de lámparas							
Lámpara tipo	Longitud de lamp. (cm)	Marca	Potencia (W)	Alimentación (V)	Vida útil (h)	Flujo luminoso (lm)	Temperatura de color (K)
Fluorescente	120	Sylvania	32	100-240	36000	2100	6500
Emergencia led	30	Sylvania	1,6	120 - 277	25000	540	6000
Foco estándar	---	Sylvania	9	110 - 240	8000	980	6000
Fluorescente	120	Philips	40	100-240	24000	2900	6500
Fluorescente	240	Philips	105	100-241	24000	4500	6000
Ahorrador	---	Sylvania	23	110 - 240	8000	1280	6500
Foco ovoide cálido	---	Hailde	400	100-240	15000	36000	4200
Foco comp. cubierta	---	Sylvania	9	110 - 240	8000	980	6500
Fluorescente	60	Magnum	17	100-240	15000	1140	6500
Foco ovoide incand.	---	MH	150	100-240	15000	12000	4200
Ahorrador	---	Sylvania	85	110 - 240	12000	5100	6500

Nota. La figura presenta los tipos de lámparas que dispone la planta Bellavista.

La cantidad de luminarias es considerado importante en el momento del estudio energético, por lo que consume un porcentaje de energía, para lo cual es necesario un diagnóstico general del sistema de iluminación, centrándose en el uso (tiempo de funcionamiento) y el tipo de tecnología que utilizan en las distintas zonas; debido a que el objetivo del proyecto de investigación es proponer posibles alternativas de eficiencia para lograr un ahorro energético.

La distribución de las diferentes lámparas en cada una de las áreas se presenta en la **Figura 30** y se puede visualizar que las lámparas que preponderan son tubos fluorescentes en la que tiene potencias de 32 W, 40 W, 17 W y 105 W, en algunos sitios presentan focos ahorradores de 23 W y 85 W e incandescentes de 150 W y HID de 400 W; por lo que es un escenario importante para efectuar alternativas de eficiencia energética. Cabe mencionar que en ciertos espacios disponen de focos led incluyendo las lámparas de emergencia, siendo dichos aparatos eficientes. La potencia total instalada referente al sistema de iluminación es de 24249,8 W en la Empresa Pública

Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS – Bellavista, por lo que representa el 8,30% del porcentaje total de consumo energético en la planta Bellavista.

Figura 30

Cantidad y tipo de lámparas en las áreas de la Planta Bellavista

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA																			
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA																			
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA																			
CUANTIFICACIÓN DE LÁMPARAS																			
Ubicación:		Parque Metropolitano de Quito EPMAPS - BELLAVISTA																	
Hora inicio:		07h00				Hora final:				15h30				Inspección:				005/012	
Instrumentos:		Ficha digital, bolígrafo																	
Fecha de ejecución:		04 de Octubre del 2021																	
Cuantificación de los tipos de lámparas de cada área																			
Nivel	Áreas	Lámpara fluorescente 6500 K	Lámpara fluorescente 6500 K	Lámpara fluorescente 6500 K	Lámpara fluorescente 6500 K	Lámpara fluorescente 6000 K	Lámpara fluorescente 6000 K	Lámpara fluorescente 6500 K	Lámpara fluorescente 6500 K	Lámpara fluorescente 6000 K	Foco ovalde. halid. 4200 K	Foco ovalde. incand. 4200 K	Foco estándar comp. 6000 K	Foco comp. cubierta 6500 K	Foco ahorrador 6000 K	Foco ahorrador 6500 K	Lámpara de vapor halid.	Potencia por área (W)	Potencia por nivel (W)
		2 x 32 W (120 cm)	3 x 32 W (120 cm)	4 x 32 W (120 cm)	4 x 32 W (120 cm)	2 x 40 W (120 cm)	3 x 40 W (120 cm)	4 x 40 W (120 cm)	2 x 105 W (240 cm)	4200 W	4200 W	150 W	9W	9W	23W	83W	2 x 1,6 W		
SB	Sala de bombas	3	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	774,4	1625
	Túnel de barros	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	588,2	
	Válvulas	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	262,4	
PB	Sala de aire comprimido	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	960	8497,4
	Sala de dosificación reactivos	0	0	0	0	2	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	3	1114,6	
	Taller de mantenimiento	0	0	0	0	8	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1926,4	
	Estación de desinfección	0	0	2	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	3456	
	Pasillos	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	236,2	
	Baños	1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	640	
P1	Sala de recepción	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	1	164,2	4539,2	
	Sala carbón activado	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	3	411,6		
	Sala de mezcladores	0	0	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	286		
	Piscinas de tratamiento	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256		
	Estación de filtración	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	Centro de control de motores	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	515,2		
	Pasillos	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	2	606,4		
	Laboratorio químico	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		840
	Captaciones y conducciones	0	0	0	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		1040
	Baños	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		128
	Jefatura de lab químico	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		360
Archivos de producción	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96		
P2	Sala con tolvas de polvillo	0	0	0	0	2	0	0	6	0	0	0	0	3	0	2	1075,4	4985,8	
	Sala del sistema de dosificación	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32		
	Cafetería	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160		
	Baño	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	160		
	Jefatura del sistema Bellavista	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	768		
	Sala de control	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	768		
	Pasillos	0	14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1254,4		
	Laboratorio electrónico	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	384		
Archivo técnico	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	96		
P3	Departamento de producción	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	288	2426,4	
	Oficinas múltiples	20	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	2	2170,4		
PE	Baños	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	256	2176	
	Bodega & Cámara de transf.	34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2176		
TOTAL		94	53	10	10	27	17	15	13	8	1	2	2	11	4	24	24249,8	24249,8	

Nota. La figura representa la cuantificación de lámparas de la Planta Bellavista.

4.8. Consumo teórico de energía eléctrica

De acuerdo con el levantamiento de cargas con las que cuenta la Planta Bellavista de la EPMAPS se logra obtener el consumo teórico de energía de manera distribuida como se mencionó en el apartado 3.8.2.

4.8.1. Según la aplicación del uso de energía

La distribución del consumo teórico de energía eléctrica según la aplicación del uso eléctrico en la Planta Bellavista, se tiene a Equipos de Potencia (EP) con 75181,80 kWh/mes, Sistema de Iluminación (SI) con 6965,80 kWh/mes y Equipos de Oficina (EO) con 1788,80 kWh/mes; como se visualiza en la **Figura 31**.

Figura 31

Consumo teórico según la aplicación del uso eléctrico

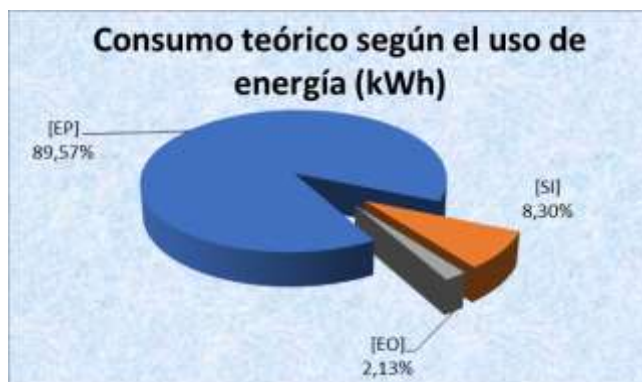
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMEQUÍCA					
CONSUMO TEÓRICO					
Ubicación:			PMQ EPMAPS - BELLAVISTA		
Hora inicio:	07h00	Hora final:	15h30	Inspección:	010/012
Instrumentos:			Fichas digitales, bolígrafo		
Fecha de ejecución:		08 de Oct 2021			
Consumo teórico según el uso de energía (kWh)					
		[EP]	[SI]	[EO]	
		75181,8	6965,8	1788,8	
TOTAL (kW)		83936,33			

Nota. La figura representa el consumo teórico según el uso eléctrico.

De acuerdo a la **Figura 32** se determina que el consumo teórico de energía total es de 83936,33 kWh al mes, y en base al diagrama los Equipos de Potencia (EP) representan el 89,57%, los Equipos de Oficina (EO) representan el 2,13% y el Sistema de Iluminación (SI) representan el 8,30%; cada uno respecto consumo teórico total. En conclusión, se puede interpretar de acuerdo a los porcentajes representativos que los Equipos de Potencia (EP) son los de mayor consumo de energía en la planta Bellavista, seguido por el Sistema de Iluminación (SI).

Figura 32

Consumo teórico según la aplicación del uso eléctrico



Nota. La figura representa el consumo teórico según el uso eléctrico.

4.8.2. Según los niveles de la planta

La distribución del consumo teórico de energía eléctrica según los niveles de la Planta Bellavista, se tiene a Subsuelo (SB) con 18688,00 kWh/mes, Planta Baja (PB) con 35728,30 kWh/mes, Primer Piso (P1) con 24873,5 kWh/mes, Segundo Piso (P2) con 3921,00 kWh/mes, Tercer Piso (P3) con 662,60 kWh/mes y Parte Exterior (PE) con 62,80 kWh/mes; como se visualiza en la **Figura 33**.

Figura 33

Consumo teórico según los niveles de la Planta

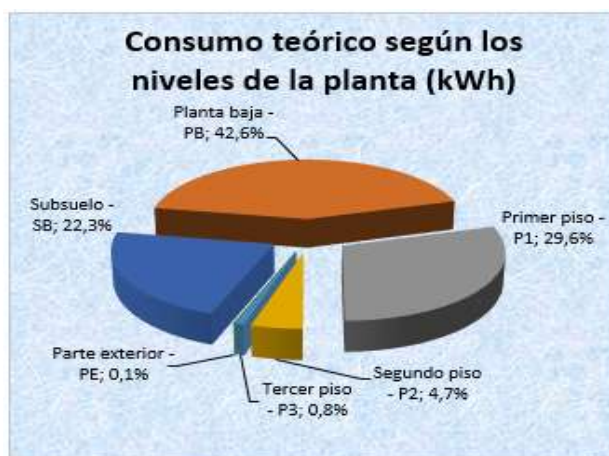
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA					
CONSUMO TEÓRICO					
Ubicación:			PMQ EPMAPS - BELLAVISTA		
Hora inicio:	07h00	Hora final:	15h30	Inspección:	011/012
Instrumentos:			Fichas digitales, bolígrafo		
Fecha de ejecución:		08 de Oct 2021			
Consumo teórico según los niveles de la planta					
Nivel	Consumo teórico (kWh)		Consumo teórico (MWh)		
Subsuelo - SB	18688,0		18,69		
Planta baja - PB	35728,3		35,73		
Primer piso - P1	24873,5		24,87		
Segundo piso - P2	3921,0		3,92		
Tercer piso - P3	662,6		0,66		
Parte exterior - PE	62,8		0,06		
TOTAL	83936,3		83,94		

Nota. La figura representa el consumo teórico según los niveles de la Planta.

De acuerdo a la **Figura 34** se determina que consumo teórico de energía total es de 83936,3 kWh al mes, y en base al diagrama el Subsuelo (SB) representa el 22,3%, Planta Baja (PB) representa el 42,6%, Primer Piso (P1) representa el 29,6%, Segundo Piso (P2) representa el 4,7%, Tercer Piso (P3) representa el 0,8% y Parte Exterior (PE) representa el 0,1%; cada uno respecto al consumo teórico total. En conclusión, se puede interpretar de acuerdo a los porcentajes representativos que la Planta baja (PB) es el de mayor consumo de energía en la planta Bellavista y seguido por el Primer piso (P1) y Subsuelo (SB).

Figura 34

Consumo teórico según los niveles de la Planta



Nota. La figura representa el consumo teórico según los niveles de la Planta.

4.8.3. Según las áreas de la planta

La distribución del consumo teórico de energía eléctrica según las áreas de cada nivel de la Planta Bellavista, se tiene a treinta y cuatro áreas con su respectivo consumo teórico; como se visualiza en la **Figura 35**.

Figura 35

Consumo teórico según las áreas de la Planta

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA					
DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA					
INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA					
CONSUMO TEÓRICO					
Ubicación:		Parque Metropolitano de Quito EPMAPS - BELLAVISTA			
Hora inicio:	07h00	Hora final:	15h30	Inspección:	012/012
Instrumentos:		Fichas digitales, bolígrafo			
Fecha de ejecución:		07 de Oct 2021			
Consumo según las áreas de la planta					
Nivel	Áreas	Consumo (kWh/mes)			Consumo por áreas (kWh/mes)
		[EP]	[SI]	[EO]	
SB	Sala de bombas	17470,51	557,57	0,00	18028,07
	Túnel de barras	31,68	423,50	0,00	455,18
	Válvulas	15,84	188,93	0,00	204,77
PB	Sala de aire comprimido	32545,20	460,80	0,00	33006,00
	Sala de dosificación reactivos	1108,62	265,20	0,00	1373,82
	Taller de mantenimiento	4,65	921,60	2,24	928,48
	Estación de desinfección	30,32	99,84	0,00	130,16
	Pasillos	0,00	167,76	0,00	167,76
	Baños	0,00	44,80	0,00	44,80
	Sala de recepción	0,00	77,28	0,00	77,28
P1	Sala carbón activado	0,30	50,40	0,00	50,70
	Sala de mezcladores	10200,07	48,96	0,00	10249,03
	Piscinas de tratamiento	11235,30	92,16	0,00	11327,46
	Estación de filtración	31,02	0,00	0,00	31,02
	Centro de control de motores	0,00	368,64	0,00	368,64
	Pasillos	0,00	432,00	0,00	432,00
	Laboratorio químico	1434,00	100,80	75,26	1610,06
	Captaciones y conducciones	0,00	166,40	201,93	368,33
	Baños	0,00	19,20	15,00	34,20
	Jefatura de lab químico	0,00	14,40	360,00	374,40
	Archivos de producción	0,00	7,68	20,00	27,68
P2	Sala con tolvas de polvillo	0,00	256,56	0,00	256,56
	Sala de sulfato de aluminio	1074,24	23,04	0,00	1097,28
	Cafetería	0,00	3,20	1,50	4,70
	Baño	0,00	115,20	22,50	137,70
	Jefatura del sistema Bellavista	0,00	122,88	60,08	182,96
	Sala de control	0,00	552,96	646,80	1199,76
	Pasillos	0,00	898,56	0,00	898,56
	Laboratorio electrónico	0,00	23,04	6,20	29,24
P3	Oficinas múltiples	0,00	319,04	287,63	606,67
	Baños	0,00	40,96	15,00	55,96
PE	Bodega & Cámara de transf.	0,00	50,56	12,24	62,80
TOTAL		75181,75	6965,76	1788,82	83936,33
					83,94

Nota. La figura representa el Consumo teórico según las áreas de la Planta.

De acuerdo a la **Figura 36** siguiente se determina que el consumo total de energía eléctrica es de 83936,33 kWh al mes. En conclusión, en base al diagrama se puede interpretar de acuerdo a los porcentajes representativos que el área de Sala de aire comprimido es el de mayor consumo de energía con el 39,32%, seguido de Sala de bombas con el 21,48%, continuado con Piscinas de tratamiento con el 13,50% y

finalmente la Sala de mezcladores con el 12,21%; cada uno respecto al consumo teórico total. Razón por la que estas áreas concentran una elevada capacidad en sus activos y continuamente pasan en funcionamiento todos los días del año.

Figura 36

Consumo teórico según las áreas de la Planta



Nota. La figura representa el consumo teórico según las áreas de la Planta.

En base al consumo teórico de energía eléctrica obtenido en este apartado, en la que se sumó todos los componentes, áreas y niveles, dando como resultado el consumo teórico total de la Planta Bellavista se procede a comparar con el valor de consumo registrado por la empresa distribuidora en la facturación de energía eléctrica como se visualiza en la **Tabla 15**; tomando en consideración el mes de Octubre del año 2021, periodo en el que se ejecuta el estudio pertinente.

Tabla 15

Consumo teórico total de energía eléctrica de la Planta Bellavista

Variable	Valor teórico	Valor registrado
<i>Energía kWh / mes</i>	<i>83936,33</i>	<i>77530,53</i>

Nota. La tabla presenta la comparación del consumo de energía eléctrica de la Planta.

Según la tabla podemos visualizar que los valores del consumo total de energía eléctrica en (kWh/mes) presenta una diferencia entre el valor obtenido respecto al valor registrado en la factura eléctrica del 7,63% aproximadamente, el valor diferencial suscita por la que el levantamiento de carga se considera tiempos de operación excedidos razón por la que en algunas ocasiones se originan eventualidades en la que el tiempo de operación de procesos en específico se incrementa, es decir se considera un escenario extremo, para lo cual el valor diferencial sería aceptable para esta validación. Además, por medio de la UMEP se conoce el volumen de agua entregado en el mes de Octubre de 6455280 m³ lo que da paso a obtener un índice energético de 0,011 kWh/m³.

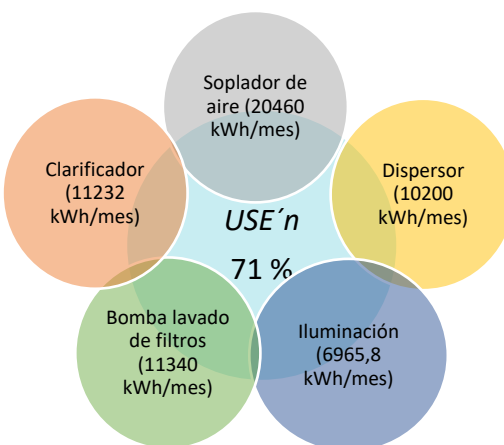
4.9. Usos significativos de energía (USE´n) de la Planta Bellavista

De acuerdo al análisis se determina que las zonas designadas como críticas son las que poseen el mayor consumo de energía de las instalaciones de la Planta de Bellavista (**Figura 37**); bajo este contexto se encuentran los sopladores, clarificadores, bombas de lavado y dispersores lo que corresponden a los USE´n de acuerdo a la norma (ISO-50006, 2014), incluyendo el sistema de iluminación. Dichos equipos fueron tomados en cuenta para el análisis ya que en primera instancia son equipos de alta potencia y operan constantemente por lo que generan un consumo elevado de energía, además los mismos forman parte de los equipos de tecnología de los años 80 según el análisis de tendencia de antigüedad por lo que es necesario conocer el estado en que se encuentran operando ya que de acuerdo a (Izar, 2017) los equipos de tecnología de aquellos años tienen una eficiencia baja en comparación a los equipos de tecnología moderna y además con el pasar del tiempo tiende a disminuir por su vida útil lo que conlleva a un consumo energético desfavorable o a un continuo mantenimiento u otras problemáticas. En segunda instancia en dar cumplimiento con la sugerencia impartida por parte del personal de la planta, en la que coincide el soplador y la bomba de lavado

de filtros como las dos máquinas sugeridas a analizar para conocer el estado en la que se encuentran operando.

Figura 37

Usos significativos de energía de la Planta Bellavista.



Nota. En la figura se encuentran los equipos considerados como usos significativos de energía con un porcentaje de consumo del 71% respecto al total.

4.10. Medición de variables eléctricas

El proceso de medición de las variables eléctricas mediante el analizador de redes AEMC 3945, configurado para un periodo de siete días consecutivos y con mediciones en intervalos de 10 minutos, como lo establece la (Regulación ARCERNR No. 017/2020). Los valores que registra el analizador de redes AEMC 3945 de cada variable eléctrica son valores máximo, promedio y mínimo, en la que las mediciones promedias expresan el valor de predisposición frecuente y las mediciones calificadas como perjudiciales son las mínimas y máximas, a pesar de ser incidentes de breve periodo de tiempo. Las variables eléctricas registradas son: voltaje, corriente, frecuencia, potencia activa, aparente, reactiva, energía, factor de potencia y THD de

corriente. A continuación, se detalla los resultados estadísticos, correspondientes a las mediciones efectuadas en el secundario del transformador que alimenta la planta.

4.10.1. Transformador

4.10.1.1. Voltaje Transformador.

La **Tabla 16** permite visualizar los valores máximos, promedio, mínimo de los voltajes y la **Figura 38** su comportamiento.

Tabla 16

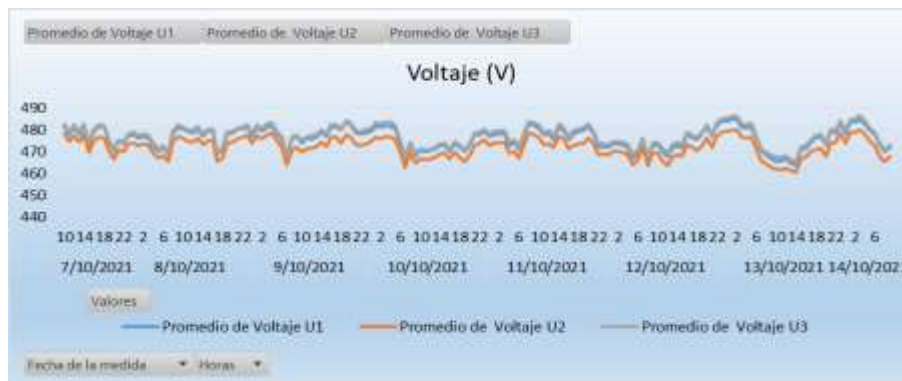
Voltaje máx, promedio y mín. [V]

Voltaje	L₁L₂	L₂L₃	L₃L₁
<i>Max.</i>	486,10	481,10	487,80
<i>Prom.</i>	476,45	472,13	477,61
<i>Min</i>	458,60	457,00	459,80

Nota. La tabla presenta los valores de los voltajes.

Figura 38

Comportamiento de los voltajes vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de los voltajes.

Los datos obtenidos de voltaje en la L₁L₂ son 486,1V como máximo producido el 13/10/2021 a las 2:30:00 y 458,6V como mínimo producido el 12/10/2021 a las 8:20:00. L₂L₃ son 481,1V como máximo producido el 13/10/2021 a las 2:30:00 y 457,0V como mínimo producido el 12/10/2021 a las 8:20:00. L₃L₁ son 487,8V como máximo producido

el 13/10/2021 a las 2:30:00 y 459,8V como mínimo producido el 12/10/2021 a las 8:20:00.

4.10.1.2. Corriente Transformador.

La **Tabla 17** permite visualizar los valores máximos, promedio, mínimo de las corrientes y la **Figura 39** su comportamiento.

Tabla 17

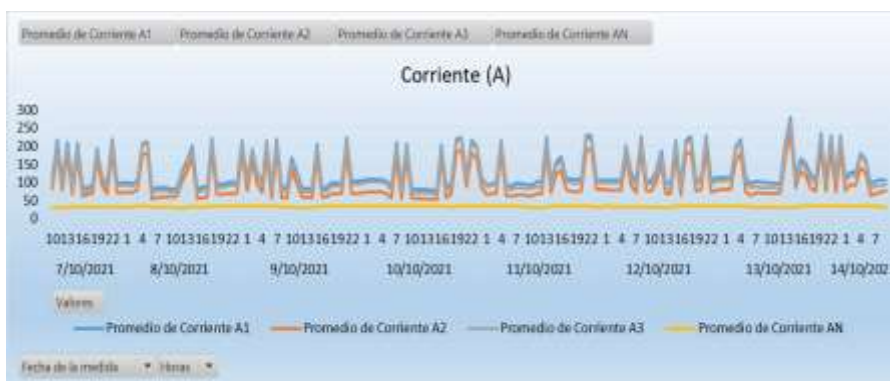
Corriente máx, promedio y mín. [A]

Corriente	L₁	L₂	L₃	N
<i>Max.</i>	<i>487,60</i>	<i>444,30</i>	<i>483,00</i>	<i>37,80</i>
<i>Prom.</i>	<i>130,97</i>	<i>99,48</i>	<i>121,62</i>	<i>33,07</i>
<i>Min</i>	<i>74,00</i>	<i>49,10</i>	<i>64,60</i>	<i>29,60</i>

Nota. La tabla presenta los valores de las corrientes.

Figura 39

Comportamiento de las corrientes vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de las corrientes.

Los datos obtenidos de corriente en la línea 1 son 487,60A como máximo producido el 12/10/2021 a las 8:20:00 y 74A como mínimo producido el 10/10/2021 a las 15:50:00. Línea 2 son 444,30A como máximo producido el 11/10/2021 a las 8:20:00 y 49,10A como mínimo producido el 10/10/2021 a las 15:40:00. Línea 3 son 483A como máximo producido el 12/10/2021 a las 8:20:00 y 64,60A como mínimo producido el

10/10/2021 a las 15:50:00. Línea N son 37,80A como máximo producido el 10/10/2021 a las 23:40:00 y 29,60A como mínimo producido el 9/10/2021 a las 13:30:00.

4.10.1.3. Frecuencia Transformador.

La **Tabla 18** permite visualizar los valores máximos, promedio, mínimo de la frecuencia y la **Figura 40** su comportamiento.

Tabla 18

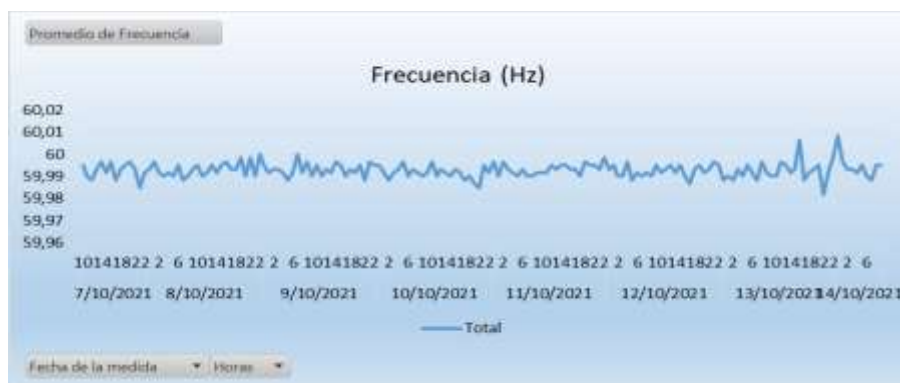
Frecuencia máx, promedio y mín. [Hz]

<i>Frecuencia</i>	<i>Hz</i>
<i>Max.</i>	<i>60,07</i>
<i>Prom.</i>	<i>59,99</i>
<i>Min</i>	<i>59,94</i>

Nota. La tabla presenta los valores de frecuencia.

Figura 40

Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de la frecuencia.

Los datos obtenidos de frecuencia son 60,07Hz como máximo producido el 14/10/2021 a las 00:00:00 y 59,94Hz como mínimo producido el 07/10/2021 a las 22:00:00.

4.10.1.4. Potencia Transformador.

La **Tabla 19** permite visualizar los valores máximos, promedio, mínimo de las potencias consumidas por las cargas y la **Figura 41** muestra su comportamiento.

Tabla 19

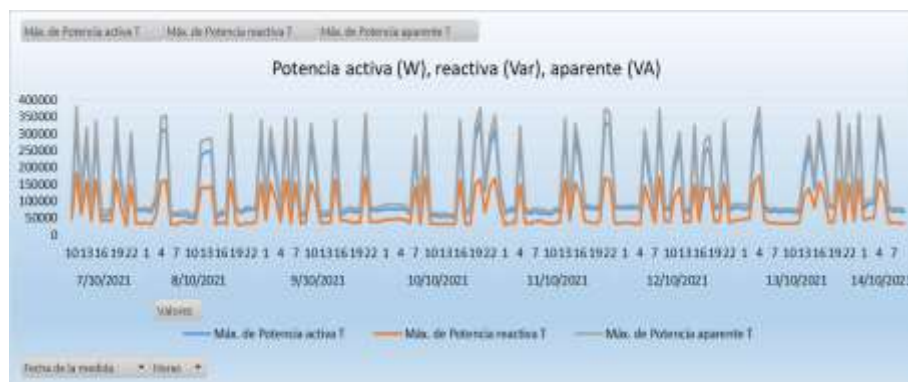
Potencia máx, promedio y mín. [W]; [Var]; [VA]

Pot. activa	L₁	L₂	L₃	Total
<i>Max.</i>	116375,25	105140,84	116551,81	338067,91
<i>Prom.</i>	31922,98	23401,54	29068,68	84393,19
<i>Min</i>	18174,52	10663,98	14849,47	43966,01
Pot. reactiva	L₁	L₂	L₃	Total
<i>Max.</i>	65034,03	56799,08	61069,04	182902,14
<i>Prom.</i>	16505,45	13211,12	15833,54	45550,11
<i>Min</i>	7602,94	-3220,47	7948,45	18089,99
Pot. aparente	L₁	L₂	L₃	Total
<i>Max.</i>	132481,47	117991,53	130155,32	379940,13
<i>Prom.</i>	36050,58	27076,02	33196,00	96322,60
<i>Min</i>	20320,29	13352,44	17567,52	51712,32

Nota. La tabla presenta los valores de las potencias.

Figura 41

Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de las potencias.

Los datos obtenidos de potencia activa total son 338067,91W como máximo producido el 10/10/2021 a las 8:40:00 y 43966,01W como mínimo producido el 10/10/2021 a las 14:40:00. Potencia reactiva total son 182902,14var como máximo producido el 7/10/2021 a las 11:40:00 y 18089,99var como mínimo producido el 11/10/2021 a las 10:20:00. Potencia aparente total son 379940,13VA como máximo producido el 7/10/2021 a las 11:40:00 y 51712,32VA como mínimo producido el 11/10/2021 a las 14:00:00.

4.10.1.5. Energía Transformador.

La **Tabla 20** permite visualizar el valor de la energía y la **Figura 42** su comportamiento. Se tiene la energía de 14156 kWh consumida en la semana de medición.

Tabla 20

Energía máx., promedio y mín. [Wh]

Energía	L₁	L₂	L₃	Total
<i>Max.</i>	5354968,63	3925263,07	4875478,32	14155710,02

Nota. La tabla presenta los valores de energía.

Figura 42

Comportamiento de la energía vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de energía.

4.10.1.6. Factor de potencia Transformador.

La **Tabla 21** permite visualizar los valores máximo, promedio y mínimo los factores de potencia y la **Figura 43** su comportamiento.

Tabla 21

Factor de potencia (FP) máx, promedio y mín.

FP	L₁	L₂	L₃	T Prom
<i>Max.</i>	<i>0,95</i>	<i>0,97</i>	<i>0,94</i>	<i>0,95</i>
<i>Prom.</i>	<i>0,89</i>	<i>0,86</i>	<i>0,88</i>	<i>0,88</i>
<i>Min</i>	<i>0,82</i>	<i>0,63</i>	<i>0,79</i>	<i>0,75</i>

Nota. La tabla presenta los valores de los factores de potencia.

Figura 43

Comportamiento de los factores de potencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de los factores de potencia.

Los datos obtenidos de factor de potencia en la línea 1 son 0,95 como máximo producido el 1/10/2021 a las 20:20:00 y 0,82 como mínimo producido el 7/10/2021 a las 17:30:00. Línea 2 son 0,97 como máximo producido el 1/10/2021 a las 20:20:00 y 0,63 como mínimo producido el 7/10/2021 a las 17:10:00. Línea 3 son 0,94 como máximo producido el 13/10/2021 a las 18:20:00 y 0,79 como mínimo producido el 7/10/2021 a las 17:40:00.

4.10.1.7. THD de corriente Transformador.

La **Tabla 22** permite visualizar los valores promedio de los THD de corriente y la **Figura 44** su representación gráfica.

Tabla 22

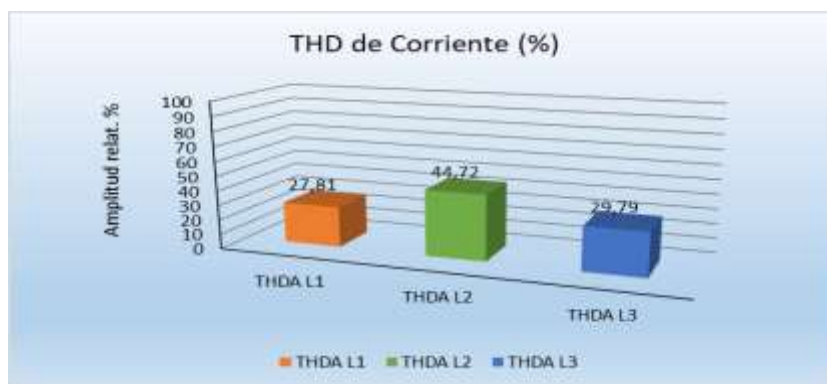
THD de corriente promedio [%]

THD A	L₁	L₂	L₃
<i>Prom.</i>	27,81	44,67	29,80

Nota. La tabla presenta los valores de los THD de corriente.

Figura 44

Representación de los THD de corriente



Nota. La figura muestra los porcentajes THD de corriente.

De acuerdo a los datos obtenidos de THDA en cada una de las líneas, se tiene un valor promedio de 30% aproximadamente en las líneas 1 y 3. En cambio en la línea 2 se tiene un valor promedio de 44% aproximadamente.

Posteriormente se realiza el proceso de medición de las variables eléctricas en las máquinas que corresponden a los usos significativos de energía de la planta Bellavista; a continuación, se detalla los resultados estadísticos correspondientes a las mediciones realizadas en cada tablero concernientes a las máquinas.

4.10.2. Dispensor

Los valores máximos, promedios y mínimos de las variables eléctricas (voltaje, corriente, frecuencia, potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia) obtenidas del dispensor se muestran en la **Tabla 23** y el comportamiento de cada variable se visualiza desde la **Figura 45** hasta la **Figura 49**.

Tabla 23

Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Dispensor

Variables	Máximo	Promedio	Mínimo	Unidad
<i>Voltaje L₁L₂</i>	<i>481,50</i>	<i>468,51</i>	<i>425,10</i>	<i>V</i>
<i>Voltaje L₂L₃</i>	<i>486,30</i>	<i>472,57</i>	<i>430,20</i>	<i>V</i>
<i>Voltaje L₃L₁</i>	<i>487,90</i>	<i>473,71</i>	<i>430,60</i>	<i>V</i>
<i>Corriente L₁</i>	<i>24,10</i>	<i>23,00</i>	<i>2,50</i>	<i>A</i>
<i>Corriente L₂</i>	<i>23,90</i>	<i>22,73</i>	<i>2,50</i>	<i>A</i>
<i>Corriente L₃</i>	<i>28,60</i>	<i>27,12</i>	<i>2,90</i>	<i>A</i>
<i>Corriente N</i>	<i>14,00</i>	<i>11,70</i>	<i>1,20</i>	<i>A</i>
<i>Frecuencia</i>	<i>60,06</i>	<i>59,99</i>	<i>59,93</i>	<i>Hz</i>
<i>Pot. Activa total</i>	<i>4601,50</i>	<i>4494,82</i>	<i>493,01</i>	<i>W</i>
<i>Pot. Reactiva total</i>	<i>20824,12</i>	<i>19350,18</i>	<i>2143,53</i>	<i>Var</i>
<i>Pot. Aparente total</i>	<i>21358,51</i>	<i>19898,69</i>	<i>2202,19</i>	<i>VA</i>
<i>Factor de potencia</i>	<i>0,27</i>	<i>0,23</i>	<i>0,21</i>	<i>-</i>

Nota. La tabla presenta los valores de las variables eléctricas.

Figura 45

Comportamiento de los voltajes vs tiempo real

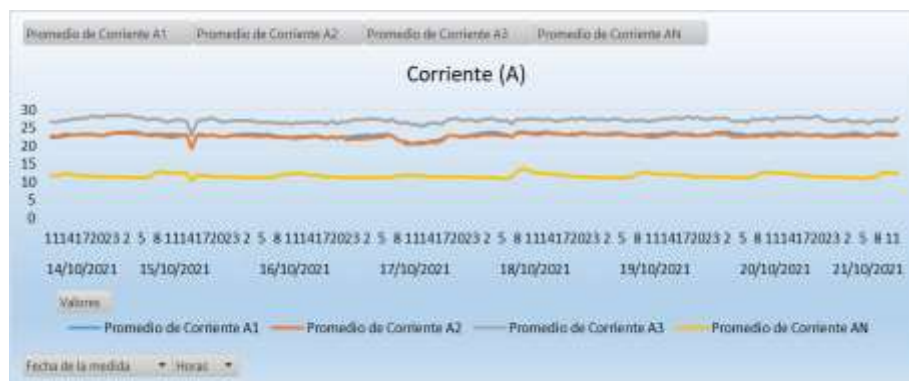


Nota. La figura muestra el comportamiento de los voltajes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de voltaje son L_1L_2 tiene como 481,50V como máximo producido el 15/10/2021 a las 3:10:00, 425,10V como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:30:00. En L_2L_3 tiene 486,30V como máximo producido el 15/10/2021 a las 2:10:00, 430,20V como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:30:00. En L_3L_1 tiene 487,90V como máximo producido el 15/10/2021 a las 2:10:00, 430,60V como mínimo producido el 17/10/2021 a las 13:40:00.

Figura 46

Comportamiento de las corrientes vs tiempo real

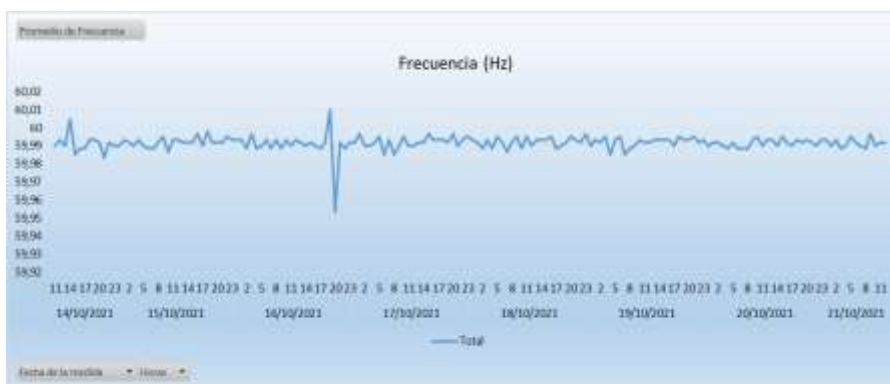


Nota. La figura muestra el comportamiento de las corrientes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de corriente en la línea 1 son 24,10A como máximo producido el 18/10/2021 a las 9:10:00 y 2,50A como mínimo producido el 15/10/2021 a las 15:30:00. En la línea 2 muestra 23,90A como máximo producido el 18/10/2021 a las 9:20:00 y 2,50A como mínimo producido el 15/10/2021 a las 15:30:00. En la línea 3 muestra 28,60A como máximo producido el 15/10/2021 a las 2:10:00 y 2,90A como mínimo producido el 15/10/2021 a las 15:30:00. Los datos obtenidos de corriente en el Neutro muestra 14,00A como máximo producido el 18/10/2021 a las 9:50:00 y 1,20A como mínimo producido el 15/10/2021 a las 15:30:00.

Figura 47

Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos de frecuencia son 60,06Hz como máximo producido el 14/10/2021 a las 14:40:00 y 59,93Hz como mínimo producido el 16/10/2021 a las 20:40:00.

Figura 48

Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de las potencias vs tiempo real.

Los datos obtenidos de potencia activa total son 4601,50W como máximo producido el 15/10/2021 a las 7:40:00 y 493,01W como mínimo producido el 15/10/2021 a las 15:30:00. La potencia reactiva total muestra 20824,12var como máximo producido el 15/10/2021 a las 2:10:00 y 2143,53var como mínimo producido el 15/10/2021 a las 15:30:00. La potencia aparente total muestra 21358,51VA como máximo producido el 15/10/2021 a las 2:10:00 y 2202,19VA como mínimo producido el 15/10/2021 a las 15:30:00.

Figura 49

Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos del factor de potencia son de 0,27 como máximo producido el 17/10/2021 a las 13:10:00 y de 0,21 como mínimo producido el 20/10/2021 a las 02:00:00.

4.10.3. Soplador

Los valores máximos, promedios y mínimos de las variables eléctricas (voltaje, corriente, frecuencia, potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia) obtenidas del soplador se muestran en la **Tabla 24** y el comportamiento de cada variable se visualiza desde la **Figura 50** hasta la **Figura 54**.

Tabla 24

Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Soplador

Variables	Máximo	Promedio	Mínimo	Unidad
<i>Voltaje L₁L₂</i>	<i>481,40</i>	<i>468,16</i>	<i>425,10</i>	<i>V</i>
<i>Voltaje L₂L₃</i>	<i>486,10</i>	<i>472,24</i>	<i>430,40</i>	<i>V</i>
<i>Voltaje L₃L₁</i>	<i>488,00</i>	<i>473,55</i>	<i>431,20</i>	<i>V</i>
<i>Corriente L₁</i>	<i>141,00</i>	<i>8,66</i>	<i>0,00</i>	<i>A</i>
<i>Corriente L₂</i>	<i>144,10</i>	<i>22,22</i>	<i>13,30</i>	<i>A</i>
<i>Corriente L₃</i>	<i>158,30</i>	<i>28,69</i>	<i>18,80</i>	<i>A</i>
<i>Corriente N</i>	<i>28,10</i>	<i>24,57</i>	<i>22,70</i>	<i>A</i>
<i>Frecuencia</i>	<i>60,05</i>	<i>59,99</i>	<i>59,93</i>	<i>Hz</i>
<i>Pot. Activa total</i>	<i>107988,29</i>	<i>14939,80</i>	<i>7825,89</i>	<i>W</i>
<i>Pot. Reactiva total</i>	<i>50870,35</i>	<i>2448,70</i>	<i>-905,21</i>	<i>Var</i>
<i>Pot. Aparente total</i>	<i>118533,08</i>	<i>16122,23</i>	<i>8119,08</i>	<i>VA</i>
<i>Factor de potencia</i>	<i>0,91</i>	<i>0,65</i>	<i>0,63</i>	<i>-</i>

Nota. La tabla presenta las variables eléctricas.

Figura 50

Comportamiento de los voltajes vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de los voltajes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de voltaje en L_1L_2 son 481,40V como máximo producido el 15/10/2021 a las 3:10:00 y 425,10V como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:30:00. La L_2L_3 tiene 486,10V como máximo producido el 15/10/2021 a las 2:10:00 y 430,40V como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:30:00. La L_3L_1 tiene 488V como máximo producido el 15/10/2021 a las 2:10:00 y 431,20V como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:30:00.

Figura 51

Comportamiento de las corrientes vs tiempo real



Nota. La figura representa el comportamiento de las corrientes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de corriente en la línea 1 son 141,00A como máximo producido el 16/10/2021 a las 20:20:00 y 0,00A como mínimo en algunos intervalos durante todo el tiempo del análisis. Línea 2 tiene 144,10A como máximo producido el 16/10/2021 a las 20:20:00 y 13,30A como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:40. Línea 3 tiene 158,30A como máximo producido el 16/10/2021 a las 20:20:00 y 18,80A como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:40:00. Línea N tiene 28,10A como máximo producido el 14/10/2021 a las 18:30:00 y 22,70A como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:40:00.

Figura 52

Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real

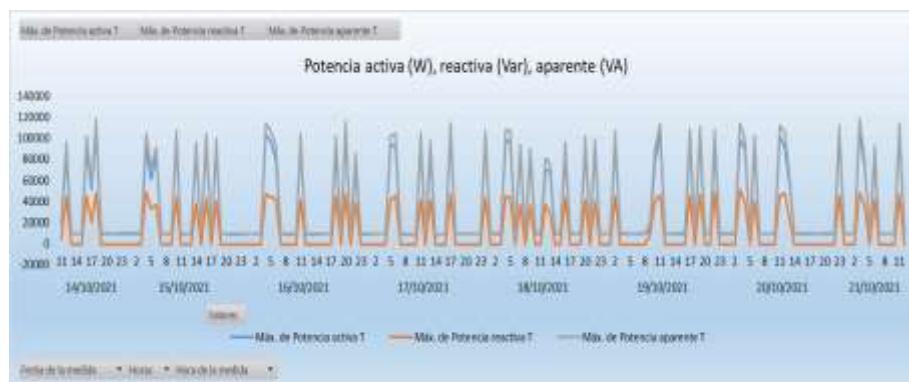


Nota. La figura muestra el comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos de frecuencia son 60,05Hz como máximo producido el 14/10/2021 a las 14:40:00 y 59,93Hz como mínimo producido el 16/10/2021 a las 20:30:00.

Figura 53

Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de las potencias vs tiempo real.

Los datos obtenidos de potencia activa total muestra 2537276,28W como máximo producido el 21/10/2021 a las 3:20:00 y 3259,17W como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:40:00. La potencia reactiva total muestra 50870,35var como máximo producido el 20/10/2021 a las 3:00:00 y -905,21var como mínimo producido el 21/10/2021 a las 12:40:00. La potencia aparente total muestra 118533,09VA como máximo producido el 21/10/2021 a las 3:20:00 y 8119,08VA como mínimo producido el 17/10/2021 a las 11:40:00.

Figura 54

Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos del factor de potencia son de 0,91 como máximo producido el 17/10/2021 a las 17:30:00 y de 0,63 como mínimo producido el 19/10/2021 a las 09:10:00.

4.10.4. Bomba de lavado de filtros

Los valores máximos, promedios y mínimos de las variables eléctricas (voltaje, corriente, frecuencia, potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia) obtenidas de la bomba lavado de filtros se muestran en la **Tabla 25** y el comportamiento de cada variable se visualiza desde la **Figura 55** hasta la **Figura 59**.

Tabla 25

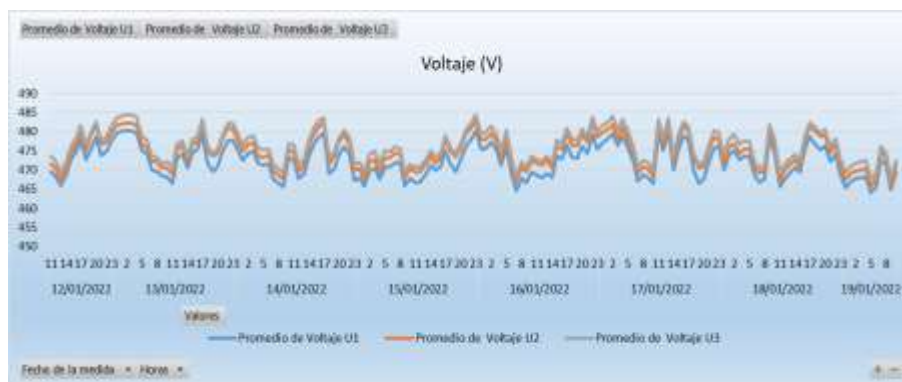
Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Bomba

Variables	Máximo	Promedio	Mínimo	Unidad
<i>Voltaje L₁L₂</i>	<i>481,50</i>	<i>472,36</i>	<i>459,00</i>	<i>V</i>
<i>Voltaje L₂L₃</i>	<i>484,40</i>	<i>474,79</i>	<i>460,00</i>	<i>V</i>
<i>Voltaje L₃L₁</i>	<i>485,70</i>	<i>476,33</i>	<i>461,90</i>	<i>V</i>
<i>Corriente L₁</i>	<i>113,00</i>	<i>11,08</i>	<i>0,00</i>	<i>A</i>
<i>Corriente L₂</i>	<i>110,20</i>	<i>10,75</i>	<i>0,00</i>	<i>A</i>
<i>Corriente L₃</i>	<i>117,50</i>	<i>11,49</i>	<i>0,00</i>	<i>A</i>
<i>Corriente N</i>	<i>13,80</i>	<i>1,35</i>	<i>0,00</i>	<i>A</i>
<i>Frecuencia</i>	<i>60,03</i>	<i>59,99</i>	<i>59,89</i>	<i>Hz</i>
<i>Pot. Activa total</i>	<i>75203,87</i>	<i>7369,20</i>	<i>0,00</i>	<i>W</i>
<i>Pot. Reactiva total</i>	<i>53107,46</i>	<i>5166,73</i>	<i>0,00</i>	<i>Var</i>
<i>Pot. Aparente total</i>	<i>91703,05</i>	<i>9007,94</i>	<i>0,00</i>	<i>VA</i>
<i>Factor de potencia</i>	<i>0,83</i>	<i>0,23</i>	<i>0,00</i>	<i>-</i>

Nota. La tabla presenta las variables eléctricas.

Figura 55

Comportamiento de los voltajes vs tiempo real

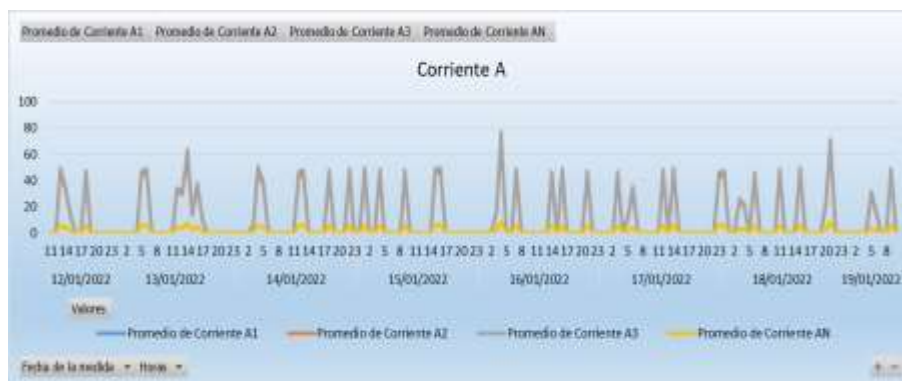


Nota. La figura muestra el comportamiento de los voltajes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de voltaje en la L_1L_2 son 481,50V como máximo producido el 14/01/2022 a las 17:50:00 y 459,00V como mínimo producido el 19/01/2022 a las 5:50:00. L_2L_3 son 484,40V como máximo producido el 14/01/2022 a las 17:50:00 y 460,00V como mínimo producido el 19/01/2022 a las 5:50:00. L_3L_1 son 485,70V como máximo producido el 14/01/2022 a las 17:50:00 y 461,90V como mínimo producido el 19/01/2022 a las 9:40:00.

Figura 56

Comportamiento de las corrientes vs tiempo real



Nota. La figura representa el comportamiento de las corrientes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de corriente en la línea 1 son 113,20A como máximo producido el 12/01/2022 a las 13:20:00. Línea 2 tiene 110,20A como máximo producido el 17/01/2022 a las 14:10:00. Línea 3 tiene 117,50A como máximo producido el 14/01/2022 a las 18:40:00. Línea N tiene 13,80A como máximo producido el 12/01/2022 a las 18:30:00.

Figura 57

Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos de frecuencia son 60,03Hz como máximo producido el 14/01/2022 a las 7:30:00 y 59,89Hz como mínimo producido el 15/01/2022 a las 6:30:00.

Figura 58

Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real

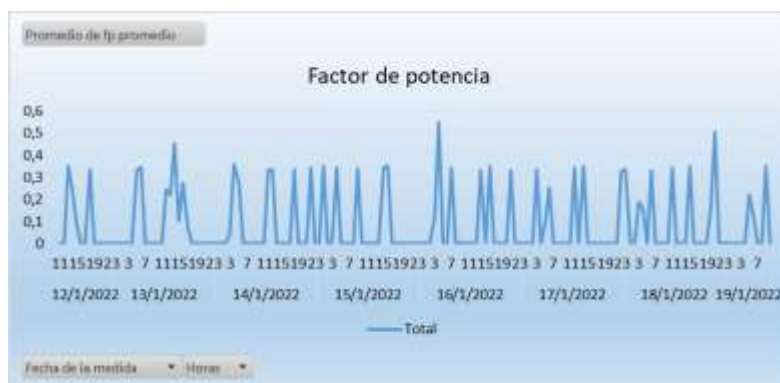


Nota. La figura muestra el comportamiento de las potencias vs tiempo real.

Los datos obtenidos de potencia activa total son 75203,87W como máximo producido el 17/01/2022 a las 14:10:00. La potencia reactiva total tiene 53107,46var como máximo producido el 17/01/2022 a las 3:20:00. La potencia aparente total tiene 91703,05VA como máximo producido el 17/01/2022 a las 23:30:00.

Figura 59

Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos de factor de potencia son de 0,83 como máximo producido el 15/01/2022 a las 09:00:00 y el valor decae al mínimo de manera reiterada.

4.10.5. Clarificador

Los valores máximos, promedios y mínimos de las variables eléctricas (voltaje, corriente, frecuencia, potencia activa, reactiva, aparente y factor de potencia) obtenidas del clarificador se muestran en la **Tabla 26** y el comportamiento de cada variable se visualiza desde la **Figura 60** hasta la **Figura 64**.

Tabla 26

Valores máx, promedio y mín. de las variables eléctricas Clarificador

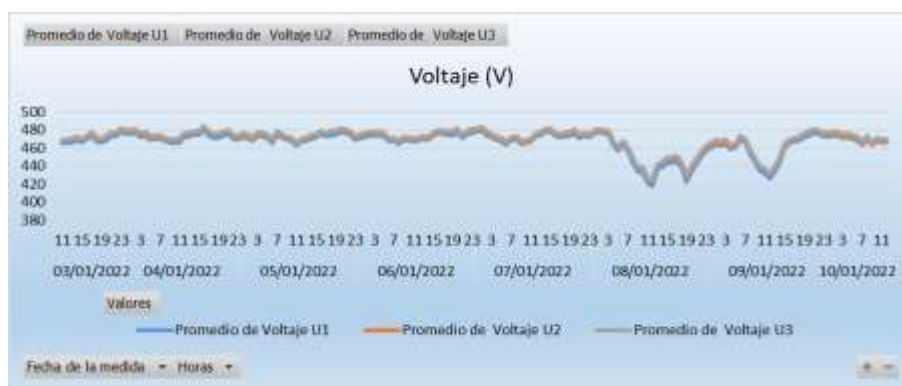
Variables	Máximo	Promedio	Mínimo	Unidad
Voltaje L_1L_2	480,70	465,91	403,90	V
Voltaje L_2L_3	483,90	468,79	408,20	V

Variables	Máximo	Promedio	Mínimo	Unidad
<i>Voltaje L₃L₁</i>	485,10	470,47	410,10	V
<i>Corriente L₁</i>	34,90	17,55	14,00	A
<i>Corriente L₂</i>	29,00	0,30	0,00	A
<i>Corriente L₃</i>	25,70	18,88	15,50	A
<i>Corriente N</i>	12,30	11,69	10,10	A
<i>Frecuencia</i>	60,05	59,99	59,93	Hz
<i>Pot. Activa total</i>	19017,52	3510,36	2591,26	W
<i>Pot. Reactiva total</i>	12437,42	9266,40	6473,85	Var
<i>Pot. Aparente total</i>	24111,90	9991,90	6974,69	VA
<i>Factor de potencia</i>	0,78	0,23	0,22	-

Nota. La tabla presenta las variables eléctricas.

Figura 60

Comportamiento de los voltajes vs tiempo real



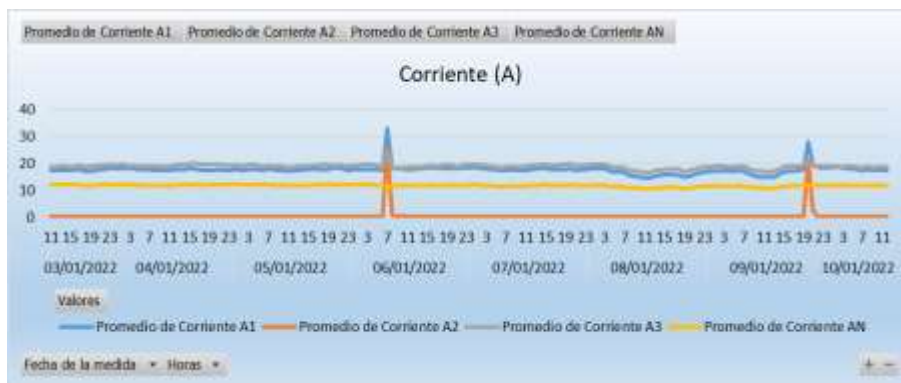
Nota. La figura muestra el comportamiento de los voltajes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de voltaje en la L₁L₂ es de 480,70V como máximo producido el 04/01/2022 a las 16:40:00 y 403,90V como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:20:00. En la L₂L₃ es de 483,90V como máximo producido el 04/01/2022 a las

16:50:00 y 408,20V como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:20:00. En la L₃L₁ es de 485,10V como máximo producido el 04/01/2022 a las 16:50:00 y 410,10V como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:20:00.

Figura 61

Comportamiento de las corrientes vs tiempo real

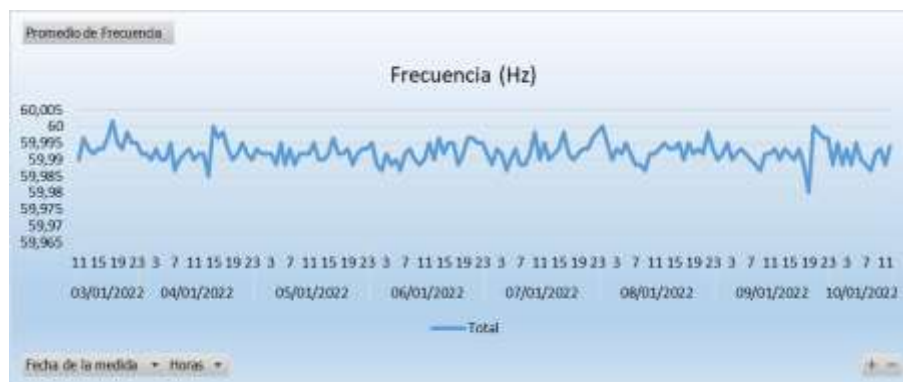


Nota. La figura representa el comportamiento de las corrientes vs tiempo real.

Los datos obtenidos de corriente en la línea 1 son 34,90A como máximo producido el 06/01/2022 a las 7:10:00 y 14,00A como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:20:00. Línea 2 muestra 29,00A como máximo producido el 06/01/2022 a las 7:10:00 y 0,00A como mínimo producido todos los días excepto el día jueves y domingo. Línea 3 muestra 25,70A como máximo producido el 06/01/2022 a las 7:10:00 y 15,50A como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:20:00. Línea N muestra 12,30A como máximo producido el 04/01/2022 a las 22:10:00 y 10,10A como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:20:00.

Figura 62

Comportamiento de la frecuencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de la frecuencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos de frecuencia son 60,05Hz como máximo producido el 03/01/2022 a las 18:00:00 y 59,93Hz como mínimo producido el 05/01/2022 a las 23:30:00.

Figura 63

Comportamiento de la potencia activa, reactiva y aparente vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento de las potencias vs tiempo real.

La potencia activa total muestra el valor de 3500W en la mayoría de días exceptuando el 06/01/2022 y 09/01/2022 donde se tiene un máximo de 19017,52W. La potencia reactiva total tiene 12437,42var como máximo producido el 06/01/2022 a las 7:20:00 y 6473,85var como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:30:00. La potencia

aparente total tiene 24111,9VA como máximo producido el 06/01/2022 a las 7:10:00 y 6974,69VA como mínimo producido el 08/01/2022 a las 12:20:00.

Figura 64

Comportamiento del factor de potencia vs tiempo real



Nota. La figura muestra el comportamiento del factor de potencia vs tiempo real.

Los datos obtenidos de factor de potencia son de 0,78 como máximo producido el 06/01/2022 a las 7:10:00 y de 0,22 como mínimo producido el 09/01/2022 a las 07:00:00.

4.10.6. Sistema de iluminación

El proceso de medición de iluminación en las instalaciones de la Planta Bellavista se realiza mediante el Luxómetro EXTECH 407026 para verificar si los sitios específicos presentan valores adecuados de luxes, para dar cumplimiento a lo mencionado por la (Nec, 2014) o del (less, 2003). Para llevar a cabo el procedimiento de la medición de iluminación, se utiliza la metodología expuesta por (Riva, 2012), en las respectivas áreas de la Planta Bellavista en condiciones normales de trabajo, horas de la tarde, condición atmosférica cielo nublado y a la altura de trabajo o de la actividad visual. Se obtiene los siguientes resultados como se muestra en la **Figura 65**.

Figura 65

Valores medidos del sistema de iluminación.

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS ESPE SEDE LATACUNGA DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA INGENIERÍA ELECTROMECÁNICA									
Ubicación:		PMQ EPMAPS - BELLAVISTA							
Hora inicio:		14h00			Hora final:			19h00	
Instrumentos:		Bollgrafo, fichas, luxómetro, cinta métrica							
Fecha de ejecución:		06/01/2022							
Mediciones de luminosidad (lux)									
Nivel	Áreas	Fuente de iluminación	Tipo de lámpara	Tipo alumbramiento	Medición promedio (lux)	Nivel mínimo (lux)	Cumplimiento	Dosis de iluminación	Valoración de dosis ilum.
SB	Bombas de servicio y cloradores	A	F	I	98	100	No	0,98	Óptimo
	Bombas de lavado filtros	A	F	I	119	100	Si	1,19	Óptimo
	Túnel de barros	A	F	G	114	100	Si	1,14	Óptimo
	Válvulas	A	F	I	195	100	Si	1,95	Aceptable
PB	Sala de aire comprimido	A	F	G	276	200	Si	1,38	Óptimo
	Sala de dosificación de reactivos químicos	A	F	L	287	200	Si	1,44	Óptimo
	Taller de mantenimiento	A	F	L	289	200	Si	1,45	Óptimo
	Sala de desinfección	A	F+I	G	206	200	Si	1,03	Óptimo
	Pasillos	A	F	G	134	50	Si	2,68	Deslumbrante
	Baños	A	F	G	88	50	Si	1,77	Aceptable
P1	Sala de recepción	A	Ah	G	129	100	Si	1,29	Óptimo
	Sala carbón activado	A	F	G	196	200	No	0,98	Óptimo
	Sala de mezcladores	M	F+I	G	168	100	Si	1,68	Aceptable
	Piscinas de tratamiento	M	F	I	101	100	Si	1,01	Óptimo
	Estación de filtración	N	F	G	413	200	Si	2,07	Deslumbrante
	Centro de control de motores	A	F	G	193	200	No	0,97	Óptimo
	Pasillos	A	F	G	120	50	Si	2,39	Deslumbrante
	Laboratorio químico	A	F	L	559	500	Si	1,12	Óptimo
	Captaciones y conducciones	A	F	G	447	300	Si	1,49	Óptimo
	Baños	A	F	G	92	50	Si	1,84	Aceptable
	Jefatura de lab químico	A	F	G	310	300	Si	1,03	Óptimo
P2	Archivos de producción	A	F	G	211	200	Si	1,06	Óptimo
	Sala con tolvas de polvillo	A	Ah	G	80	200	No	0,40	Bajo
	Sala del sistema de dosificación de sulfato de	A	F	G	299	200	Si	1,50	Aceptable
	Cafetería	A	F	G	74	50	Si	1,47	Óptimo
	Baño	A	F	G	62	50	Si	1,23	Óptimo
	Jefatura del sistema Bellavista	A	F	G	496	300	Si	1,65	Aceptable
	Sala de control	A	F	L	559	300	Si	1,86	Aceptable
	Pasillos	M	Ah	G	58	50	Si	1,17	Óptimo
	Laboratorio electrónico	A	F	G	578	300	Si	1,93	Aceptable
	Archivo técnico	A	F	G	365	200	Si	1,82	Aceptable
P3	Departamento de producción	A	F	G	402	300	Si	1,34	Óptimo
	Oficinas múltiples	A	F	G	612	300	Si	2,04	Aceptable
	Baños	A	F	G	102	50	Si	2,04	Aceptable
PE	Bodega	A	F	G	273	200	Si	1,37	Óptimo

Nota. La figura representa los valores medidos del sistema de iluminación. Donde *A: Artificial; *N: Natural; *M: Mixta; *F: Fluorescente; *I: Incandescente; *Ah: Ahorrador; *G: General; *L: Localizado; *I: Individual.

4.11. Análisis de variables eléctricas

4.11.1. Transformador

4.11.1.1. Voltaje Transformador.

De acuerdo con los valores de voltaje de cada línea obtenidos y utilizando las ecuaciones (1) y (2), se obtiene lo siguiente. El desequilibrio de voltaje presentado es de 0,69% que cumple la norma (IEEE 1159) en la que establece un desbalance de voltaje máximo del 2% por fases. El porcentaje de variación de voltaje se aprecia en la **Tabla**

27 en la que, los valores máximos, promedios y mínimos de las tres líneas no sobrepasan el 8% respecto al voltaje nominal como lo establece la (Regulación ARCERNNR No. 017/2020) para sistemas de bajo voltaje, en la que la máxima variación es de 5% aproximadamente en los valores mínimos, por lo que si cumple la regulación.

Tabla 27

Porcentaje de la variación de voltaje [%]

ΔV	L_1L_2	L_2L_3	L_3L_1
Max.	1,27	0,24	1,63
Prom.	0,74	1,64	0,50
Min	4,46	4,79	4,21

Nota. La tabla presenta los porcentajes de la variación de voltaje.

4.11.1.2. Corriente Transformador.

En referente con los valores de corrientes obtenidos y utilizando la ecuación (14) se obtiene el porcentaje de desbalance de carga entre líneas como se aprecia en la **Tabla 28** en la que los valores de las líneas 2-3 y 3-1 no sobrepasan el 20%, pero la línea 1-2 sobrepasa solamente con el 4%, es decir un valor cercano a lo establecido en la norma (IEEE 1159), por lo tanto, existe el cumplimiento.

Tabla 28

Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]

Desbalance	Valor
Desbalance de corriente L_{1-2}	24,04
Desbalance de corriente L_{2-3}	18,21
Desbalance de corriente L_{1-3}	7,13

Nota. La tabla presenta los porcentajes del desbalance de carga.

4.11.1.3. Frecuencia Transformador.

De acuerdo con los valores de frecuencia obtenidos, se establece que existe una estabilidad de frecuencia en el lapso de los 7 días, en la que sus valores oscilan con una pequeña variación igual a 0,07, pero manteniéndose dentro del rango de $\pm 0,2$ respecto a la frecuencia nominal.

4.11.1.4. Potencia Transformador.

Según los valores obtenidos se logra determinar el 38% de porcentaje de carga del transformador, por lo que él no se encuentra sobrecargado y un porcentaje de reserva del 62%, esto debido a que fue implementado con un sobredimensionamiento para una futura ampliación de las áreas de producción y por ende lograr suministrar la demanda futura.

4.11.1.5. Factor de potencia Transformador.

El valor promedio que posee en las líneas se encuentra en el rango de 0,86 a 0,89; esto debido a que la medición se efectuó antes del banco de capacitores tanto del automático de 126 kVAr como del fijo de 27,6 kVAr. Por tal motivo dichos valores son corregidos por el banco de capacitores manteniendo un valor por encima de 0,94 como se evidencia en la facturación mensual, de esta manera la planta trabaja dentro del límite establecido por la (Regulación ARCERNR No. 017/2020) y no genera penalizaciones.

4.11.1.6. Distorsión armónica total Transformador.

Con referente a los porcentajes de distorsión armónica total de corriente obtenidos, se tienen como resultados que los porcentajes para las líneas 1 y 3 se encuentran cercanos al valor límite considerado por la normativa (IEEE 519, 1992), mientras que la línea 2 presenta un mayor porcentaje; en conclusión, los porcentajes de

distorsión promedios obtenidos se encuentran dentro de un rango tolerable por la normativa (IEC 61000-2-2).

4.11.2. *Dispensor*

4.11.2.1. **Voltaje Dispensor.**

De acuerdo con los valores de voltaje de cada línea obtenidos y utilizando las ecuaciones (1) y (2), se obtiene lo siguiente. El desequilibrio de voltaje presentado es de 0,65% que cumple la norma (IEEE 1159) en la que establece un desbalance de voltaje máximo del 2% por fases. El porcentaje de variación de los voltajes se aprecia en la **Tabla 29** en la que, los valores promedios y máximos de las tres líneas no sobrepasan el 8% respecto al voltaje nominal como lo establece la (Regulación ARCERNNR No. 017/2020) para sistemas de bajo voltaje, en cambio el valor mínimo de las tres líneas supera el 8%, pero no predomina más del 5% de los valores medidos, por lo que si cumple la regulación.

Tabla 29

Porcentaje de variación de voltaje [%]

ΔV	L_1L_2	L_2L_3	L_3L_1
Max.	0,31	1,31	1,65
Prom.	2,39	1,55	1,31
Min	11,44	10,38	10,29

Nota. La tabla presenta los porcentajes de variación de los voltajes.

4.11.2.2. **Corriente Dispensor.**

En referente con los valores de corrientes obtenidos y utilizando la ecuación (14) se obtiene el porcentaje del desbalance de carga entre líneas como se aprecia en la **Tabla 30** en la que los valores no sobrepasan el 20% como lo establece la normativa (IEEE 1159), por lo que existe el cumplimiento.

Tabla 30

Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]

Desbalance	%
Desbalance de carga L ₁₋₂	1,18
Desbalance de carga L ₂₋₃	16,19
Desbalance de carga L ₁₋₃	15,19

Nota. La tabla presenta los porcentajes de los desbalances.

4.11.2.3. Frecuencia Dispensor.

De acuerdo con los valores de frecuencia obtenidos, se establece que existe una estabilidad de frecuencia en el lapso de los 7 días, en la que sus valores oscilan con una pequeña variación igual a 0,07, pero manteniéndose dentro del rango del $\pm 0,2$ respecto a la frecuencia nominal.

4.11.2.4. Factor de potencia Dispensor.

De acuerdo a los valores del factor de potencia se determina un promedio en las líneas que se encuentran en el rango de 0,30 a 0,22; valor que se encuentra fuera del límite establecido por la norma. Cabe mencionar que dicho valor es corregido por la compensación central al inicio de la instalación.

4.11.3. Soplador

4.11.3.1. Voltaje Soplador.

De acuerdo con los valores de voltaje de cada línea obtenidos y utilizando las ecuaciones (1) y (2), se obtiene lo siguiente. El desequilibrio de voltaje presentado es de 0,67% que cumple la norma (IEEE 1159) en la que establece un desbalance de voltaje máximo del 2% por fases. El porcentaje de variación de los voltajes se aprecia en la **Tabla 31** en la que, los valores promedios y máximos de las tres líneas no sobrepasan el 8% respecto al voltaje nominal como lo establece la (Regulación ARCERNR No.

017/2020), en cambio el valor mínimo de las tres líneas supera el 8%, pero no predomina más del 5% de los valores medidos, por lo que si cumple la regulación.

Tabla 31

Porcentaje de variación de los voltajes [%]

ΔV	L_1L_2	L_2L_3	L_3L_1
Max.	0,29	1,27	1,67
Prom.	2,47	1,62	1,34
Min	11,44	10,33	10,17

Nota. La tabla presenta los porcentajes de variación de los voltajes.

4.11.3.2. Corriente Soplador.

En referente con los valores de corrientes obtenidos y utilizando la ecuación (14) se obtiene el porcentaje de desbalance de carga entre líneas como se aprecia en la **Tabla 32** en la que, los valores de las líneas 1-2 y 1-3 si sobrepasan considerablemente el 20% como lo establece la normativa (IEEE 1159), razón por la que la línea 1 no posee carga por ende el consumo de corriente es cero, en cambio la línea 2 – 3 sobrepasa con un porcentaje pequeño; por ende, si incumple.

Tabla 32

Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]

Desbalance	%
Desbalance de carga L_{1-2}	61,02
Desbalance de carga L_{2-3}	22,56
Desbalance de carga L_{1-3}	69,81

Nota. La tabla presenta los porcentajes de los desbalances.

4.11.3.3. Frecuencia Soplador.

De acuerdo con los valores de frecuencia obtenidos, se establece que existe una estabilidad de frecuencia en el lapso de los 7 días, en la que sus valores oscilan con

una pequeña variación igual a 0,07, pero manteniéndose dentro del rango del $\pm 0,2$ respecto a la frecuencia nominal.

4.11.3.4. Factor de potencia Soplador.

De acuerdo a los valores del factor de potencia se determina un promedio en las líneas que se encuentran en el rango de 0,91 a 0,63; valor que se encuentra fuera del límite establecido por la norma. Cabe mencionar que dicho valor es corregido por la compensación central al inicio de la instalación.

4.11.4. Bomba de lavado de filtros

4.11.4.1. Voltaje Bomba.

De acuerdo con los valores de voltaje de cada línea obtenidos y utilizando las ecuaciones (1) y (2), se obtiene lo siguiente. El desequilibrio de voltaje presentado es de 0,45% que cumple la norma (IEEE 1159) en la que establece un desbalance de voltaje máximo del 2% por fases. El porcentaje de variación de los voltajes se aprecia en la **Tabla 33** en la que, los valores mínimos, promedios y máximos de las tres líneas no sobrepasan el 8% respecto al voltaje nominal como lo establece la (Regulación ARCERNR No. 017/2020), por lo que si cumple la regulación.

Tabla 33

Porcentaje de variación de los voltajes [%]

ΔV	L_1L_2	L_2L_3	L_3L_1
Max.	0,31	0,92	1,19
Prom.	4,38	4,17	3,77
Min	1,59	1,09	0,76

Nota. La tabla presenta los porcentajes de variación de los voltajes.

4.11.4.2. Corriente Bomba.

En referente con los valores de corrientes obtenidos y utilizando la ecuación (14) se obtiene el porcentaje de desbalance de carga entre líneas como se aprecia en la

Tabla 34 en la que, los valores de las líneas no sobrepasan el 20% como lo establece la regulación (IEEE 1159), por lo que si cumple; es decir el sistema esta balanceado.

Tabla 34

Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]

Desbalance	%
Desbalance de carga L ₁₋₂	2,96
Desbalance de carga L ₂₋₃	6,40
Desbalance de carga L ₁₋₃	3,55

Nota. La tabla presenta los porcentajes de los desbalances.

4.11.4.3. Frecuencia Bomba.

De acuerdo con los valores de frecuencia obtenidos, se establece que existe una estabilidad de frecuencia en el lapso de los 7 días, en la que sus valores oscilan con una pequeña variación igual a 0,11, pero manteniéndose dentro del rango del $\pm 0,2$ respecto a la frecuencia nominal.

4.11.4.4. Factor de potencia Bomba.

De acuerdo a los valores del factor de potencia se determina un promedio en las líneas que se encuentran en el rango de 0,83 a 0,23; valor que se encuentra fuera del límite establecido por la norma. Cabe mencionar que dicho valor es corregido por la compensación central al inicio de la instalación.

4.11.5. Clarificador

4.11.5.1. Voltaje Clarificador.

De acuerdo con los valores de voltaje de cada línea obtenidos y utilizando las ecuaciones (1) y (2), se obtiene lo siguiente. El desequilibrio de voltaje presentado es de 0,53% que cumple la norma (IEEE 1159) en la que establece un desbalance de voltaje máximo del 2% por fases. El porcentaje de variación de los voltajes se aprecia en la **Tabla 35** en la que, los valores máximos y promedios de las tres líneas no sobrepasan

el 8% respecto al voltaje nominal como lo establece la (Regulación ARCERNNR No. 017/2020), en cambio el valor mínimo de las tres líneas supera el 8%, pero no predomina más del 5% de los valores medidos, por lo que si cumple la regulación.

Tabla 35

Porcentaje de variación de los voltajes [%]

ΔV	L ₁ L ₂	L ₂ L ₃	L ₃ L ₁
Max.	0,15	0,81	1,06
Prom.	2,93	2,34	1,98
Min	15,85	14,96	14,56

Nota. La tabla presenta los porcentajes de variación de los voltajes.

4.11.5.2. Corriente Clarificador.

En referente con los valores de corrientes obtenidos y utilizando la ecuación (14) se obtiene. El porcentaje de desbalance de corriente se aprecia en la **Tabla 36** en la que, los valores de las líneas si sobrepasan el 20% como lo establece la regulación (IEEE 1159) a excepción de la línea 1-3, razón por la que la línea 2 no tiene carga y por ende el consumo de corriente es cero, por lo que el desbalance entre las líneas 1 y 3 si cumple.

Tabla 36

Porcentaje de desbalance de carga entre líneas [%]

Desbalance	%
Desbalance de carga L ₁₋₂	98,31
Desbalance de carga L ₂₋₃	98,43
Desbalance de carga L ₁₋₃	7,04

Nota. La tabla presenta los porcentajes de los desbalances.

4.11.5.3. Frecuencia Clarificador.

De acuerdo con los valores de frecuencia obtenidos, se establece que existe una estabilidad de frecuencia en el lapso de los 7 días, en la que sus valores oscilan con una pequeña variación igual a 0,07, pero manteniéndose dentro del rango del $\pm 0,2$ respecto a la frecuencia nominal.

4.11.5.4. Factor de potencia Clarificador.

De acuerdo a los valores del factor de potencia se determina un promedio en las líneas que se encuentran en el rango de 0,78 a 0,22; valor que se encuentra fuera del límite establecido por la norma. Cabe mencionar que dicho valor es corregido por la compensación central al inicio de la instalación.

4.11.6. Sistema de iluminación

De acuerdo con los valores de iluminación obtenidos en las áreas de la planta Bellavista se logra cuestionar que algunas áreas de la planta no se cumplen con los niveles adecuados de iluminación especificados por la (Nec, 2014) o por él (Iess, 2003); tal como se visualiza en la **Figura 65**, en la que la sala de bombas para servicios – cloradores, sala de carbón activado y centro de control presentan un valor con una pequeña variación de 2% a 3,5% del nivel mínimo de luxes por lo que la valoración aun es considerada óptima, pero se podría mejorar con un mantenimiento de limpieza en las luminarias; mientras que la sala de tolvas de polvillo de reactivos presenta una variación considerable de 60% del valor mínimo de luxes por lo que su valoración es sumamente bajo, esto debido a que las lámparas se encuentran inservibles ya que es una área fuera de servicio; no obstante, en el resto de áreas se tiene valores de iluminación óptimos y aceptables exactamente el 88,5% de la áreas, es decir el niveles de luxes es igual o superior al mínimo recomendado, teniendo en cuenta que dicho valor superior implica un valor menor al doble del mínimo recomendado, ya que al contrario siendo

mayor la valoración es considerada deslumbrante como suscita en el 8,8% de las áreas con valores de dosis de iluminación que abordan de 2,07 a 2,68 esto debido a factores que permiten el ingreso de luz natural del exterior o son lugares cerrados con mayor cantidad de lámparas; a pesar de ello son valores tolerables para mantener el confort visual en dichos espacios.

Por otro lado, el 86,5% del sistema de iluminación presenta lámparas de tipo fluorescente y el 13,5% de las áreas presentan de tipo ahorrador, HID e incandescente, por lo que la fuente de iluminación predominante es la de tipo artificial; en este caso es un escenario importante para efectuar la alternativa de eficiencia energética mediante la utilización de tecnología tipo led que genera beneficios en cuanto a ahorro y rendimiento. Además en las áreas, el tipo de alumbramiento del sistema de iluminación que presenta en su mayoría es el tipo general siendo exactamente el 77% de las áreas, en donde se encuentran las zonas de los procesos, departamentos y oficinas, seguido por el tipo localizado con el 11,5% de las áreas, en la que se tiene las zonas de laboratorio, control, dosificación y montaje; al igual que el tipo individual con el 11,5% de las áreas, en aquellas zonas donde se necesita mayor iluminación para la inspección de las máquinas.

Capítulo V

5. Propuesta

5.1. Título de la propuesta

Alternativas de ahorro y eficiencia energética para el sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS.

5.2. Datos Informativos

5.2.1. *Nombre de la empresa*

Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento – EPMAPS

5.2.2. *Ubicación*

Provincia: Pichincha; Cantón: Quito; Sector: El Batán

5.2.3. *Dirección*

Parque Metropolitano, Nor-Oriente de la ciudad.

5.2.4. *Tipo de empresa*

Planta de Tratamiento de Agua Potable

5.2.5. *Tamaño de empresa*

Gran empresa

5.2.6. *Equipo responsable*

Andrade Villacís, Carlos Esteban; Cevallos Rubio, Mauricio David; Ing. Jiménez León, Mario Polibio.

5.3. Beneficiarios

La Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS esta consiente de lo que hoy en día se habla mucho en cuanto a eficiencia energética en plantas industriales, por lo que brinda su apoyo para buscar

alternativas de mejora que de una u otra forma genere beneficios con enfoque en el ahorro energético y conservación del ambiente, a fin de convertirse en una organización ejemplar a nivel provincial en lo que representa a una industria prácticamente eficiente y sostenible.

5.4. Justificación de la propuesta

Hablando en cuestión de nuestro país, implementar medidas de ahorro de energía en industrias generaría muchos beneficios en cuanto al aspecto económico del país, conservación del medioambiente, entre otros; todo aquello en conjunto con organizaciones que se preocupan en esta situación.

Bajo este contexto, la importancia de las alternativas de mejora para la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS, radica en orientar a la empresa a alcanzar una mayor eficiencia energética en la planta, provocando así un incremento de ahorro energético, por ende, en el aspecto económico y sobretodo fomentando en el cuidado del medio ambiente.

5.5. Fundamentación de la propuesta

La fundamentación de la propuesta se ve reflejado de acuerdo a la inspección y análisis efectuado dentro de las instalaciones de la Planta Bellavista de la EPMAPS y contempla las alternativas de eficiencia y ahorro energético, denominadas como oportunidades de mejora, guiado conforme a las directrices y lineamientos de normativas como por ejemplo de la (NCh ISO 50006). Las propuestas se basan en las políticas establecidas por el (PLANEE, 2017) y (Ley Orgánica de Eficiencia Energética, 2019) para beneficio de la Planta Bellavista.

Con este antecedente, en el siguiente apartado se proponen las alternativas u oportunidades de mejora conjuntamente con un análisis y beneficios que brindarían a futuro a la Planta Bellavista.

5.6. Objetivo de la propuesta

5.6.1. *Objetivo general*

Proponer alternativas de ahorro y eficiencia energética para el sistema eléctrico de la Planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS.

5.6.2. *Objetivos específicos*

- Plantear un sistema de iluminación eficiente en las instalaciones de la planta.
- Establecer un sistema para el control de iluminación en zonas poco transitadas.
- Plantear la sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia.
- Dimensionar un sistema de autoconsumo que permita cubrir un porcentaje de la demanda.

5.7. Diseño de la propuesta

5.7.1. *Implementación de un sistema de iluminación eficiente*

El sistema de iluminación actual cuenta con lámparas fluorescentes en su gran mayoría de las instalaciones y también posee en pequeña cantidad de lámparas / focos ahorradores y HID, además algunas de ellas tienen degradación por el pasar del tiempo de operación, razón por la cual es necesario reemplazarlas con lámparas eficientes; planteando así la propuesta en sustituir mencionadas lámparas por lámparas tipo led lo cual proporciona un menor consumo contribuyendo el principio de la (Ley Orgánica de Eficiencia Energética, 2019); por otro lado posee mayor horas de vida útil, beneficiando en el aspecto de mantenimiento.

5.7.1.1. Reemplazo de lámparas fluorescentes a lámparas tipo led.

A continuación, en la **Tabla 37** se detalla la comparación de lámparas fluorescentes y lámparas tipo led en el modelo Philips Master Led tube T8.

Tabla 37

Características lámpara fluorescente y tipo led

Descripción	Potencia [W]	Flujo luminoso [lm]	Vida útil [horas]	Temperatura de color [K]
Comparación 1				
<i>Fluorescente</i>	<i>40</i>	<i>2500</i>	<i>20000</i>	<i>6500</i>
<i>Led</i>	<i>14,5</i>	<i>2500</i>	<i>60000</i>	<i>6500</i>
Comparación 2				
<i>Fluorescente</i>	<i>32</i>	<i>2100</i>	<i>20000</i>	<i>6500</i>
<i>Led</i>	<i>14,5</i>	<i>2500</i>	<i>60000</i>	<i>6500</i>
Comparación 3				
<i>Fluorescente</i>	<i>17</i>	<i>950</i>	<i>20000</i>	<i>6500</i>
<i>Led</i>	<i>7</i>	<i>1050</i>	<i>60000</i>	<i>6500</i>
Comparación 4				
<i>Fluorescente</i>	<i>105</i>	<i>6300</i>	<i>8000</i>	<i>6500</i>
<i>Led</i>	<i>35</i>	<i>6500</i>	<i>60000</i>	<i>6500</i>

Nota. La tabla muestra la comparación de las lámparas fluorescentes y las de tipo led.

5.7.1.1.1. Análisis técnico y económico.

En la **Tabla 38** se especifica la condición actual que presenta el sistema de iluminación y la propuesta de mejora, mientras que la **Tabla 39** se muestra los costos de inversión de la propuesta.

Tabla 38

Propuesta del sistema de iluminación

Condición actual del sistema de iluminación			
Lámpara	Cantidad	[kW]	[kWh/mes]
<i>Fluorescente 32W (120cm)</i>	<i>387</i>	<i>12,39</i>	<i>3910</i>
<i>Fluorescente 17W (60cm)</i>	<i>40</i>	<i>0,68</i>	<i>136</i>
<i>Fluorescente 40W (120cm)</i>	<i>165</i>	<i>6,60</i>	<i>2176</i>
<i>Fluorescente 105W (240cm)</i>	<i>26</i>	<i>2,73</i>	<i>423</i>

Condición actual del sistema de iluminación			
Consumo total mensual: 6645 kWh/mes			
Propuesta PHILIPS Master LEDtube T8			
Lámpara	Cantidad	[kW]	[kWh/mes]
Led 14,5W (120cm)	387	5,61	1772
Led 7W (60cm)	40	0,28	56
Led 14,5W (120cm)	165	2,39	789
Led 35W (240cm)	26	0,91	141
Consumo total mensual estimado: 2759 kWh/mes			

Nota. La tabla muestra las especificaciones del sistema de iluminación actual y su respectiva propuesta.

Tabla 39

Costos de inversión de la propuesta

Lámpara	Cantidad	USD unitario	USD total
Led 14,5W (120cm)	387	\$7,29	\$4024,08
Led 7W (60cm)	40	\$6,92	\$276,80
Led 35W (240cm)	26	\$9,85	\$256,10
Total			\$4556,98

Nota. La tabla muestra los costos de inversión de la propuesta.

Al poseer un sistema de iluminación eficiente de tipo led se obtiene un porcentaje de ahorro del 58,48% de consumo de energía eléctrica, logrando así obtener un ahorro mensual de 3886 kWh/mes con un costo de 0,03 USD/kWh lo que representa un ahorro de 116,58 USD al mes, que equivale a un ahorro anual de 1398,96 USD.

5.7.1.2. Reemplazo de lámparas ahorradores por lámparas tipo led.

A continuación, en la **Tabla 40** se detalla la comparación de lámparas ahorradores y lámparas tipo led en el modelo Philips CorePro Led bulb.

Tabla 40

Características lámpara ahorrador y tipo led

Descripción	Potencia [W]	Flujo luminoso [lm]	Vida útil [horas]	Temperatura de color [K]
<i>Ahorrador</i>	23	1152	8000	6400
<i>Led</i>	12,5	1500	15000	6500

Nota. La tabla muestra la comparación de las lámparas ahorradores y tipo led.

5.7.1.2.1. Análisis técnico y económico.

La **Tabla 41** especifica la condición actual que presenta el sistema de iluminación y la propuesta de mejora, mientras que la **Tabla 42** muestra el costo de inversión de la propuesta.

Tabla 41

Propuesta del sistema de iluminación

Condición actual del sistema de iluminación			
Foco	Cantidad	[kW]	[kWh/mes]
<i>Ahorrador 23W</i>	11	0,59	82,4
<i>Ahorrador 85W</i>	4		
Consumo total mensual: 82,4 kWh/mes			
Propuesta PHILIPS CorePro LEDbulb			
Foco	Cantidad	[kW]	[kWh/mes]
<i>Led 12,5W</i>	15	0,19	26,1
Consumo total mensual estimado: 26,1 kWh/mes			

Nota. La tabla muestra las especificaciones del sistema de iluminación actual y su respectiva propuesta.

Tabla 42

Costos de inversión de la propuesta

Foco	Cantidad	USD unitario	USD total
<i>Led 12,5W</i>	<i>15</i>	<i>\$3,50</i>	<i>\$52,50</i>

Nota. La tabla muestra los costos de inversión de la propuesta.

Al poseer un sistema de iluminación eficiente de tipo led se obtiene un porcentaje de ahorro del 68,32% de consumo de energía eléctrica, logrando así obtener un ahorro mensual de 56,3 kWh/mes con un costo de 0,03 USD/kWh lo que representa un ahorro de 1,69 USD al mes, que equivale a un ahorro anual de 20,28 USD.

5.7.1.3. Reemplazo de lámparas HID a lámparas tipo led.

A continuación, en la **Tabla 43** se detalla la comparación de lámparas de alta intensidad de descarga y lámparas tipo led en el modelo Led High Bay.

Tabla 43

Características lámpara de alta intensidad de descarga y tipo led

Descripción	Potencia [W]	Flujo luminoso [lm]	Vida útil [horas]	Temperatura de color [K]
Comparación				
<i>Foco ovoide</i>	<i>400</i>	<i>33100</i>	<i>12000</i>	<i>4200</i>
<i>Led</i>	<i>250</i>	<i>36000</i>	<i>100000</i>	<i>4000</i>

Nota. La tabla muestra la comparación de las lámparas HID y tipo led.

5.7.1.3.1. Análisis técnico y económico.

La **Tabla 44** especifica la condición actual que presenta el sistema de iluminación y la propuesta de mejora, mientras que la **Tabla 45** muestra el costo de inversión de la propuesta.

Tabla 44*Propuesta del sistema de iluminación*

Condición actual del sistema de iluminación			
Lámpara	Cantidad	[kW]	[kWh/mes]
<i>Foco ovoide 400 W</i>	8	3,200	38,4
Consumo total mensual: 38,4 kWh/mes			
Propuesta Led High Bay			
Lámpara	Cantidad	[kW]	[kWh/mes]
<i>Led 250W</i>	8	2,0	24,0
Consumo total mensual estimado: 24,0 kWh/mes			

Nota. La tabla muestra las especificaciones del sistema de iluminación actual y su respectiva propuesta.

Tabla 45*Costos de inversión de la propuesta*

Lámpara	Cantidad	USD unitario	USD total
<i>Led 250W</i>	8	\$36,00	\$288,00

Nota. La tabla muestra los costos de inversión de la propuesta.

Al poseer un sistema de iluminación eficiente de tipo led se obtiene un porcentaje de ahorro del 37,50% de consumo de energía eléctrica, logrando así obtener un ahorro mensual de 14,4 kWh/mes con un costo de 0,03 USD/kWh lo que representa un ahorro de 0,43 USD al mes, que equivale a un ahorro anual de 5,18 USD.

Al sustituir todo el sistema de iluminación actual de la planta Bellavista a lámparas tipo led se obtiene un porcentaje de ahorro del 58,50% de consumo de energía eléctrica, a continuación, en la **Tabla 46** se especifica el ahorro en energía, económico y el periodo de retorno de la inversión:

Tabla 46

Propuesta del sistema de iluminación a tipo led

Costo de la inversión total del sistema de iluminación tipo led
<i>4897,48 USD</i>
<i>Entonces se logrará el siguiente ahorro de consumo de energía:</i>
<i>Ahorro mensual: 3958,57 kWh/mes lo que representa 118,76 USD</i>
<i>Ahorro anual: 47502,84 kWh/año lo que representa 1425,09 USD</i>
<i>Período de retorno de la inversión: 3,4 años</i>

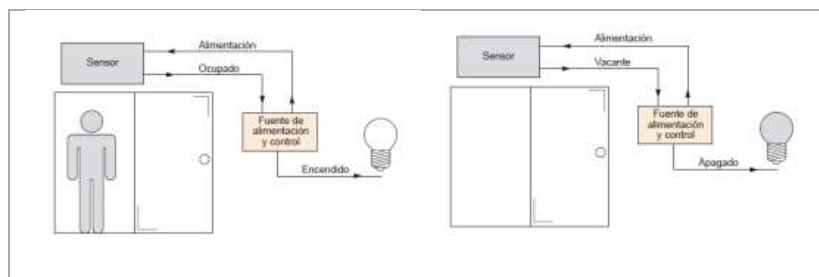
Nota. La tabla muestra el ahorro y periodo de retorno de inversión de la propuesta.

5.7.2. Implementación de un sistema de control de iluminación

Debido a que un porcentaje de la carga de iluminación pasa constantemente encendido provocando un consumo de energía innecesario; para ello es preciso la instalación de sensores de movimiento que permitan el encendido y el apagado de manera automática de las lámparas de iluminación cuando el sensor detecte la circulación de personas, caso contrario las lámparas se mantienen apagadas, de esta manera trae un beneficio en ahorro de energía, a continuación en la **Figura 66** se puede visualizar el funcionamiento del sensor de movimiento.

Figura 66

Funcionamiento del sensor de movimiento



Nota. La figura muestra la operación del sensor de movimiento para el sistema de iluminación. Tomado de: (Riquetti, 2015)

Los sitios poco concurridos en las que se necesita implementar sensores de movimiento son en las escaleras y pasillos de cada nivel del edificio, en los sanitarios de la planta baja, piso uno, piso dos, piso tres y en la sala de recepción, ya que son espacios que los trabajadores y administrativos circulan con poca frecuencia; además la implementación de sensores genera beneficio en cuanto al mantenimiento e inversión por reemplazo de lámparas ya que prolonga la vida útil al no permanecer encendidas de manera innecesaria. A continuación, en la **Tabla 47** se detalla las características principales del sensor de movimiento y las restantes ver en el **Anexo F**.

Tabla 47

Características del sensor de movimiento

<i>Marca / Modelo</i>	<i>Alcance / Ángulo</i>	<i>Voltaje / Frecuencia</i>
<i>Volteck Classic 800W</i>	<i>10 m / 360 °</i>	<i>120 V / 60 Hz</i>

Nota. La tabla muestra las características técnicas principales del sensor de movimiento.

5.7.2.1. Análisis técnico y económico.

De acuerdo al análisis se requiere de 20 sensores de movimiento distribuidos de manera estratégica en los pasillos/escaleras 11, sanitarios 8 y sala de recepción 1. Para la estimación de horas de utilización de los diferentes usuarios en los espacios considerados de la planta, se puede obtener a partir de una tasa de circulación aproximada, en la que por ejemplo se considera el movimiento de tres personas cada diez minutos en el pasillo / escalera con un tiempo de un minuto en atravesarla, dando como resultado los valores de la **Tabla 48** mediante la ecuación (23) y además se muestra el costo de inversión en la **Tabla 49**.

$$T_{circulación} = \frac{(3)usuarios*(60)segundos*(6)cada\ 10\ minutos*(24)horas}{(3600)segundos} = 7,2\ h \quad (23)$$

Tabla 48*Estimación de la propuesta*

Condición actual del sistema de iluminación			
Espacios	Carga [kW]	Horas aprox.	[kWh/mes]
<i>Pasillos y escaleras</i>	2,097	24	1509,64
<i>Sanitarios</i>	1,184	6,5	230,88
<i>Recepción</i>	1,642	24	118,22
Consumo aproximado total mensual: 1858,74 kWh/mes			
Propuesta con sensores de movimiento			
Espacios	Carga [kW]	Horas promedio	[kWh/mes]
<i>Pasillos y escaleras</i>	2,097	7,2	452,95
<i>Sanitarios</i>	1,184	3,2	113,66
<i>Recepción</i>	1,642	8	39,40
Consumo total mensual estimado: 606,01 kWh/mes			

Nota. Se muestra la condición actual del sistema de iluminación en los espacios considerados y su respectiva estimación de consumo.

Tabla 49*Costos de inversión de la propuesta*

Descripción	Cantidad	USD unitario	USD total
<i>Sensor de movimiento</i>	20	\$15,00	\$300,00
<i>Rollo de cable 14 AWG</i>	7	\$33,00	\$231,00
Total			\$581,00

Nota. La tabla muestra los costos de inversión de la propuesta

Al poseer un sistema de control de iluminación se obtiene un porcentaje de ahorro del 67,40% de consumo de energía eléctrica, logrando así obtener un ahorro mensual de 1252,73 kWh/mes con un costo de 0,03 USD/kWh lo que representa un

ahorro de 37,58 USD/mes, que equivale a un ahorro anual de 450,98 USD, por lo tanto, el periodo de retorno de la inversión es 1,3 años.

5.7.3. Sustitución de motores actuales por motores de alta eficiencia

De acuerdo al análisis realizado, el equipamiento que poseen los usos significativos de energía como son: clarificadores, dispersores, sopladores y bombas de lavado; tienen tecnología de los años ochenta que vienen operando constantemente desde 1990; por lo tanto, la eficiencia de aquellas cargas representativas se encuentra por el 85% aproximadamente. Con este antecedente es indudable proponer el cambio de motores a unos más eficiente para dar cumplimiento al objetivo del Plan Nacional de Eficiencia Energética y contribuir a los principios del artículo 3 de la Ley Orgánica de Eficiencia Energética.

Según (Pincolini, 2019), sustituir los motores antiguos o de trabajo intenso se tendrán ahorros energéticos porque los costos que se puedan generar tanto de operación como de mantenimiento puedan llegar al valor de adquisición de uno eficiente, ya que con el pasar del tiempo este tipo de motores pierden sus características de operación, lo que justifica la sustitución de motores de alta eficiencia; esta consideración es comprendida en el proceso de repotenciación de los equipos de la Planta Bellavista.

Para este análisis se toma como referencia el motor que corresponde al área de clarificadores para la sustitución por uno eficiente, siendo este análisis lo suficientemente general para ser aplicado a las demás áreas con el propósito de maximizar el ahorro y la eficiencia energética; en la **Tabla 50** se observa las características principales del motor estándar actual y del motor de alta eficiencia, para mayor detalle ver el **Anexo G**.

Tabla 50

Características principales del motor estándar actual y el de alta eficiencia

<i>Motor</i>	<i>Marca</i>	<i>Potencia</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Tiempo operación día</i>	<i>Energía consumida por año</i>
<i>Motor estándar</i>	<i>Electromac S.A.</i>	<i>22 kW</i>	<i>85%</i>	<i>24 h</i>	<i>226729,41 kWh</i>
<i>Motor alta eficiencia</i>	<i>Baldor EM4104T-12</i>	<i>22 kW</i>	<i>93,6%</i>	<i>24 h</i>	<i>205897,43 kWh</i>
					<i>Ahorro de energía anual 20831,98 kWh</i>
					<i>Ahorro USD anual 624,96 USD</i>

Nota. La tabla muestra las características de los motores. Tomado de: (WEG, 2020)

5.7.3.1. Análisis técnico y económico.

Se cuenta actualmente con un motor de 22 kW con un tiempo de operación 24 horas al día es decir 8760 h/año, por lo tanto, se tiene una energía consumida de 226729,41 kWh/año, mientras que con el motor de alta eficiencia se tiene un consumo de 205897,43 kWh/año, con un ahorro de 20831,98 kWh que representa el 9,19% de ahorro de energía.

A continuación, se realiza un análisis económico entre el motor actual y el de alta eficiencia, considerando que se va a sustituir el motor estándar que viene operando desde los años noventa por el motor de alta eficiencia, como se detalla en al **Tabla 51**.

Tabla 51

Análisis económico entre motor actual y de alta eficiencia

<i>Motor de alta eficiencia</i>	<i>Valores</i>
<i>Costo (USD)</i>	3699,36
<i>Ahorro de energía por año (kWh)</i>	20831,98
<i>Ahorro (USD) por año</i>	624,96
<i>Tiempo de recuperación estimado en años</i>	5,91

Nota. La tabla muestra el análisis económico de la propuesta para sustituir un motor estándar por uno de alta eficiencia.

Como se puede observar en la tabla anterior al adquirir un motor de alta eficiencia, con el ahorro de energía se puede recuperar su inversión en 5,91 años y a partir de ese año ya constituiría un ahorro para la empresa. El área de clarificadores cuenta con cuatro motores de características idénticas que operan simultáneamente las 24 horas al día, por lo que la inversión será de 14797,44 USD, que corresponde al costo de los cuatro motores.

Tabla 52

Análisis para el área de dispersores

<i>Motor</i>	<i>Potencia</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Tiempo operación día</i>	<i>Energía consumida por año</i>
<i>Motor estándar</i>	30 kW	85%	24 h	309176,47 kWh
<i>Motor alta eficiencia</i>	30 kW	89,1%	24 h	294949,49 kWh
<i>Ahorro de energía anual</i>				14226,98 kWh
<i>Ahorro USD anual</i>				426,81 USD
<i>Porcentaje de ahorro</i>				4,60%
<i>Inversión</i>				11982,22 USD
<i>Tiempo de recuperación estimado en años</i>				28,07 años

Nota. La tabla muestra el análisis para el área de dispersores.

De acuerdo a los resultados obtenidos en la **Tabla 51 y 52** conviene la sustitución por motores de alta eficiencia de 93,6%, permite la recuperación de la inversión en 5,91 años; mientras que cambiar por un motor de 89,1% el tiempo de recuperación se alarga a 28,07 años, pues se trata un motor de baja velocidad con una inversión mayor.

Para el caso de motores ubicados en las áreas de sopladores y bombas de lavado con tiempos de operación de 3 horas diarias, la sustitución bajo este procedimiento de recuperación de la inversión no favorece pues sus tiempos se alargan considerablemente a 29 años.


5.7.4. Implementación de un sistema de autoconsumo.

Con el propósito de promover el uso racional y sostenible de la energía en todas sus formas, a fin de construir una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética para aportar a la mitigación del cambio climático, incrementar la seguridad energética y competitividad de la economía del país como lo manifiesta la (Ley Orgánica de Eficiencia Energética, 2019), es necesario el aprovechamiento de energía limpia ya que es el medio clave para el proceso de descarbonización y de esta manera acatar a lo establecido en el artículo 16 del (SNEE, 2019), logrando obtener varios beneficios, incentivos y certificaciones por impulsar el interés nacional. Para ello se propone la implementación de un sistema de autoconsumo basado en un Sistema Fotovoltaico Conectado a la Red (SFCR) tomando en consideración la (Regulación ARCONEL N° 042/18).

Se procede desde la ubicación para conocer la irradiación, siendo la base para establecer la viabilidad del sistema fotovoltaico ya que la irradiación nos muestra la cantidad de energía solar que se puede captar. La **Tabla 53** muestra las coordenadas de la ubicación de la EPMAPS Bellavista. (Google Earth, 2021)

Tabla 53

Coordenadas de la planta Bellavista

Coordenadas		Gráfico
<i>Latitud (DD)</i>	-0.1819041	
<i>Longitud (DD)</i>	-78.462541	
<i>Altitud (m)</i>	2972	

Nota. La tabla muestra las coordenadas de la planta. Tomado de: (Google Earth, 2021)

Para obtener los datos de irradiancia global se utiliza la base de la (NASA, 2021), en la que se recopila valores desde enero hasta diciembre de 2020 para efectuar el análisis estadístico de la irradiancia promedio diaria en cada mes, los datos comienzan a partir de las 6 horas de la mañana y termina a las 18 horas de la tarde (Ver **Anexo H**); mediante dichos valores se logra obtener la irradiación global diaria promedio [kWh/m²día] utilizando la ecuación (21); tal como se muestra en la **Tabla 54**.

$$Irradiación = \sum((Tiempo [h]) * (Irradiancia [W/m^2])) \quad (21)$$

Tabla 54

Irradiación global diaria promedio [kWh/m²día]

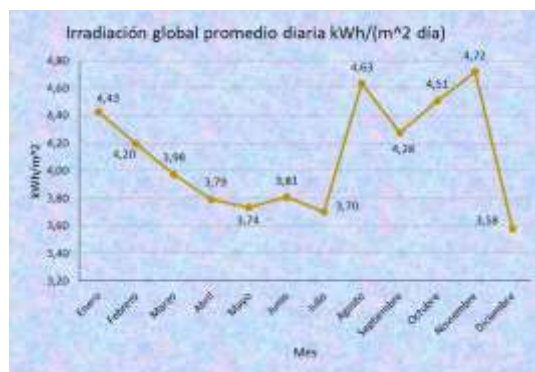
<i>Enero</i>	<i>Febrero</i>	<i>Marzo</i>	<i>Abril</i>	<i>Mayo</i>	<i>Junio</i>	<i>Julio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Septiembre</i>	<i>Octubre</i>	<i>Noviembre</i>	<i>Diciembre</i>	<i>Promedio</i>
4,43	4,20	3,98	3,79	3,74	3,81	3,70	4,63	4,28	4,51	4,72	3,58	4,11

Nota. La tabla muestra la irradiación global diaria de cada mes y el valor promedio.

A partir de aquellos valores se representa gráficamente la irradiación global promedio como se visualiza en la **Figura 67**, obteniendo el valor promedio de 4,11 kWh/(m²día) que equivale a horas de sol pico (HSP). (NEC, 2011)

Figura 67

Irradiación global promedio diaria [kWh/m² día] de cada mes



Nota. La figura muestra la irradiación global diaria promedio.

De acuerdo a la (Regulación ARCONEL N° 042/18) se puede calcular la capacidad nominal de instalación máxima para el SFCR mediante la ecuación (22).

$$Capacidad_{nom\ inst} = \frac{\sum_{i=mes\ 1}^{mes\ 12} E_{mensual\ i}(kwh)}{F_{planta} * 8760\ (h)}\ (kW) \quad (22)$$

Donde:

$E_{mensual}$ = Energía mensual facturada al consumidor

F_{planta} = Factor de planta (HSP/24 = 0.2)

$$Capacidad_{nom\ inst} = \frac{901128,28\ kWh}{0,2 * 8760\ h} = 514,34\ kW$$

Para instalar una potencia de 1 MW se requiere de un área de 10000 m², por lo tanto, para esta potencia se requeriría de una superficie de 5143,4 m².

Para nuestra propuesta, se considera utilizar la azotea del tercer piso del edificio que dispone de un área de 247 m², por lo que la potencia del SFCR a considerar tendrá una capacidad de 25,71 kW que corresponde al 5% de la capacidad que se podría instalar. En un sistema fotovoltaico es necesario considerar un factor del 10% superior a la capacidad nominal, esto apropiado para las pérdidas; dando como resultado 28,28 kW.

Para el SFCR se selecciona un inversor de 15 kW y el panel solar de 400 W, a continuación, en la **Tabla 55** y **Tabla 56** se observan las características más importantes para los cálculos pertinentes. En el **Anexo I** se puede visualizar la ficha técnica de dichos equipos.

Tabla 55

Especificaciones del panel solar

Marca	Modelo	P_{nom}	V_{oc}
CanadianSolar	HIDMCS1U	400 W	53,4 V
V_{mp}	I_{mp}	I_{sc}	LxWxH
44,1 V	9,08 A	9,60 A	2078x992x35 mm
Voltaje máx del sistema	Coef. de temperatura de I_{sc}	Coef. de temperatura de V_{oc}	Peso
1500 V	0,05 %/°C	-0,29 %/°C	23,4 kg

Nota. La tabla muestra las especificaciones principales del panel solar.

Tabla 56

Especificaciones del inversor

Marca	Modelo	Peso	HxWxD
Fronius	Symo 15.0-3	43,4 kg	724x511x226 mm
Datos de entrada			
Potencia FV recomendada	Rango de V_{mpp}	Voltaje máx. de C.C.	Corriente máx MPPT
12 – 19,5 kW	350 – 800 Vcc	1000 Vcc	51 A
Datos de salida			
Potencia nominal de C.A.	Tensión nominal de C.A.	Máxima corriente de salida a V_{nom}	Frecuencia nominal de red
15 kW	480 Vca	18 A	60 Hz

Nota. La tabla muestra las especificaciones principales del inversor.

Una vez obtenido la potencia de generación fotovoltaica se puede calcular la cantidad de inversores y paneles fotovoltaicos a utilizar mediante las ecuaciones (23) y (24) respectivamente.

$$N^{\circ} \text{ de inversores} = \frac{P_{FV}}{P_{inv}} \quad (23)$$

$$N^{\circ} \text{ de paneles} = \frac{P_{FV}}{P_{panel}} \quad (24)$$

Donde:

P_{FV} = Potencia nominal del sistema fotovoltaico

P_{inv} = Potencia nominal de salida del inversor

P_{panel} = Potencia nominal del panel solar

$$N^{\circ} \text{ inversores} = \frac{28,28}{15} = 1,88 \approx 2$$

$$N^{\circ} \text{ paneles solares} = \frac{28,28}{0,4} = 70,70 \approx 72$$

Como resultado se obtiene 2 inversores y 72 paneles solares para el sistema fotovoltaico. La potencia pico de generación del sistema fotovoltaico (P_{pico}) se obtiene a partir de la siguiente ecuación (25):

$$P_{pico} = P_{nominal \text{ panel}} * n^{\circ} \text{ de paneles solares} \quad (25)$$

$$P_{pico} = 400 \text{ W} * 72 = 28,80 \text{ kW}$$

Para el lugar de estudio se considera una temperatura mínima de 5°C con una irradiancia de 200 W/m² y una temperatura máxima de 25°C con irradiancia 1100 W/m², para calcular la temperatura máxima y mínima del panel con la ecuación (26) y (27).

$$T_{p \text{ min}} = T_{amb \text{ min}} + \frac{G_{min}}{800} (T_{onc} - 20^{\circ}C) \quad (26)$$

$$T_{p \text{ max}} = T_{amb \text{ max}} + \frac{G_{max}}{800} (T_{onc} - 20^{\circ}C) \quad (27)$$

Donde:

T_{amb} = Temperatura ambiente

$G = \text{Irradiancia}$

$T_{onc} = \text{Temperatura nominal de funcionamiento del panel}$

$$T_{p \min} = 5 + \frac{200}{800} (43 - 20^\circ\text{C}) = 10,75^\circ\text{C}$$

$$T_{p \max} = 25 + \frac{1100}{800} (43 - 20^\circ\text{C}) = 56,63^\circ\text{C}$$

Continuando se calcula los siguientes parámetros necesarios, tomando en cuenta el rango de temperatura del panel fotovoltaico.

Donde:

$V_{mpp} = \text{Voltaje pico del panel fotovoltaico [V]}$

$V_{oc} = \text{Voltaje de circuito abierto del panel fotovoltaico [V]}$

$T_p: \text{Temperatura de operación del panel}$

$\beta: \text{Coeficiente de temperatura de } V_{oc} [\%/^\circ\text{C}]$

$\alpha: \text{Coeficiente de temperatura de } I_{sc} [\%/^\circ\text{C}]$

$$V_{mp(T_{min})} = V_{mp \text{ STC}} \left(1 + \frac{\beta}{100} (T_{p \min} - T_{STC}) \right) \quad (28)$$

$$V_{mp(T_{min})} = 44,1 \left(1 + \frac{-0,29}{100} (10,75 - 25) \right) = 45,92 \text{ V}$$

$$V_{mp(T_{max})} = V_{mp \text{ STC}} \left(1 + \frac{\beta}{100} (T_{p \max} - T_{STC}) \right) \quad (29)$$

$$V_{mp(T_{max})} = 44,1 \left(1 + \frac{-0,29}{100} (56,63 - 25) \right) = 40,05 \text{ V}$$

$$V_{oc(T_{min})} = V_{oc \text{ STC}} \left(1 + \frac{\beta}{100} (T_{p \min} - T_{STC}) \right) \quad (30)$$

$$V_{oc(T_{min})} = 53,4 \left(1 + \frac{-0,29}{100} (10,75 - 25) \right) = 55,61 \text{ V}$$

Una vez efectuado los parámetros necesarios se procede a calcular el número de paneles solares en serie y en paralelo para el respectivo arreglo fotovoltaico mediante las siguientes ecuaciones:

$$N_{s \max} = \frac{V_{inv \max}}{V_{oc} \tau_{min}} \quad (31)$$

$$N_{s \text{ mpp } T_{min}} = \frac{V_{inv \min \text{ mpp}}}{V_{mpp} \tau_{max}} \quad (32)$$

$$N_{s \text{ mpp } T_{max}} = \frac{V_{inv \max \text{ mpp}}}{V_{mpp} \tau_{min}} \quad (33)$$

$$N_{s \max} = \frac{1000}{55,61} = 17,98 \therefore 17$$

$$N_{s \text{ mpp } T_{min}} = \frac{350}{40,05} = 8,74 \therefore 9$$

$$N_{s \text{ mpp } T_{max}} = \frac{800}{45,92} = 17,42 \therefore 17$$

$$9 \leq N_s \leq 17$$

$$I_{sc(tmax)} = I_{sc \text{ STC}} * \frac{G_{max}}{G_{STC}} \left(1 + \frac{\alpha}{100} (T_{p \max} - T_{STC}) \right) \quad (34)$$

$$I_{sc(Tmax)} = 9,60 * \frac{1100}{1000} \left(1 + \frac{0,05}{100} (56,63 - 25) \right) = 10,73 \text{ A}$$

$$N_{h \max} = \frac{I_{inv \max}}{I_{sc} \tau_{max}} \quad (35)$$

$$N_{h \max} = \frac{51}{10,72} = 4,76 \therefore 4$$

Como resultado se obtiene que los paneles solares en serie deben ser mayor o igual a 9 y menor o igual a 17 y en paralelo debe ser menor o igual a 4. Por lo que cada inversor tendrá 36 paneles dispuestos 9 en serie con 4 hileras en paralelo.

Los paneles solares deben ubicarse con una orientación e inclinación apropiada, así logrando la mejor captación solar y un adecuado funcionamiento. De acuerdo a la (NEC, 2011) mención energías renovables, pto.14 establece que la inclinación debe estar entre 5° a 10°, valores aceptables para garantizar la no acumulación de suciedades en la cubierta y la orientación directamente hacia la línea ecuatorial. Para verificar la inclinación recomendada (β_{optimo}) se utiliza la siguiente ecuación (36).

$$\beta_{\text{optimo}} = 3,7 + 0,69|\text{altitud}| \quad (36)$$

$$\beta_{\text{optimo}} = 3,7 + 0,69(0,181941) = 3,82^\circ \rightarrow 10^\circ$$

Cabe mencionar que para la ubicación de las filas de los paneles solares es necesario dejar la dimensión adecuada mínima para evitar el sombreado entre filas posteriores, para ello se utiliza las ecuaciones (37), (38) y (39). (Castejón , 2010)

$$h = A * \text{sen}(\beta_{\text{optimo}}) \quad (37)$$

$$d = \frac{h}{\tan(61 - \text{latitud})} \quad (38)$$

$$D_{\text{min}} = d + A * \cos(\beta_{\text{optimo}}) \quad (39)$$

Donde:

h: altura proyectada sobre la vertical de un panel [m]

A: ancho del panel [m]

β : inclinación del panel [°]

d: distancia mínima [m]

ϕ : latitud del lugar [°]

D_{mín}: distancia mínima entre filas de paneles [m]

$$h = 0,992 * \text{sen}(10^\circ) = 0,17 \text{ m}$$

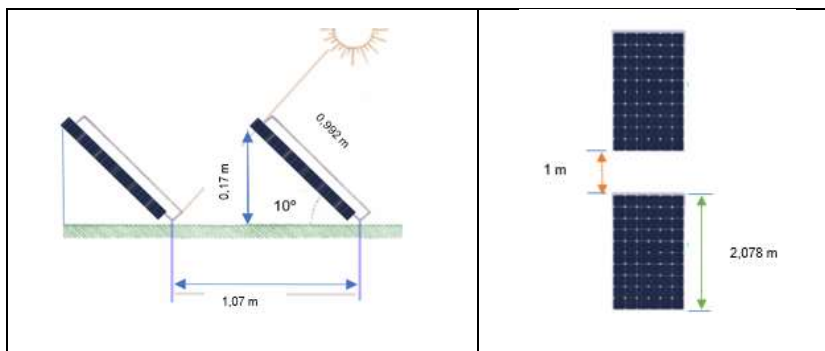
$$d = \frac{0,17}{\tan(61 - 0,1819041)} = 0,096 \text{ m}$$

$$D_{\text{min}} = 0,096 + 0,992 * \cos(10^\circ) = 1,07 \text{ m}$$

Además, es imprevisible dejar una distancia de 1 metro entre paneles para la circulación del personal, mantenimiento o cuando la situación lo amerite, esto de acuerdo a la norma técnica ecuatoriana (INEN 2247, 2016). Para comprender de mejor manera las distancias consideradas visualizar la **Figura 68**.

Figura 68

Distanciamiento para los paneles solares



Nota. La figura muestra las respectivas distancias obtenidas para los paneles solares.

Una vez obtenido los valores necesarios del dimensionamiento resulta comprobar que el sistema fotovoltaico no exceda el área disponible en la azotea del edificio como se muestra en la **Figura 69**, para lo cual se utiliza la ecuación (40).

$$A_{TGFV} = D_{min} * (Largo_{panel} + distancia_{entre\ columnas}) * N^{\circ}_{paneles} \quad (40)$$

$$A_{TGFV} = 1,07 * (2,078 + 1) * 72 = 237,13 \text{ m}^2$$

Área disponible de la azotea del edificio \geq Área total del generador fotovoltaico (A_{TGFV})

$$247 \text{ m}^2 \geq 237,13 \text{ m}^2 \checkmark$$

Figura 69

Área disponible en la azotea de la EPMAPS Bellavista



Nota. En la figura se visualiza el área disponible en la azotea de la EPMAPS Bellavista.

Con la irradiación promedio de 4,11 kWh/m² día el SFCR de 28,8 kW genera 118,37 kWh de energía al día equivalente a 43204,32 kWh de energía anual.

Además, el sistema forma parte de las energías renovables, por lo que se tiene un descenso de las emisiones de CO₂, en la que es provechoso estimar las toneladas de dióxido de carbono que se reducen hacia la atmósfera mediante la ecuación (41) expuesta por él (MEF, 2021).

$$\text{Reducción emisiones CO}_2 = EF * E_a \quad (41)$$

Donde:

EF: Factor de emisión CO₂ (Proyectos solares = 0,6071 ton CO₂/MWh (Buri, 2013))

E_a : Energía anual producida (MWh/año).

$$\text{Reducción emisiones CO}_2 = 0,6071 * 43,20 = 26,23 \text{ ton CO}_2/\text{año}$$

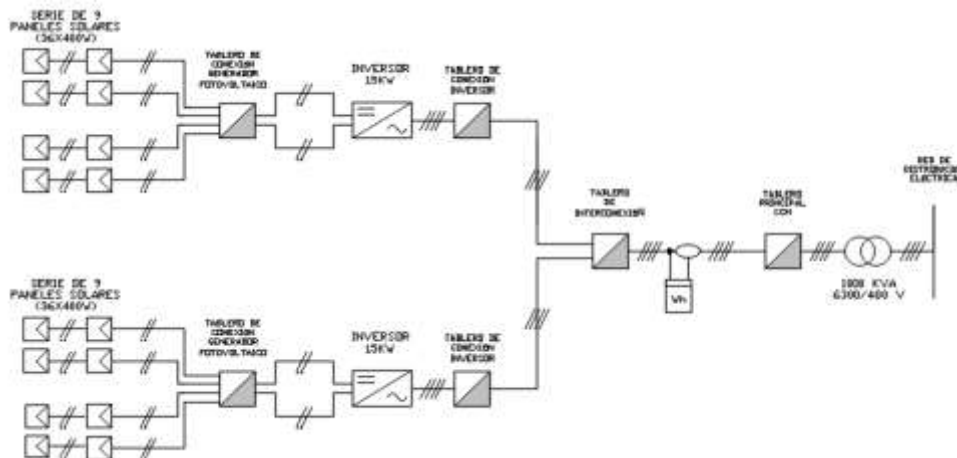
En el Perú, al tener reducciones de emisiones de CO₂ a través de proyectos renovables se tiene bonos de 7,17 USD por tonelada de CO₂ anual (MEF, 2021); dando como resultado la medición monetaria en base a la ecuación (59).

$$\text{Bono de CO}_2 = 7,17 \text{ USD} * 26,23 \frac{\text{ton CO}_2}{\text{año}} = 188,09 \text{ USD/año} \quad (59)$$

En la **Figura 70** se puede visualizar el esquema unifilar sobre el sistema fotovoltaico para la azotea de la EPMAPS Bellavista.

Figura 70

Esquema unifilar del sistema fotovoltaico conectado a red



Nota. La figura muestra el esquema unifilar del sistema fotovoltaico conectado a red.

5.7.4.1. Análisis técnico y económico.

En base a esta propuesta la planta Bellavista de la EPMAPS logrará ser acreedor de beneficios muy importantes como el otorgamiento de certificados de ahorro energético, de incentivos o financiamiento preferencial, entre otros; expuesto en el artículo 16 de la (Ley Orgánica de Eficiencia Energética, 2019), ya que promueve una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética; al igual con el aprovechamiento de la energía solar se obtiene el autoconsumo.

Para el análisis económico se ha considerado dos escenarios para lo cual se parte obteniendo la proyección del costo de inversión en base al proyecto fotovoltaico el Aromo ya que es el más importante y priorizado por el estado; el cual tiene una capacidad instalada de 200 MW con una inversión de 200 millones de dólares (CELEC EP, 2019), por lo tanto el presente sistema de autoconsumo tiene una capacidad de 28,8 kW lo que se estima una inversión total de 28800 USD y tendrá una generación de 118,37 kWh de energía al día, permitiendo así abastecer un porcentaje de la demanda de la planta.

5.7.4.1.1. Escenario A.

Se toma en cuenta el valor del costo de la energía de 0,03 USD/kWh, ya que al ser una empresa pública y perteneciente al grupo de autoprodutores obtiene beneficio en su valor, por tal motivo es bajo.

5.7.4.1.2. Escenario B.

Se toma en cuenta el valor del sistema fotovoltaico el Aromo para el costo de la energía con un valor de 0,06935 USD/kWh como referencia ya que es el mayor sistema que posee el Ecuador para marcar un desarrollo de eficiencia. (Mernnr, 2020)

En la **Tabla 57** muestra los resultados obtenidos de los escenarios planteados.

Tabla 57*Análisis económico para los escenarios*

<i>Inversión</i>	<i>Capacidad</i>	<i>Energía diaria</i>	
\$28800	28,40 kW	118,37 kWh/día	
<i>Escenario</i>	<i>Costo USD/kWh</i>	<i>Ahorro USD/año</i>	<i>Periodo recuperación</i>
A	0,03000	1296,13 USD	22,2 años
B	0,06935	2996,27 USD	9,6 años

Nota. La tabla muestra el análisis económico para los escenarios A y B.

De acuerdo a los dos escenarios, el mayor favorecedor es el B, ya que el ahorro anual se duplica por ende la recuperación de la inversión es de 9,6 años y a partir de ese año ya constituiría un ahorro para la empresa. Además, es importante conocer que los sistemas fotovoltaicos tienen una vida útil de 25 años sin embargo con un mantenimiento apropiado su vida útil asciende a 35 años aproximadamente, lo cual se basa en el rendimiento de los componentes principales del sistema es decir de los paneles e inversor. (Sunflower Energy, 2019).

5.7.5. Concientización del personal

(Bustamante, 2005), recalca que al cambiar las conductas sobre el uso eléctrico provoca un ahorro del 10% sin la necesidad de invertir y se tiene beneficios al instante; por lo que el cambio de algunas conductas es significativo, ya que a pesar de poseer equipos o aparatos de tecnología moderna si no se utilizan apropiadamente origina un consumo de energía innecesario e ineficiente.

Con la finalidad de concientizar a los usuarios de la planta Bellavista para sensibilizar sobre el ahorro o la utilización necesaria de la energía a través de capacitaciones, instructivos o avisos en las que se indique al personal las diferentes

acciones que aportan el buen uso de la energía. Algunas de las acciones más relevantes para consideración son:

- En zonas donde se tiene la presencia de luz natural es necesario mantener apagado las lámparas.
- Los equipos que no se utilizan de manera constante evitar mantener conectado a la fuente de alimentación.
- Cuando se abandone los espacios de trabajo es ineludible apagar el sistema de iluminación.
- Optimizar el uso de los equipos eléctricos, evitando el consumo innecesario y aumentando la vida útil.
- Suspender o apagar los equipos de oficina que no se utilicen en periodos prolongados.

Para poder evaluar la concientización del personal de la planta Bellavista, se debe utilizar la ecuación (60) de manera mensual de acuerdo al número del personal concientizado frente al total, en la que si el resultado varía de: 8% a 10% la concientización es considerada buena, de 4% a 7% la concientización es considerada regular y si es menor a 4% la concientización es considerada mala. Bajo esta recomendación se pretende fomentar una cultura sobre el uso racional de la energía para tener una concientización empresarial como especifica la (Ley Orgánica de Eficiencia Energética, 2019).

$$\%CP = \left(\frac{\text{Número de personal capacitado}}{\text{Número de personal total}} \right) \quad (60)$$

5.8. Análisis económico de las alternativas de ahorro y eficiencia

Para conocer la viabilidad y rentabilidad de las alternativas de ahorro y eficiencia propuestas se aplica los respectivos factores de evaluación económica, considerando el

valor de 7,38% como referente a la tasa de interés al año, esto según él (Banco Central de Ecuador, 2022).

Se debe tomar en cuenta que la Ley Orgánica de Eficiencia Energética ofrece financiamiento preferencial aquellos que mediante la adquisición de nuevas tecnologías y optimización de energía en sus procesos permitan una eficiencia energética y formar parte de una sociedad amigable con el medio ambiente.

En la **Tabla 58, 59, 60** se puede visualizar el análisis económico efectuado para la mejora en el sistema de iluminación con una inversión de 5478,48 USD, de la adquisición de motores de alta eficiencia para el área de clarificadores con 14797,49 USD y del sistema fotovoltaico con 28800 USD, respectivamente.

Tabla 58

Análisis económico de la mejora del sistema de iluminación

Periodos	Egreso	Ingreso	Flujo de caja neto	Valor actual
0	\$5.478,48		-\$5.478,48	-\$5.478,48
1		\$1.876,00	\$1.876,00	\$1.747,07
2		\$1.876,00	\$1.876,00	\$1.626,99
3		\$1.876,00	\$1.876,00	\$1.515,17
4		\$1.876,00	\$1.876,00	\$1.411,04
Valor actual neto (VAN)			\$821,79	
Tasa de interés de retorno (TIR)			13,89%	
Relación costo-beneficio (B/C)			1,15	

Nota. La tabla muestra el análisis económico de la propuesta para la mejora del sistema de iluminación.

Tabla 59

Análisis económico para la adquisición de motores de alta eficiencia

Periodos	Egreso	Ingreso	Flujo de caja neto	Valor actual
0	\$14.797,49		-\$14.797,49	-\$14.797,49
1		\$2.499,84	\$2.499,84	\$2.328,03
2		\$2.499,84	\$2.499,84	\$2.168,03
3		\$2.499,84	\$2.499,84	\$2.019,03
4		\$2.499,84	\$2.499,84	\$1.880,26
5		\$2.499,84	\$2.499,84	\$1.751,04
6		\$2.499,84	\$2.499,84	\$1.630,69
7		\$2.499,84	\$2.499,84	\$1.518,62
8		\$2.499,84	\$2.499,84	\$1.414,25
9		\$2.499,84	\$2.499,84	\$1.317,05
Valor actual neto (VAN)			\$1.229,50	
Tasa de interés de retorno (TIR)			9,31%	
Relación costo-beneficio (B/C)			1,08	

Nota. La tabla muestra el análisis económico de la propuesta de adquisición de motores de alta eficiencia para el área de clarificadores.

Tabla 60

Análisis económico del sistema fotovoltaico

Periodos	Egreso	Ingreso	Flujo de caja neto	Valor actual
0	\$28.800,00		-\$26.000,00	-\$26.000,00
1		\$2.996,27	\$2.996,27	\$5.590,34
2		\$2.996,27	\$2.996,27	\$5.398,57
3		\$2.996,27	\$2.996,27	\$5.219,97
4		\$2.996,27	\$2.996,27	\$5.053,65
5		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.898,77
6		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.754,52
7		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.620,19

Periodos	Egreso	Ingreso	Flujo de caja neto	Valor actual
8		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.495,09
9		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.378,59
10		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.270,10
11		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.169,06
12		\$2.996,27	\$2.996,27	\$4.074,97
13		\$2.996,27	\$2.996,27	\$3.987,34
14		\$2.996,27	\$2.996,27	\$3.905,74
15		\$2.996,27	\$2.996,27	\$3.829,75
16		\$2.996,27	\$2.996,27	\$3.758,97
17		\$2.996,27	\$2.996,27	\$3.693,07
18		\$2.996,27	\$2.996,27	\$3.631,69
Valor actual neto (VAN)			\$3.330,40	
Tasa de interés de retorno (TIR)			9,13%	
Relación costo-beneficio (B/C)			1,02	

Nota. La tabla muestra el análisis económico de la propuesta del sistema fotovoltaico.

Según los resultados de cada análisis realizado se determina que: el VAN tiene signo positivo, el TIR es mayor a la tasa de interés y el B/C es superior a uno por lo tanto se obtiene ganancias de 0,02 a 0,15 por cada dólar invertido, concluyendo que las alternativas de ahorro y eficiencia son rentables y viables.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

La auditoría energética preliminar permitió obtener conocimiento de la situación actual en la que se encuentra la EPMAPS Bellavista para identificar oportunidades de ahorro, basadas en el uso eficiente de la energía, utilización de energía limpia y del manejo de tecnologías eficientes.

Mediante la recopilación de información se realizó un inventario de activos de manera categorizada para conocer aspectos técnicos y de funcionamiento que permita contar con información actualizada a la EPMAPS Bellavista ya que se carecía de esta información y de acuerdo al levantamiento de carga efectuado se logró identificar que los equipos de potencia son las cargas más representativas de la planta con el 89,57% en cuanto al consumo de energía, mientras que el sistema de iluminación y equipos de oficina representan el 8,30% y 2,13% respectivamente.

De acuerdo al análisis de la facturación eléctrica permitió determinar que la energía consumida en promedio mensual por la planta es de 75094,07 kWh/mes, con una demanda promedio de 341,21 kW, con un índice energético del 0,011 kWh/m³, siendo menor con el 58% en comparación al sistema de bombeo de agua potable y saneamiento del municipio de México, concluyendo que el índice es aceptable.

La cuantificación de consumo energético fue clave para identificar que las áreas de sopladores, bombas de lavado, clarificadores y dispersores corresponden a los usos significativos de energía ya que presentan equipos de gran capacidad que operan de manera constante y se incluye el sistema de iluminación por poseer luminarias ineficientes con horas de servicio extendidas; dichos usos significativos representan el 71% de la energía consumida.

En base al análisis de operación de los parámetros eléctricos medidos mediante el analizador de redes AEMC 3945, se pudo constatar que los valores se encuentran

dentro de los límites establecidos por normativas y estándares. Por otro lado, el análisis en cuanto al sistema de iluminación mediante el luxómetro EXTECH 407026 se pudo constatar que el 88,5% del sistema cumplen con el nivel mínimo requerido de iluminación y tres de las áreas incumplen con un porcentaje pequeño de 3,5% del nivel mínimo requerido que puede ser mejorado mediante un mantenimiento en las luminarias.

El sistema de iluminación es un escenario importante para obtener eficiencia y ahorro, por lo que se sugiere el reemplazo por tecnología tipo led obteniendo un ahorro significativo del 3958,57 kWh/mes lo que representa 118,76 USD/mes y se plantea el control de luminarias en áreas de poco tránsito obteniendo un ahorro de 1252,73 kWh/mes lo que representa 37,58 USD/mes. La implementación de estas dos propuestas tendrá una inversión de 5478,48 USD la cual se recuperará en 2,9 años sin tomar en cuenta las tasas de interés.

Para mejorar la eficiencia energética se plantea la sustitución de los motores estándar con tecnología de los años ochenta por motores de alta eficiencia. En el área de clarificadores se justifica un ahorro energético del 9,19% lo que representa un ahorro de energía de 20831,98 kWh/año equivalente a 624,96 USD/año por cada motor, permitiendo recuperar la inversión en 5,9 años; de esta manera se da iniciativa al objetivo del Plan Nacional de Eficiencia Energética para el eje industrial logrando ser acreedores a certificados de ahorro, incentivos preferenciales de financiamiento, entre otros.

De acuerdo al análisis del potencial solar disponible en el sector el Batán, Parque Metropolitano de Quito cuenta con un valor óptimo de irradiación diaria para el respectivo aprovechamiento, para lo cual se propone el dimensionamiento de un sistema fotovoltaico de 28,8 KW con una generación de 43205,05 kWh de energía al

año para abastecer una parte de la demanda de la planta y evitando reducir 26,23 toneladas de CO₂ al año, contribuyendo de manera significativa al medio ambiente y obteniendo un ahorro de 2996,27 USD/año.

Recomendaciones

Para la implementación de la o las propuestas, se recomienda contar con el debido plan de mantenimiento permitiendo así alargar la vida útil de los equipos lo que garantizará un ahorro, eficiencia y sustentabilidad ambiental.

Es muy importante crear conciencia sobre el impacto del ahorro energético, no solo en el ámbito económico sino por la responsabilidad que se tiene en cuánto a las futuras generaciones ya que si no se recurre a este tipo de políticas sobre el uso racional de la energía eléctrica difícilmente se tendrá una garantía a futuro de la demanda energética.

En base a los resultados obtenidos del presente proyecto y de acuerdo a la fundamentación recopilada en el transcurso se recomienda realizar un estudio de calidad de energía con mención al comportamiento de la distorsión armónica de corriente respecto a la corrección del factor de potencia.

Se debe realizar este tipo de auditorías energéticas cada cierto tiempo en las empresas permitiendo identificar como y donde está siendo utilizada la energía eléctrica para ver si se puede encontrar potenciales de ahorro o fomentar la eficiencia.

Para la adquisición del financiamiento de las propuestas planteadas en el presente proyecto es necesario manejar la inversión con la menor tasa de interés posible para lograr un tiempo de recuperación menor al estimado.

Bibliografía

- Sunflower Energy. (2019). *LA VIDA OPERATIVA DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA*.
- [AEC], A. E. (2019). *Auditoría Energética*. Madrid.
- [ISA], ". y. (2020). *Plantas de Tratamiento de Agua*.
- Acciona. (2021). *La importancia del tratamiento de agua*. BUSINESS AS UNUSUA.
- Achig. (2006). *Matemáticas financieras para toma de desiciones empresariales*. España: 1ra. ed.
- Acnur. (2017). *Tipos de bombillas*. Comité Europeo.
- Aec, A. E. (2019). *Auditorías Energéticas*. Madrid.
- Agrelo, M. (2014). Consumo Energético en el Tratamiento de Agua. *ECO-HUELLA*.
- Agua, Q. (2010). *Planta de Tratamiento Bellavista*.
- Ain. (2016). *Metodología para Auditoría Energética*. EE Metal.
- Albornoz, E. (2012). *ESTADÍSTICA DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO*. Quito - Ecuador.
- Alemán, J. (2014). *Manual de Luminotecnia*.
- Altmann, C. (2020). *El Mantenimiento y la Eficiencia Energética*. Realiability.
- Álvarez, R. (2014). *Implementación de una piscina de sedimentación para eliminar los problemas de los filtros y en el tanque de distribución en la planta de tratamiento de agua potable Bellavista*.
- Álvarez, S., & Folgueras, M. (2012). *Auditoría energética en una planta de tratamiento de agua potable*. España.
- Álvarez, T. (2015). *Iluminación en el puesto de trabajo*. Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
- Ameneer, A. M. (2019). *Eficiencia energética en Plantas de Tratamiento de Aguas*. México: Amenner.
- Aneca, A. N. (2012). *Plan de Mejoras*.
- Banco Central de Ecuador. (Febrero de 2022). *Tasas de Interés*. Obtenido de <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/SectorMonFin/TasasInteres/Indice.htm>
- Bhimrao, D. (2018). *Electrical Energy Audit for Riddhim Siddhim Steel India Pvt. Ltd., Khopoli*.
- Brundtland. (1987). *Informe Brundtland*. Oxford University Press.

- Buri, A. C. (2013). *Factor de emisión de CO2 del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador*. Ecuador-Quito.
- Bustamante. (2005). *Guía de Diseño para la Eficiencia Energética*. II Tecnología de la Construcción.
- Bustamante, G. E. (2018). *Análisis de escenarios de la gestión energética del sector industrial del Ecuador*. Quito: Universidad central del Ecuador.
- CAF, B. d. (2016). Estado de la eficiencia energética en Ecuador: identificación de oportunidades .
- Campos, C. (2017). AUDITORÍA ENERGÉTICA DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LA COOPERATIVA SAN FRANCISCO.
- Cañas, V. (2015). *Propuesta de un sistema de costeo por procesos para el tratamiento de agua cruda en la planta Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento - EPMAPS*.
- Carme, D. (2016). *Ahorro energético* . Economía simple net.
- Castejón . (2010). *Instalaciones Solares Fotovoltaicas*.
- CEER, C. E. (2014). *Plan de mejoras energéticas*.
- CELEC EP. (2019). *Proyectos fotovoltaico El Aromo y Villonaco II y III*.
- CEPAL, C. E. (2015). *Eficiencia energética y regulación económica en los servicios de agua potable y alcantarillado*.
- Cerón. (2007). *Análisis de la situación energética*.
- CGE. (2020). *Concepto de Facturación*.
- Chávez. (2018). *Mitigación dinámica de armónicos y corrección del factor de potencia* .
- Clark, W. (2017). *Análisis y gestión energética de edificios*. Mc Graw Hill.
- Cobra. (2017). *Plantas de tratamiento de agua potable*. Madrid.
- Comité Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo. (1987). *Informe Brundtland*.
- CONELEC. (2013). *Consumo Inteligente de la Energía*.
- Dae, (. d. (2016). *Eficiencia energética en Ecuador*. CAF Banco de Desarrollo de América Latina.
- Delsol. (2018). *Vida útil de un activo*.
- Dionisio, F. (2020). *THE AMBITIOUS GREEN EUROPEAN PACT (EUROPEAN GREEN DEAL)*.
- Diseprosa. (2013). *Plantas de Tratamiento de Agua*. Madrid.
- Domos, A. (2019). *Planta de Tratamiento de Agua*. domos AGUA, 2-3.

- Endesa. (2010). *Medidas para la eficiencia energética*. Madrid.
- Energos. (2020). Calidad de energía eléctrica . *Grupoenergos*, 1-2.
- Energy. (2013). Análisis de Sistemas Eléctricos. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE EDUCACIÓN A DISTANCIA*, 7-11.
- EPMAPS Quito. (2021). *Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento*.
- Frutos, S. (2013). *Diseño de un plan de mejoramiento del sistema de seguridad industrial y salud ocupacional (SISO) en la planta de tratamiento Bellavista de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento EPMAPS* .
- Gallardo, A. (2014). *Eficiencia Energética* . ELPAÍS.
- Gancino, G. (2018). *Análisis de escenarios de la gestión energética del sector industrial del Ecuador*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- García, Â. (2011). *Así funcionan las lámparas fluorescentes*.
- García, A. (2019). *LA IMPORTANCIA DEL AHORRO DE ENERGÍA EN LA INDUSTRIA*. ISOVER.
- Gillingham. (2014). *Energy Efficiency Gap*.
- Goldwater, E. (2007). *Excel para el análisis estadístico de datos*.
- Gómez, J. (2021). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL* . Orkestra 02/2021.
- Google Earth. (2021). *Coordenadas de la planta Bellavista* . Quito.
- Google Maps. (2021). *Ubicación geográfica de la EPMAPS Bellavista*. Quito.
- Guerra, S. J. (2020). *Optimización de recursos*. México: Gestipolis.
- Guill, F. (2018). *Importancia de las Plantas de Tratamiento de Agua*. LLapasi.
- Hernández; León; Ambrosio. (2012). Diagnóstico energético y elaboración de propuestas de uso eficiente de energía eléctrica para una institución educativa. *Impulso, de electrónica, eléctrica y sistemas computacionales*, 75-81.
- IEC 61000-2-2 . (s.f.). *Calidad de energía* .
- Iecor. (2006). *Calidad de Energía Eléctrica*. Córdoba/Argentina.
- IEEE 1159. (s.f.). *Calidad de energía*.
- IEEE 519. (1992). *Current distortion limits for general distribution systems 120v - 69 kV*.
- Iess, I. E. (2003). *DECRETO EJECUTIVO 2393 - NIVELES DE ILUMINACIÓN MÍNIMA PARA TRABAJOS ESPECÍFICOS Y SIMILARES*. Ecuador.
- Inbal; Rajamani; Jalboub. (2012). *Optimization of electricity tariffs for peak load balancing at the domestic level*. Electr. Eng.

- INEN 2247. (2016). *Accesibilidad de las personas al medio físico - Edificaciones*.
- INER. (2016). ANÁLISIS DE LAS OPORTUNIDADES DE EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍAS RENOVABLES EN ECUADOR.
- Iorgulescu, M. (2017). *Study of Energy Efficiency in Industry*. Bucharest, Romania: THE 10th INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ADVANCED TOPICS IN ELECTRICAL ENGINEERING.
- Isa, I. y. (2020). *Plantas de tratamiento de agua*.
- ISO-50001. (2018). *Sistema de Gestión de la Energía*. ISOTools.
- ISO-50006. (2014). *NCh - Sistemas de Gestión de la Energía*. Chile.
- Izar, J. M. (2017). *Determinación de la Vida Económica de un Equipo*. México: ConCiencia Tecnológica.
- Jaega. (2021). *TABLA COMPARATIVA DE DIFERENTES CARACTERÍSTICAS ENTRE LÁMPARAS*. Madrid.
- José, L. R. (2017). Luxómetro. *PCE Instruments*, 3-4.
- Kaddari M. & Hajjaji A. (2018). *Reducing energy consumption by energy management and energy audits in the pumping stations*.
- Ley Orgánica de Eficiencia Energética. (2019).
- Llancamán, V., & Porflit, G. (2017). *Desarrollo de un Manual de Auditorías Energéticas para Empresas y Edificios*. Valdivia-Chile.
- Lombarte. (2013). *Estudio y eliminación de armónicos en el sistema de ayudas visuales a la navegación aérea en el aeropuerto de Valencia*. Escuela Técnica Superior Ingeniería.
- Lozano, C. (2020). *Planeación Energética Estación de Bombeo de Agua Cruda Manta - Ecuador, Bajo Norma ISO 50001*. Manta, Ecuador: Universidad Internacional SEK.
- Martínez & Gómez. (2017). *Análisis de factor de potencia en variadores de velocidad conectados a un sistema eléctrico*. Revista de Ingeniería Eléctrica.
- Martínez, A. (2016). *Bases de economía*. España: 1ra. ed. UCLM.
- MEF, M. d. (2021). *Técnica para el uso del Precio Social del Carbono en la Evaluación Social de proyectos*. Perú: invert.pe.
- Mejía, J. (2018). La vida útil de los equipos dentro de una planta industrial. *Logibus*.
- Mem, M. D. (2017). *EFICIENCIA DE LA ENERGÍA Y DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO*.
- Mendoza. (2013). *Energía y su clasificación*. México: CONICET.

- Mernnr, M. d. (2020). *Ofertas económicas para proyecto eólico Villonaco II y III y fotovoltaico El Aromo.*
- Messina, L. V. (2012). *Diagnóstico energético eléctrico en la Universidad Tecnológica de Bahía de Banderas.* Nueva Vallarta.
- Minsalud. (2015). ABECÉ del agua y saneamiento básico. *Subdirección de Salud Ambiental.*
- Molina, P. (2014). *LEVANTAMIENTO, REDISEÑO Y AUDITORÍA ENERGÉTICA PARA LA FACTIBILIDAD DE IMPLANTACIÓN DE LA NORMA ISO 50001 EN EL SECTOR DE TERMOPLÁSTICOS DE LA EMPRESA PLASTICAUCHO INDUSTRIAL S.A.* Latacunga.
- Molina, P. (2014). *Levantamiento, rediseño y auditoria energetica para la factibilidad de implantación de la norma ISO 50001 en el sector de Termoplásticos de la empresa Plasticaucho Industrial S.A.* Latacunga.
- Monga, D. (2018). *Evaluación del sistema energetico en las instalaciones de la empresa Embutidos La Madrileña para generar una propuesta de implementación de gestión energética basada en ISO 50001.*
- Monterroso, J. (2019). *Calidad de la Energía en instalaciones Industriales y comerciales.* ECONOVA S.A.
- Montesdeoca, B. (2013). *Sistemas de iluminación .*
- NASA. (2021). *Prediction Of Worldwide Energy Resources.*
- NEC. (2011). *Energías renovables .* Ecuador.
- Nec, N. E. (2014). *Iluminación en locales comerciales e industriales.* Ecuador.
- NOM 25. (2008). *Condiciones de iluminación.* México.
- Ovance. (2021). Auditorías energéticas. Definición, ámbito de actuación y normativa. [<https://ovacen.com/auditorías-energéticas-definición-ámbito-actuación-normativa/>](https://ovacen.com/auditorías-energéticas-definición-ámbito-actuación-normativa/).
- Parrales & Flores. (2015). *Auditoría y propuestas de mejora a las instalaciones eléctricas de la Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.* Guayaquil: Universidad Politécnica Salesiana sede Guayaquil.
- Pierdant, A. (2014). *Matemáticas financieras .* México: Patria: 1ra. ed. .
- Pincolini, E. (2019). *Recomendaciones para el Ahorro de Energía en Motores Eléctricos.* Argentina.
- PLANEE. (2017). *Plan Nacional de Eficiencia Energética Ecuador.*
- PME, P. M.-2. (2013). *Aspectos de sustentabilidad y sostenibilidad social y ambiental.* CONELEC.

- Pósligua, C. &. (2015). *Diseño de iluminación con luminarias tipo led basado en el concepto eficiencia energética y control visual*. Guayaquil: UPS.
- Quiroa, M. (2019). *Eficiencia energética*. Conomipedia .
- Quispe, E. (2015). *Reportero industrial* . Obtenido de <https://www.reporteroindustrial.com/temas/Recomendaciones-para-la-aplicación-de-motores-de-alta-eficiencia+105646?pagina=3>
- R. Budiarto & I. Rizki . (2018). *Potencia de ahorro de energía y reducción de costos de mantenimiento en la planta de tratamiento de agua (WTP) Pengok PDAM Tirtamarta Yogyakarta*.
- Rae, R. A. (2009). *Antigüedad*.
- Ramírez. (2019). *Diseño de filtros para minimizar los efectos armónicos en redes eléctricas con compensación reactiva*.
- Real Decreto 56. (2016). *Auditoría energética*. España.
- Regulación ARCERNR No. 017/2020. (s.f.). *Calidad del servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica*.
- Regulación ARCONEL N° 042/18. (s.f.). *Microgeneración fotovoltaica para autoabastecimiento de consumidores finales de energía eléctrica*.
- Ricardo, N. (2014). *Levantamiento de información técnica*.
- Riquetti. (2015). *Uso de sensores de movimiento para el ahorro de energía* .
- Riva, A. (2012). *Protocolo de mediciones de iluminación* . AHRA.
- Rivas, P. (2016). *Instalaciones y Eficiencia Energética* .
- Rodriguez, D. (2014). *Eficiencia energética y tratamiento de agua potable* . Madrid: Escuela de Organización Industrial.
- Rojas, R. (2013). *Libro de Consulta para Evaluación Ambiental*.
- Sánchez, B. (2009). *Modelo de Auditoría Energética en el sector Industrial* . España; Madrid.
- Segui, P. (2014). *Las auditorías energéticas y su proceso*. España: Construcción21.
- SENA, (. N. (2012). *Plan de Mejoras*. Colombia.
- Sevilleja, A. D. (2011). *EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL*. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid.
- Siemens. (s.f.). *Motores Eléctricos*.
- SNEE. (2019). *Sistema Nacional de Eficiencia Energética*. Quito.
- Soria. (2019). *Asesoría Energética*. *Soria Energía*, 3-4.
- Supra. (2018). *Principales tipos de lámpara industrial utilizados en la actualidad*. México.

- Téllez, E. (2015). *Distorsión Armónica*. AP & C.
- Toapanta, M. (2008). *Mapa de riesgos mecánicos y físicos en la Planta de tratamiento de agua potable Bellavista y el placer de la EPMAPS*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Toledo, A. (2015). *HERRAMIENTAS DE EXCEL PARA ESTADÍSTICA*.
- Toledo, M. S. (2015). *Herramientas de Excel para estadística*. Chile: Universidad Católica de Chile.
- Torres, K. (2013). *DIAGNÓSTICO PARA MEJORAR LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO EXTENSIÓN LATACUNGA*. Latacunga.
- URE, (. R. (2020). *Eficiencia Energética*. Madrid.
- Valdivieso, A. (2021). Agua potable.
- Vázquez, R. (2005). *Sistema de iluminación de proyectos de alumbrado*. Cuarta edición. Victor. (s.f.).
- Villasuso, J. (2021). *Rendimiento eléctrico*.
- Vintimilla, V., & Paladines, R. (2012). *Auditoría eléctrica a la Fábrica de Cartones Nacionales CARTOPEL*. Quito - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- VQ, I. (2020). *La importancia de la eficiencia energética en las empresas*. Bogotá-Colombia: Consultoría en eficiencia energética.
- WEG. (2020). *Motores eléctricos de alta eficiencia* .
- Zamora & Morera. (1984). *El Mantenimiento de Fabril Su Planificación y Organización*. La Habana: Científico - Técnica.
- Zaval, A. (2015). *Cargas no lineales* .

Anexos