



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA
ELÉCTRICA

Análisis de los indicadores de calidad de energía eléctrica de las
instalaciones de la empresa ETRAL SAC

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Mecánico Electricista

AUTORES:

Bustamante Ortiz, Edgar Javier (orcid.org/0000-0003-4104-2066)
Huingo Villarreal, Carlos Edison (orcid.org/0000-0002-6095-1647)

ASESOR:

Mg. Sánchez Huertas, Carlos Enrique (orcid.org/0000-0002-6754-8017)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Generación, transmisión y distribución

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo económico, empleo y emprendimiento

TRUJILLO - PERÚ

2022

Dedicatoria

Dedico esta investigación a mis padres Gloria Villarreal y Wilson Huingo, quienes me motivaron diariamente para seguir cumpliendo mis metas.

También a mi abuelita Petronila León por la confianza y el apoyo, alentándome siempre a seguir adelante.

Huingo Villarreal, Carlos Edison

Dedico esta investigación a mi Madre Gladis Ortiz que es la persona que me motivaron diariamente para seguir en pie luchando por mis metas.

También a mi Esposa e Hijas por el apoyo, alentándome siempre a seguir adelante.

Bustamante Ortiz, Edgar Javier

Agradecimiento

Agradezco a Dios por brindarme la fuerza y guía necesaria para llegar hasta este momento de mi vida, y por mantenerme con buena salud.

A mis asesores Ing. Carlos Enrique Sánchez Huertas, el Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez y el Ing. Alex Deyvi Tejeda Ponce, por guiarme en el transcurso del desarrollo de mi tesis.

A la empresa, quienes me brindaron el acceso para el desarrollo de mi trabajo de investigación.

Huingo Villarreal, Carlos Edison

Agradezco a Dios en primer lugar ya que me regala el día a día manteniéndome con buena salud, dándome fuerza que me permitió llegar hasta este momento de mi vida.

A mis asesores Ing. Carlos Enrique Sánchez Huertas y el Ing. Jorge Antonio Inciso Vásquez e Ing. Alex Deyvi Tejeda Ponce por guiarme en el transcurso del desarrollo de mi tesis.

Bustamante Ortiz, Edgar Javier

Índice de contenido

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenido	iv
Índice de tablas	v
Índice de gráficos y figuras.....	vi
Resumen.....	ix
Abstract	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA	20
3.1 Tipo y diseño de investigación.....	20
3.2 Variables y operacionalización	20
3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis.....	20
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	20
3.5 Procedimientos	21
3.6 Método de análisis de datos	23
3.7 Aspectos éticos.....	23
IV. RESULTADOS.....	24
V. DISCUSIÓN	31
VI. CONCLUSIONES	34
VII. RECOMENDACIONES.....	36
ANEXOS	41

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Técnicas e instrumentos de recolección de datos</i>	21
Tabla 2. <i>Cálculo de variable de la acometida principal (transformador hasta el tablero principal. Elaboración Propia</i>	27
Tabla 3. <i>Cargas en tablero principal ETRAL SAC. Elaboración propia</i>	28
Tabla 4. <i>Cargas del tablero nr. 1. Elaboración propia</i>	32
Tabla 5. <i>Cargas del tablero nr.2. Elaboración propia</i>	34
Tabla 6. <i>Cargas del tablero nr. 3. Elaboración propia</i>	36
Tabla 7. <i>Cargas del tablero nr. 4. Elaboración propia</i>	38
Tabla 8. <i>Cargas del tablero nr. 5. Elaboración propia</i>	40
Tabla 9. <i>Cargas del tablero nr. 6. Elaboración propia</i>	42
Tabla 10. <i>Análisis del cable interno sistema eléctrico de ETRAL SAC. Elaboración Propia</i>	1
Tabla 11: <i>Análisis de cable actual en el sistema eléctrico ETRAL SAC (Elaboración propia)</i>	14
Tabla 12. <i>Análisis de cambio sección transversal del cable en sistema eléctrico ETRAL SAC. Elaboración propia</i>	15
Tabla 13. <i>Secciones de barras de cobre para tableros de BT. Elaboración propia</i>	16
Tabla 14. <i>Dimensionamiento de condensadores para compensar el $\cos \varphi$ en tableros de distribución de ETRAL SAC. Tensión de Línea: 400 V, Tensión de fase: 230.95 V, Frecuencia de la red: 60 Hz. Elaboración propia</i>	22
Tabla 15. <i>Dimensionamiento de condensadores para compensar el factor de potencia en tableros de distribución ETRAL SAC (Elaboración propia)</i>	23
Tabla 16. <i>Sección transversal del cable para conexión a tierra, según NTP 370.053</i>	26
Tabla 17. <i>Sección transversal del cable para protección de conexión a tierra, según NTP 370.053</i>	27
Tabla 18. <i>Indicadores de calidad comparados con la norma. Elaboración propia</i>	28
Tabla 19. <i>Beneficio económico</i>	30

Índice de gráficos y figuras

Figura 1. <i>Tolerancia de armónicos</i>	7
Figura 2. <i>Triángulo de potencias</i>	11
Figura 3. <i>Triángulo de potencia con Corrección del factor de potencia. Elaboración Propia</i>	12
Figura 4. <i>Diagrama de flujo de procedimiento del proyecto de indagación</i>	22
Figura 5. <i>Cable trifásico unipolar en estrella a Tablero principal ETRAL SAC. Elaboración propia</i>	26
Figura 6. <i>Triángulo de potencias, sin distorsión armónica. Elaboración propia</i>	29
Figura 7. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución principal. Elaboración propia</i> 30	
Figura 8. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución secundario Nr. 1. Elaboración propia</i>	31
Figura 9. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 2. Elaboración propia</i>	33
Figura 10. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 3. Elaboración propia</i>	35
Figura 11. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 4. Elaboración propia</i>	37
Figura 12. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 5. Elaboración propia</i>	39
Figura 13. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 6. Elaboración propia</i>	41
Figura 14. <i>Diagrama unifilar de tablero de distribución para cargas monofásicas de ETRAL SAC. Elaboración propia</i>	43
Figura 15. <i>Subtensiones de larga duración de la tensión de línea en ETRAL SAC. Elaboración propia</i>	2
Figura 16. <i>Subtensiones de larga duración de la tensión de línea en ETRAL SAC. Elaboración propia</i>	2

Figura 17. Tensión de línea rms, Elaboración propia	3
Figura 18. Nr. De datos: 461. Promedio: 59.997 Hz. Elaboración propia	4
Figura 19. Tasa promedio de distorsión armónica en tensión AN: THD(V) = 4.49% Elaboración propia.	5
Figura 20. THD (V) BN promedio = 5.02 %. THD(v) Admisible = 8%. Elaboración propia	5
Figura 21. Tasa promedio de distorsión armónica en tensión AC: THD(V) = 4.70 %. THD(v)adm = 8 %. Elaboración propia.....	6
Figura 22. Tasa promedio de distorsión armónica en Intensidad A THD(i) = 41.42 % Elaboración propia	7
Figura 23. Tasa promedio de distorsión armónica en Intensidad B, A THD(i) = 60.36 %. Elaboración propia	8
Figura 24. Tasa promedio de distorsión armónica en Intensidad C A THD(i) = 35.17 %. Elaboración propia	8
Figura 25. Factor de potencia en sistema eléctrico de ETRAL SAC. Elaboración propia	9
Figura 26. Valores mínimo, máximo y medio de potencia activa total ETRAL SAC. Elaboración propia	10
Figura 27. Valores mínimos, máximo y medio potencia reactiva total ETRAL SAC. Elaboración propia	10
Figura 28. Valores mínimo, máximo y medio de la potencia aparente total de ETRAL SAC. Elaboración propia	11
Figura 29. Variación del índice de severidad por Flicker por Fase – Neutro en ETRAL SAC. Elaboración propia.....	11
Figura 30. Triángulo de potencias de ETRAL SAC, sin armónicos.....	13
Figura 31. Potencias en ETRAL SAC, con armónicos.....	13
Figura 32. Conexión actual del tablero de distribución principal, sin barras distribuidoras de tensión. Elaboración propia.....	18

Figura 33. <i>Barras de Cu tablero de distribución nr. 1 de Potencia = 10.30 kw. Elaboración propia</i>	19
Figura 34. <i>Diagrama unifilar conexión del banco de condensadores trifásico del tablero nr. 1 con reactores de línea para reducir impacto de armónicos en condensadores. Elaboración propia.</i>	21
Figura 35. <i>Selection guide AC Line/Load reactors</i>	24
Figura 36. <i>Conexiones de puesta a tierra en ETRAL SAC</i>	25
Figura 37. <i>Pozo a tierra con dos electrodos en paralelo</i>	26

Resumen

En el presente estudio de investigación se realizó una auditoría integral del sistema eléctrico para analizar los indicadores de calidad de energía para proponer las mejoras en el sistema eléctrico existente de la empresa ETRAL SAC, la empresa cuenta con una capacidad instalada de 128.48 Kw, como resultado de la auditoría se encontró que la planta está operando con una demanda máxima de 26.39 Kw. También se hizo un análisis a la calidad de energía, para lo cual se empleó un analizador de redes y de distorsión armónica, resultando que el sistema está contaminado, tiene THD(i) de 45.65 % mucho mayor que lo que indica la norma, de 15%, en la THD(v) es de 4.65% < THD adm = 8%.

En cuanto a la tensión, se encuentra fuera del rango admisible, de 361 a 399 V, siendo el valor mínimo de 334.36 V y el máximo de 420.75 V.

El valor de distorsión por Flícker es elevado, mayor de 4, siendo el normado de solamente 1, la frecuencia de la red se encuentra en el rango permitido por la norma (D.S. N° 020-97-EM).

Luego del diagnóstico, se procedió a establecer un conjunto de medidas tendientes a mejorar la calidad de energía y la capacidad de transporte de electricidad: cambio de cables de los tramos críticos internos, mejoras de tableros de distribución de acuerdo a normas, instalación de bancos de condensadores para aumentar el factor de potencia, además de instalar en cada tablero, reactores trifásicos de línea de 3% de impedancia, en serie con el interruptor principal de cada tablero. Se encontró que ETRAL SAC no cuenta con pozos de conexión a tierra, siendo algo muy delicado pues sus máquinas de soldar deben trabajar conectadas a tierra, al dimensionarlo se determinó que debe existir 4 pozos a tierra con $R_t = 5\Omega$, según lo requerido por la norma, para equipos electrónicos.

El análisis económico indica que la inversión necesaria, de 45,177 soles, se recupera en 5.76 meses, por existir una utilidad anual de 93,517 soles, lo que hace atractiva la inversión en mejoras de la calidad de energía.

Palabras clave: auditoría energética, puesta a tierra, calidad de energía

Abstract

In the present research study, a comprehensive audit of the electrical system was carried out to analyze the energy quality indicators to propose improvements in the existing electrical system of the company ETRAL SAC, the company has an installed capacity of 128.48 Kw, as a result of the audit it was found that the plant is operating with a maximum demand of 26.39 Kw.

An analysis was also made of the quality of energy, for which a network and harmonic distortion analyzer was used, resulting in the system being contaminated, it has a THD(i) of 45.65%, much higher than what the standard indicates, 15%, in the THD(v) is $4.65\% < \text{THD adm} = 8\%$.

As for the voltage, it is outside the admissible range, from 361 to 399 V, with the minimum value being 334.36 V and the maximum being 420.75 V.

The value of distortion by Flicker is high, greater than 4, being the norm of only 1, the frequency of the network is in the range allowed by the norm (D.S. N° 020-97-EM).

After the diagnosis, a set of measures was established to improve the quality of energy and the capacity to transport electricity: change of cables in critical internal sections, improvements to distribution boards in accordance with standards, installation of capacitors to increase the power factor, in addition to installing three-phase line reactors with 3% impedance in series with the main switch of each panel in each panel. It was found that ETRAL SAC does not have ground connection wells, being something very delicate because its welding machines must work connected to ground, when sizing it it was determined that there must be 4 ground wells with $R_t = 5\Omega$, as required by the norm, for electronic equipment.

The economic analysis indicates that the necessary investment, of 45,177 soles, is recovered in 5.76 months, since there is an annual profit of 93,517 soles, which makes investment in energy quality improvements attractive.

Keywords: energy audit, grounding, power quality

I. INTRODUCCIÓN

La energía eléctrica es el principal componente en las actividades del ser humano, siendo fundamental en plantas de producción, transporte, agricultura, servicios públicos, comercios y hogares. Debido al uso de la energía eléctrica las empresas han aumentado su producción creciendo económicamente, llevándolas al desarrollo tecnológico.

Según (Gonzales, 2019) se debe tomar en cuenta los inconvenientes más usuales que perjudican la calidad de energía en los sistemas eléctricos, como las deformaciones de las ondas sinusoidales, que producen pérdidas de potencia en conductores y ocasionar fallas en los equipos eléctricos.

Verena (2017) menciona que la calidad de energía estriba de las circunstancias normales de operación de los sistemas eléctricos en estabilidad (frecuencia y voltaje), continuidad del servicio y distorsión de señales. Consolidar altos niveles de calidad, demanda estudiar la influencia del conexionado de los sistemas de puesta a tierra en la generación, transmisión, distribución; con la perspectiva de tener estabilidad, disminuir interrupciones y perturbaciones de la prestación eléctrica.

Según la Norma Técnica Peruana el control de la calidad de los servicios eléctricos se realiza en los siguientes aspectos: a) Calidad de Producto: Tensión, Frecuencia, Perturbaciones (Flicker y Tensiones Armónicas); b) Calidad de Suministro: Interrupciones, c) Calidad de Servicio Comercial: Trato al Cliente, Medios de Atención, Precisión de Medida; d) Calidad de Alumbrado Público: Deficiencias del Alumbrado (D.S. N° 020-97-EM.- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos)

El suministro de energía eléctrica en ETRAL SAC se realiza desde un transformador trifásico externo aéreo de la concesionaría a través de un sistema de utilización en baja tensión 380/220V. La capacidad instalada es de 128.84 Kw, actualmente la empresa opera a una demanda máxima actual de 26.39 Kw, no cuentan con sistemas de protección y control. El sistema eléctrico tiene dos circuitos, uno trifásico que alimenta a los equipos utilizados en taller como las máquinas de soldar, una máquina de corte por plasma y de un compresor. También tiene un circuito monofásico para la iluminación, equipos de aire acondicionado y equipos de cómputo. Existen cortes del servicio eléctrico que

interrumpen el funcionamiento continuo, se producen sobretensiones que dañan los equipos, también está presente el fenómeno de flicker o parpadeo de la luz. La distribución trifásica y monofásica se realiza a la intemperie, las instalaciones actuales son provisionales que no cumplen la normatividad vigente.

De lo descrito, se deduce que, Bajo esta realidad problemática se planteó la siguiente pregunta ¿Cuál será el análisis de los indicadores de la calidad de energía en las instalaciones eléctricas de la empresa?

Mediante el presente estudio se analizará la Calidad de la energía como Tensión, Frecuencia, Perturbaciones, La pérdida de potencia en conductores y diagnosticar el estado actual del sistema eléctrico para establecer un conjunto de medidas de mejoras técnicas, tecnológicas y metodológicas.

El objetivo principal es analizar los indicadores de la calidad de la energía eléctrica de las instalaciones de la empresa ETRAL S.A.C

Para el desarrollo de este trabajo de investigación tenemos los siguientes objetivos específicos. 1) Realizar una auditoria integral del estado actual de las instalaciones y recopilación de datos técnicos de las instalaciones eléctricas actuales de la empresa. 2) Analizar los indicadores obtenidos del instrumento de recolección de datos. 3) Determinar la propuesta de mejora de la calidad de energía eléctrica en la empresa. 4) Comparar los indicadores de calidad de energía obtenidos con los valores que establece la norma. 5) Realizar un análisis económico de las soluciones planteadas

II. MARCO TEÓRICO

Según la investigación de Jácome y Vargas (2019), en su tesis “Análisis de calidad de energía eléctrica de la empresa florícola Agrorab CIA LTDA ubicada en el Cantón Pujilí” nos dice que para evitar las pérdidas de caída de tensión o la elevada tensión, colocó un analizador de cargas en el tablero de distribución, analizando los datos obtenidos y realizando el diagrama unifilar eléctrico con el programa EASY POWER, para determinar la caída de voltaje. Por otro lado, la Cooperación Alemana menciona que la energía eléctrica es proporcionada a los equipos y dispositivos con las debidas condiciones y particularidades adecuadas, para mantener la continuidad de su desempeño, evitando provocar fallas a sus componentes.

Ramos y Riveros (2018), en su tesis “Análisis de la eficiencia energética y calidad de la energía eléctrica en la planta industrial de procesamiento de alimentos agroindustrias Cirma S.R.L en la Región Puno”, realizaron mediciones de los parámetros eléctricos de la “Planta Cirma”, lo cual, concluyeron que tiene una calidad de energía aceptable, encontrándose dentro de lo establecido por la NTCSE-Urbano de +/- 5% y el 100 % de las medidas se pudo demostrar que el armónico es de +/- 8% hallándose dentro de las tolerancias según la norma; la empresa CIRMA paga un promedio de energía reactiva de S/. 4879 soles por año, con un VAN de 6350.78, y un TIR de 2.50%, por ende, propuso instalar un banco de capacitores de 5 pasos, esto lograría aumentar FDP ($\cos\theta$) optimo $FDP > 0.98$ de un 5.6% a un 70.8 %, lo cual mejoraría la eficiencia energética de toda la planta, respecto a esta instalación el monto de inversión es de S/. 12 004.97 soles, como tiene un $VAN > 1$, esto indica que el proyecto si es rentable, llegándose a recuperar en 2 años y 4 meses aproximadamente.

Saavedra (2019) en su tesis que trata de “Propuesta de un sistema eléctrico de automatización para mejorar el uso de la energía en la Empresa Odebrecht Perú operaciones y servicios SAC de Tarapoto, 2018” nos habla sobre el ahorro del sistema eléctrico mediante un sistema automatizado en la “Empresa Odebrecht Perú Operaciones y Servicios SAC”, se observó que, en el mes de octubre, se generó un mayor consumo energético de S/. 2398.00 soles. Con esta aplicación del sistema eléctrico automatizado el nivel de consumo reduciría en S/. 839.30 soles, se ahorra un 35% de este costo de energía, por otro lado, su menor

consumo de energía fue en julio con un monto de S/. 1291.00 soles, reduciría a S/. 451.85. También menciona que un microondas de 12000 watts, aplicando la aplicación los watts reduciría a 4200, lo cual demuestra que el sistema eléctrico automatizado sería rentable pues se ahorra 35% mensual.

Olivares (2018), en su investigación “Estudio de la calidad de la energía eléctrica para mejorar la confiabilidad de activos y la productividad en la empresa Creditex” indica que al efectuar la investigación con el analizador de redes POWERLOGIC ION 7650 acompañado con el software Ion Setup V3.0, determinó el nivel de contaminación que se dan por el armónico dando como resultados de un THDV 6.2% y THDI 28.5%, estos valores superan según la norma, también detectó en la escala de flicker un valor de 2, lo cual, sobrepasa la norma $0 < 1$, causando la pérdida de datos en la elaboración de las máquinas. Por consiguiente, implementó un diagrama unifilar tanto actual como proyectado, dando un incremento a la confiabilidad de las máquinas de 20.19% a un 36.79%, por otro lado, con la aplicación de los filtros activos se obtuvo la disminución de la potencia activa de 68kW, de todo esto logró un beneficio anual de 215 605 soles por año, y su retorno de dicha inversión es de medio año.

Barboza (2020), en su trabajo de investigación, realizó el “Rediseño de un sistema eléctrico interior de baja tensión 380/220V para reducir el consumo de energía en el centro Médico EsSalud – Cayaltí”, primero realizó la distribución de los tableros y toda el área que lo comandaba, así logró observar que existen 9 tableros, de los cuales dos de ellos son de circuitos generales de iluminación y tomacorrientes, y 7 sub tableros de distribución, por consiguiente, realizó las cargas de los equipos del centro médico.

Por otro lado realizó el análisis de la caída de tensión, lo cual es de mucha importancia para que pueda determinar que todo el diseño sea realizado según la normativa eléctrica peruana, para esta actividad utilizó una pinza amperimétrica, así determinó todos los circuitos derivados que tienen caída de tensión mayor a 2.5%, también determinó el cambio de luminarias por otra tecnología que es led, esta tecnología cuenta con características de iluminación, lo cual generó el cambio de iluminación de tubos rectos T8 de 36W a tubos led de T8 de 24W, y los circulares se cambiaron de 22W a 20W, estas luminarias si cumplen con la normativa del centro médico. Con respecto al rediseño se logró

un ahorro de 8 % de su consumo diario, esto se debe al cambio de cables en todo el centro médico, la inversión que se aplicaría para el rediseño sería de S/. 26 956.2 siendo esto S/.16 295.0 utilizados en el personal, S/. 10 661.4 el material y los S/. 740.53 restantes son gastos por los desgastes de las herramientas, lo cual se obtuvo una proyección de un VAN de S/. 230.92 y un TIR del 13%, esto significa que sí es un proyecto rentable.

La Auditoría energética es un diagnóstico, inspección y/o estudio de un análisis de la energía, busca disminuir la cantidad de energía que entra en el sistema sin afectar la salida, es una guía para la acción, que busca la optimización del consumo energético, en los procesos tecnológicos, sus indicadores fueron la energía, tensión, amperaje, flicker y armónicos. Campos (2019)

La calidad de la energía hace referencia a la escasez de interrupciones, sobretensiones, deformaciones generadas por los armónicos en la red y cambios de voltaje rms facilitados al usuario.” De acuerdo a la norma IEC 61000-4-30 la calidad de energía eléctrica presenta peculiaridades en cierto punto de la red eléctrica que son valoradas según parámetros preestablecidas, a fin de otorgar resultados óptimos y confiables, sin considerar la implementación del procedimiento a aplicar. La Norma IEEE 1159 – 1995 define a las mismas variables como numerosos fenómenos eléctricos y electromagnéticos, donde las corrientes y tensiones se dan en un determinado momento y lugar del sistema eléctrico (Castro, 2020).

La Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE) - Urbana, fue aprobada por D.S. N° 020-97-EM estableciendo en su base metodológica, los niveles mínimos de calidad de los servicios eléctricos, para garantizar a los usuarios un abastecimiento eléctrico continuo, adecuado, confiable y oportuno, generados por las empresas eléctricas para los sectores típicos 1,2,3. Esta norma es de aplicación autoritaria para suministrar a los servicios relacionados con la generación, transmisión y distribución de la electricidad sometidos a regulación de precios (Ministerio de Energía y Minas., 2013).

Esta norma generó un mayor control, supervisión y penalización por parte de OSINERGMIN, hacia la Concesionaria Eléctrica, quien se encuentra en la obligación de cumplir la aplicación e implementación de las etapas propuestas.

El control de calidad de los servicios eléctricos se realiza en los siguientes aspectos:

Calidad de Producto

Tensión

Indicador de Calidad. - Sirve para evaluar la tensión de entrega, de un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración. Este indicador está expresado como un porcentaje de la tensión nominal del punto:

$$\Delta V_K = \frac{V_K - V_N}{V_N} \times 100 (\%) \quad (1)$$

Tolerancias. Las tensiones nominales de los puntos de entrega de energía son admitidas hasta $\pm 5.0\%$. Por otro lado, en el caso de las redes secundarias en servicios calificados como Urbano-Rurales y/o Rurales, se admite a partir de $\pm 7.5\%$. Asimismo, se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, si la tensión se encuentra fuera del rango por un tiempo superior al 5% del periodo de medición.

Frecuencia

Indicadores de Calidad. - Para evaluar la frecuencia de entrega, en un intervalo de medición (k) de quince (15) minutos de duración, el principal indicador son las variaciones sostenidas de frecuencia, que se realiza a partir de la Diferencia (Δf_k) entre la Media (f_k) de los Valores Instantáneos de la Frecuencia, y el Valor de la Frecuencia Nominal (f_N) del sistema, expresándose como un porcentaje:

$$\Delta f_K = \frac{f_K - f_N}{f_N} \times 100 (\%) \quad (2)$$

Tolerancias. - Para las variaciones sobre la frecuencia nominal, aquellas tolerancias admitidas en todo nivel de tensión, son:

- Variaciones Sostenidas (Δf_k (%)): $\pm 0.6 \%$.
- Variaciones Súbitas (VSF'): ± 1.0 Hz.
- Variaciones Diarias (IVDF'): ± 600 Ciclos.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, cuando las Variaciones Sostenidas de Frecuencia son superiores al uno por ciento (1%) del Período de Medición.

Perturbaciones (Flicker y Tensiones Armónicas)

Indicadores de Calidad. -

a) Para **FLÍCKER**: El Índice de Severidad se define de acuerdo a las Normas IEC.

Tolerancias:

El Índice de Severidad por Flícker (Pst) no debe superar la unidad ($Pst \leq 1$) en Muy Alta, Alta, Media ni Baja Tensión. Ha este valor se le considera como el umbral de irritabilidad que se asocia a la fluctuación máxima de luminancia.

b) Para **ARMÓNICAS**: Los indicadores Pst, V_i , THD, se evalúan individualmente para cada Intervalo de Medición de diez (10) minutos durante el Período de Medición de perturbaciones, siendo un mínimo de 7 días calendario continuos.

Tolerancias:

Los valores eficaces (RMS), no deben superar los valores límites (V_i y THD') indicados en la siguiente tabla. Para efectos de esta Norma, se consideran las armónicas comprendidas entre la 2º y la 40º, ambas inclusive.

Figura 1.

Tolerancia de armónicos

Orden (n) de la Armonica o THD	TOLERANCIA [V_i]6 [THD']	
	(% con respecto a la Tensión Nominal del punto de medición)	
	Alta y Muy Alta Tensión	Media y Baja Tensión
(Armonicas impares no multiples de 3)		
5	2.0	6.0
7	2.0	5.0
11	1.5	3.5
13	1.5	3.0
17	1.0	2.0
19	1.0	1.5
23	0.7	1.5
25	0.7	1.5
Mayores de 25	0.1+2.5/n	0.2+12.5/n
(Armonicas impares multiples de 3)		
3	1.5	5.0
9	1.0	1.5
15	0.3	0.3
21	0.2	0.2
Mayores de 21	0.2	0.2
(Pares)		
2	1.5	2
4	1	1
6	0.5	0.5
8	0.2	0.5
10	0.2	0.5
12	0.2	0.2
Mayores de 12	0.2	0.2
THD	3	8

Fuente: NTCSE – Urbano - D.S. N° 020-97-EM

El Factor de Distorsión Total por Armónicas (THD) está definido como:

$$THD_v = \frac{\sqrt{\sum_{i=2,3,4,\dots,40} V_i^2}}{V_1} \times 100\% \quad (3)$$

Donde:

Vi: Valor eficaz (RMS) de la tensión armónica “i” (para i=2 ... 40) expresada en Voltios.

V1: Tensión fundamental (primer armónico) del punto de medición expresada en Voltios.

Se considera que la energía eléctrica es de mala calidad, cuando los indicadores de las perturbaciones están fuera del rango de tolerancias establecidas, por un tiempo superior al 5% del Período de Medición. Cada tipo de perturbación se evalúa por separado.

Tensión: “Se expresan en valores nominales, asimismo, la tensión nominal de un sistema o circuito, hace referencia al valor asignado para obtener una designación adecuada. Por otro lado, la tensión de operación del sistema varía por encima o debajo del valor.”

Caída de tensión máxima de cálculo:

$$\Delta U_{A-B} [V] = \sqrt{3} * I_{L-Máx}(A) * R_L(\Omega) \quad (4)$$

Caída porcentual nominal de voltaje:

$$\Delta U_{A-B} [\%] = \frac{\Delta U_{A-B} [V]}{U_1} * 100 \quad (5)$$

Frecuencia: “Las redes encargadas para suministrar energía eléctrica, son sistemas de corriente alterna, las cuales cuentan con una frecuencia nominal de 60 Hz.”

Las perturbaciones de las redes eléctricas son formadas durante la transmisión y distribución de la electricidad, gracias al funcionamiento de la red, lo cual es producido por la misma manipulación, también se puede encontrar materiales deteriorados utilizados en la generación de corriente o en la red eléctrica, así como en los equipos de medición y manipulación de la energía que se encuentran en mal estado, también en los movimientos involuntarios del cableado de la red de distribución generados por vientos o choques de objetos extraños al sistema (Verastegui et al., 2019).

El **Flicker** es definido como una variación perceptible por el ser humano, a través de la luminosidad e intensidad de la luz, causado por las fluctuaciones o

variaciones de tensión generados en la red eléctrica, es decir, se percibe una especie de parpadeo o disminución de la luz de manera intermitente.

En los **armónicos** se estipula la Distorsión total (TDT) o Total Armonice Distorsión (TDH), siendo un parámetro que pondera el contenido armónico total de una onda, ya sea de tensión (V) o de corriente (I).

Cervantes (2014) Las presencias de armónicos en la red generan problemas en los sistemas eléctricos, los armónicos de tensión o de corriente, pueden ser evaluados y/o cuantificados por indicadores, los cuales son:

Distorsión armónica individual: son las diferentes tasas que componen aquella onda deformada, se expresa en porcentaje y se aplica la siguiente formula:

$$IHD_n = \frac{V_n}{V_1} \times 100\% \text{ (Tensión de corriente)} \quad (6)$$

V_n = la amplitud del armónico de tensión del orden n

V_1 = amplitud de la componente fundamental de la onda de tensión

Distorsión armónica total: causada por la aparición total de armónico a través de magnitudes y ángulo de fase del componente individual.

Tensión:
$$TDH (V) = \frac{\sqrt{V_3^2 + V_5^2 + V_7^2 + \dots}}{V_1} \quad (7)$$

Corriente:
$$TDH (i) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots}}{I_1} \quad (8)$$

Relación de corriente armónica total y la demanda máxima de la corriente de carga

$$TDH (i) = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2}}{I_{\text{demanda maxima}}} \quad (9)$$

Potencia de distorsión armónica D

$$D [KVA] = \frac{\sqrt{3} * U_1 (V) * I_{res} (A)}{1000} \quad (10)$$

Potencia aparente, con distorsión armónica, S2:

$$S_2 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + D^2} \quad (11)$$

Factor de potencia del circuito con distorsión armónica:

$$FP = \frac{P}{S_1} \quad (12)$$

Intensidad residual de armónicos: I_{res}

$$I_{res} = \sqrt{I_{rms}^2 - I_{fundam}^2} \quad (13)$$

Reducción de armónicos de intensidad

El análisis de la data de armónicos es una condición de resonancia sobre la quinta armónica. Para su resolución, se determina un filtro sobre la quinta armónica, el cual, debe ser diseñado para una buena operación sobre la misma, en este caso, las ecuaciones importantes son:

$$h^2 = \frac{X_c}{X_L} \quad (14)$$

$$X_c = \frac{U^2(V^2)}{Q_c(Var)} \quad (15)$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L \quad (16)$$

donde:

h = Armónica seleccionada: número 5 (THD > 22%)

X_c = Reactancia capacitiva del filtro

X_L = Reactancia inductiva del filtro

U = Voltaje nominal en volts del banco de capacitores

Q_c = Potencia en VAr del banco de capacitores

π = 3.1416

f = Frecuencia en Hz de la onda fundamental [60]

L = Inductancia en henries.

Combinando las ecuaciones 14, 15 y 16; despejando L, queda:

$$L(\text{Henries}) = \frac{U^2}{h^2 * Q_c * 2 * \pi * f} \quad (17)$$

La impedancia suministrada de un reactor dado es reducida a medida que se reduce la corriente de carga:

$$\% \text{ Imp edancia}(z) = \frac{I_{cont} * 2 * \pi * f * L * \sqrt{3}}{U_{LL}^2} * 100. \quad (18)$$

Donde:

I_{CONT} = Corriente continua a través del reactor en Amperios RMS

f = Frecuencia de la forma de onda de CA aplicada al reactor

V_{LL} = Voltaje de línea a línea (fase a fase) aplicado al reactor

L = Inductancia de los devanados del reactor en mili-henries

$$\%Z = \frac{\sqrt{3} * I_L * X_L}{U_L^2} = \frac{I_{cont} * 2 * \pi * f * L * \sqrt{3}}{U_{LL}^2} \quad (19)$$

La potencia perdida en conductor se calcula con:

$$P_p[\text{kW}] = P_u(\text{Kw}) * \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \quad (20)$$

Donde:

$P_{t \text{ cond}}$: Potencia total del conductor (Kw) = Potencia en barra

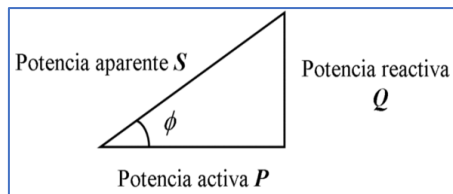
$P_{p \text{ cond}}$: Potencia perdida del conductor (Kw)

η_{Cond} : Rendimiento del conductor(%)

Factor de potencia: Hace referencia a un indicador generado entre la relación de la potencia activa (kW) y potencia aparente (KVA), el cual evalúa la eficiencia de medida de un correcto uso de la energía eléctrica. Los valores del factor de potencia comprenden el rango entre 0 y la unidad, evidenciando que un bajo factor de potencia representa pérdidas de energía, llegando a afectar la operación del sistema eléctrico, directamente en su eficiencia. Por otro lado, en nuestro país, un recargo adicional a la factura eléctrica, se debe a un menor factor de potencia de 0.96. Por tal motivo, al corregirlo, no solo se evitará recargos a la factura eléctrica, sino también, se reducirá costos por consumo de energía, debido a la eficiente operación de equipos.

Figura 2.

Triángulo de potencias



Donde:

- Potencia aparente S (KVA): suministrada por la empresa eléctrica
- Potencia activa P (kW): consumida en el sistema
- Potencia reactiva Q (KVAR): consumida en el sistema

Esto se define con la siguiente formula:

$$fp = \frac{P}{|S|} \quad (21)$$

Potencia aparente (S): Es la suma vectorial de la potencia activa y reactiva, que se toma de la red eléctrica, asimismo, debería ser el producto voltaje- corriente por analogía, con los circuitos resistivos de corriente continua (Alexander,2006).

$$S_{m \acute{a}x} (kva) = \sqrt{P_{m \acute{a}x}^2 + Q_{m \acute{a}x}^2} \quad (22)$$

El ángulo entre potencias activa y aparente es φ : $P = S \cdot \cos\theta$

El valor del $\cos\theta$ es llamado factor de potencia.

El factor de potencia es una función de las potencias activa y reactiva.

$$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (23)$$

La tangente del ángulo φ es también usada: (Harper, 2006).

$$\tan\theta = \frac{Q}{P} \quad (24)$$

La potencia activa máxima(P): Es la potencia útil que se aprovecha cuando un equipo eléctrico realiza su trabajo. Fluye hacia las aprovechadoras de la red eléctrica (Stevenson, 2016).

$$P_{max} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_L(V) \cdot \cos\varphi_{-max}(-) \cdot I_{L-max}(A)}{1000} \quad (25)$$

La potencia reactiva máxima (Q): Los dispositivos eléctricos al tener bobinas, necesariamente requieren de energía reactiva, que les permitirá construir campos magnéticos para su operación.

$$Q_{m\acute{a}x}(kvar) = P_{m\acute{a}x}(kw) * \tan\varphi \quad (26)$$

El **cos φ** hace referencia al correcto aprovechamiento de la energía eléctrica, en este caso un valor cercano a uno, significa que la energía reactiva es pequeña a comparación con la energía activa, por ello, un **cos φ** bajo indica condición opuesta. (Schneider electric, 2010).

La **corrección del cos φ** se hace considerando el triángulo de potencias. Si la carga inductiva original tiene la potencia aparente S1:

$$P = S_1 \cos\theta_1 \quad (27)$$

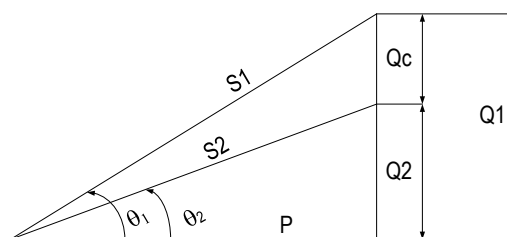
$$Q_1 = S_1 \sen\theta_1 = P \tan\theta_1 \quad (28)$$

P: Potencia activa (w), Q1: Potencia reactiva inicial

S1: Potencia aparente inicial, Cos θ_1 : Factor de potencia inicial, Sen θ_1 : Factor reactivo inicial, θ_1 : Angulo de desfase antes de la compensación.

Figura 3.

Triángulo de potencia con Corrección del factor de potencia. Elaboración Propia



Recolección de datos: Acción que involucra la recopilación, monitoreo y análisis de datos de las mediciones de calidad de potencia eléctrica, las cuales surgieron de la necesidad de llegar a mejorar y controlar el rendimiento en el sistema de energía (Ramos & Riveros, 2018).

El **analizador de redes** se utiliza para determinar de manera objetiva y eficiente la calidad, cantidad, flujo y uso óptimo de estas redes, así como, aquellas características asociadas con la reflexión y transmisión de señales eléctricas, denominados parámetros de dispersión.

Las **redes de distribución de media tensión** se usan especialmente para suministrar energía a clientes industriales. Fundamentalmente, el diseño y la operación de todo el sistema eléctrico requieren de estudios de calidad para garantizar un funcionamiento adecuado.

La **acometida** es toda conexión aérea o subterránea que unen las instalaciones eléctricas de la red de distribución de la empresa suministradora con la caja o cajas generales de protección, siendo necesaria para suministrar energía eléctrica a la instalación de un edificio, viviendas, naves industriales o locales comerciales.

El **Tablero de distribución eléctrica** es el principal centro de carga, donde se encuentran los mandos de los equipos de protección de los diferentes circuitos de la instalación.

Los **cables eléctricos** tienen colores identificativos: cable de línea (Fases): gris, negro y marrón; cables de Neutro: azul claro; y cables de protección (línea tierra): normalmente este cable tiene color amarillo- verde. Su objetivo proteger a las personas, los equipos y las instalaciones. Debe estar conectado a un pozo a tierra.

Potencia perdida en cable, nominal:

$$P_{p-cable-n}(kW) = 3 * R_L * I_L^2 * 10^{-3} \quad (29)$$

Temperatura en cable de alimentación a tablero principal:

$$T_{cable_Tablero} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}} \right)^2 \quad (30)$$

Caída de tensión en cable

$$\Delta U1 = \frac{P_{cálc(w)} * L(m)}{\rho Al * U_n * S_{cond}} \quad (31)$$

Potencia perdida en cable

$$P_{p_cable_Tabl}(kw) = 3 * R_L(\Omega) * I_L^2(A^2) * 10^{-3} \quad (32)$$

Siendo la resistencia del cable: R_L :

$$R_L[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable}(m)}{S_{cable}(mm^2)} \quad (33)$$

La **intensidad absorbida** a carga máxima, para una línea trifásica, se calcula con:

$$I_{max}[A] = \frac{P_{abs}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \cos\phi} \quad (34)$$

siendo:

I_{max} : Corriente máxima absorbida a carga máxima (A)

P_{abs} : Potencia absorbida (nominal) (w)

U_n : Voltaje nominal (V)

$\cos\phi$: Factor de potencia

La **caída de tensión admisible** en conductor se halla con

$$\Delta U_{adm} = \eta_{cond} * U_{barra}, \quad (35)$$

y se cumple : $\Delta U_{cd} < \Delta U_{adm}$

en la cual:

ΔU_{adm} : Caída de tensión admisible (V)

η_{cond} : caída de tensión en el conductor $\leq 2.5\%$

U_{barra} : Voltaje en barra (V)

ΔU_L : Pérdida de tensión en conductor (V).

El **factor de utilización (F.U.)** relación entre la demanda máxima de un sistema y su capacidad nominal.

El **factor de simultaneidad (F.S.)** es la suma de las potencias que necesitan todos los aparatos conectados a tu instalación eléctrica.

$$F.S. = \sum \left(\frac{Pot_{simultáneo i}}{P_{total}} \right) \quad (36)$$

Pot: Potencia nominal del equipo, dato de placa, kw

Pcál = Potencia de cálculo = $\sum Pot_i * F.U. * F.S.$ (kw)

El **factor de carga** permite medir la eficiencia del uso de la capacidad de producción o de la potencia que genera, es la ratio entre la demanda promedio y la máxima, esto se realiza en un periodo determinado.

$$F_c = \frac{\frac{\text{carga total del periodo}}{\text{periodo}}}{\text{carga máxima del periodo}} = \frac{\text{carga promedio del periodo}}{\text{carga máxima del periodo}} \quad (37)$$

Para el cálculo a intensidad máxima, el suministro trifásico soportará la intensidad según potencia que alimenta la línea (Krentz, J.H., 2015)

$$I[A] = \frac{P[w]}{\sqrt{3} \times U[V] \times \cos \varphi} \quad (38)$$

Siendo:

I: Intensidad en amperios (A)

P: Potencia en vatios (V)

U: Tensión en voltios (en monofásico entre fase y neutro = 230V, en trifásico, fase y fase = 400V)

Cos φ : Factor de potencia (0.85 en instalaciones normales, 1 cuando es resistencia pura).

Resistencia óhmica de línea:

$$R_L[\Omega] = R_{\text{unit}} \left(\frac{\Omega}{\text{km}} \right) * L_{\text{cond}}(\text{km}) \quad (39)$$

La **disminución de pérdidas del Sistema Eléctrico** se hace instalando condensadores, que reducen las pérdidas de energía en los alimentadores eléctricos. La potencia reactiva capacitiva que entrega el condensador disminuye la contra parte inductiva, reduciendo la corriente de línea (Ikbal, y otros, 2011). La utilidad de la instalación de un banco de condensadores son el ahorro de energía. Los equipos tendrán mayor eficiencia y las redes de distribución mejoran, por esto es conveniente instalar los bancos de condensadores lo más cercano posible a la carga. (Ikbal y otros, 2011)

La instalación de condensadores se puede realizar en todos los sistemas eléctricos, aunque tenga diferentes rangos de tensión. En los sistemas de distribución de energía, los condensadores se instalan en paralelo para obtener la potencia (KVAR) necesitado por el sistema. Por otra parte, existe la instalación es en serie, pero son adecuadas para sistemas de potencia que requieran un voltaje requerido (Anderson et al., 1996). La investigación y la recopilación de datos de diferentes industrias eléctricas indicaron que el 60% se emplean en alimentadores, el 30% para barras de subestaciones y el 10% en sistemas de transmisión de energía (Kundur, 1994)

Potencia del condensador por fase

$$Q_{c-f} = \frac{Q_{c-trif}}{3} \quad (40)$$

Barras:

Fuerza en barras (kg-f):

$$F (Kg - f) = 2.04 * Ich^2 * L/d \quad (41)$$

F = fuerza sobre las barras (Kg-f)

Ich = corriente de choque

L = longitud entre apoyos de aisladores

d = separación entre barras

Flexión de trabajo (FT):**a) Momento flector máximo (M)**

$$M = F * L/8 \quad (42)$$

b) Momento resistente en la barra (Wr)

$$Wr = h * b^2/6 \quad (43)$$

c) Esfuerzo de flexión de trabajo

$$\sigma_f = M/Wr \quad (44)$$

Cálculo de resonancia de las barras

Ocurre cuando la frecuencia natural (fn) y la frecuencia en barras están muy cerca del +/- 10% de la frecuencia de la red eléctrica o de su múltiplo natural de ella, lo que se requiere que la frecuencia natural esté fuera del intervalo $54 < fn < 66$, $108 < fn < 132$ Hz, de tal modo que se calcula de la siguiente manera:

$$F_n [Hz] = 112 * \sqrt{\frac{E * J}{G * L^2}} \quad (45)$$

siendo:

L = longitud (barra entre apoyos)

E = elasticidad en el módulo

J = momento de inercia

G = peso de la barra

Fn = frecuencia natural (oscilación en barra)

Momento de inercia:

$$J = h * (b)^3/12 (cm^4) \quad (46)$$

Elevación de temperatura:

$$\Delta T = K * (I_{cc})^2 * (t + \Delta t) / (A)^2 \quad (47)$$

K = variable del cobre

A = sección de la barra

Icc = corriente de cortocircuito

T = tiempo de apertura de la protección del dispositivo

Incremento de tiempo de protección

$$\Delta t(s) = (I_{ch}/I_{cc})^2 * t \quad (48)$$

I_{ch} = corriente de choque

T = calor cortocircuito tripolar

Una **conexión a tierra** es importante por proteger la vida humana, la maquinaria, el equipo y los cableados, es importante adherirse y exigir una instalación puesta a tierra, eficiente y adecuada para su servicio (Rojas, 2016).

Los **objetivos del sistema de puesta a tierra** es proporcionar la conexión a tierra en el sistema con un neutro a tierra, también asegura las partes sin corriente, una de ellas es los armazones de los equipos, lo cual siempre estén conectados a tierra, incluso si el aislamiento esta dañado, por otro lado, debe tener medios efectivos para descargar los equipos antes de la aplicación.

Para calcular la resistencia de puesta a Tierra, se ha aplicado la siguiente ecuación:

$$R_T(\Omega) = \frac{\rho_{Terr}}{2\pi * L_{elect}} * Ln\left(\frac{4L_{elect}}{1.36 * d_{elect}}\right) \quad (49)$$

En la cual:

RT: resistencia de un electrodo en Ohms

ρ_{Terr}: resistividad de terreno en Ohms – m

L_{elect}: longitud de electrodo en m

d_{elect}: diámetro de electrodo de cobre en m

electrodos conectados en paralelo

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_t} \rightarrow R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_t}} = \frac{1}{\frac{2}{R_t}} = \frac{R_t}{2} \rightarrow R_t = 2 * R_T \quad (50)$$

Intensidad de corriente estimada de cortocircuito

$$I_{cc} = \frac{U_c}{\sqrt{3} * Z_{cc}} \quad (51)$$

Impedancia de cortocircuito de la línea trifásica

$$Z_{cc} = \rho_{Al} * \frac{L_{cc}}{S_{cble}} \quad (52)$$

Corriente cortocircuito de choque

$$I_{ch} = \sqrt{2} * I_{cc} \quad (53)$$

Resistividad del terreno:

$$\rho_{Terr} = \frac{R_t * 2 * \pi * L_{elect}}{Ln\left(\frac{4 * L_{elect}}{1.36 * d_{elect}}\right)} \quad (54)$$

Información suministrada por la propiedad: Es necesario conocer el horario real de funcionamiento de la instalación, para poder calcular el horario real de funcionamiento en la etapa del recibo.

Para calcular la potencia en una instalación a compensar en un proyecto comprende el método general y el simplificado

Método general: Basado en los datos proporcionados por diferentes fabricantes de receptores, tales como: potencia activa, índice de carga, $\text{Cos}\phi$. Al conocer el factor de simultaneidad de cada equipo en la instalación, se encuentra los niveles de potencia reactiva y activa de la instalación

Método simplificado: Al conocer los siguientes datos se pueden calcular de modo simplificado las demandas de compensación del $\text{cos}\phi$ de una instalación: la potencia activa media de la instalación, el $\text{Cos}\phi$ (objetivo) el $\text{Cos}\phi$ (medio inicial). Estos datos se pueden obtener: Por cálculo: como se menciona en el método general, a partir de estos datos se puede realizar el cálculo por tabla.

Cálculo por tabla: De la potencia en Kw y del $\text{Cos}\phi$ de la instalación: La tabla nos da en función del $\text{Cos}\phi$ de la instalación, antes y después de la compensación, un factor multiplicado por la potencia activa se realiza para encontrar la potencia de la batería de condensadores a instalar.

Cálculo a partir de mediciones: Se realizan diversas medidas en la cara inferior del disyuntor general de protección con la instalación en las condiciones normales de carga. Los datos que se deben medir son los siguientes: la potencia inductiva (KVA_r), la potencia activa (kW), $\text{Cos}\phi$. A partir de estos datos se elige el $\text{Cos}\phi$ medio de la instalación y se verifica dicho valor con el caso más desfavorable.

Calcular la potencia a compensar en una instalación existente:

A partir del recibo de compañía: Es una forma aproximada pero muy práctica para de calcular equipos de compensación de potencia reactiva. Proporciona resultados aceptables, pero puede ser insatisfactorio si existen regímenes de funcionamiento muy diferentes o que se desconozca el tiempo de funcionamiento.

Cálculo de la potencia activa media: Calculando la energía activa (kW-h) gastada en el período y el número de horas disponibles, se calcula la potencia activa media (kW) de la instalación:

$$P = kW - \frac{h}{h} \quad (55)$$

Datos del recibo (obtenidos): Calculo de la energía activa (KW-h) consumida en la etapa:

EA = energía activa fuera de hora punta + Energía activa En hora punta

$$\cos \varphi = KW - h / (kWh^2 + kVarh^2) \quad (56)$$

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada, Según (RENACYT, 2018) es aplicada pues se aplicarán conocimientos científicos y metodológicos en todo el proyecto, enfocado al mejoramiento y a la generación de nuevas tecnologías para determinar una solución a un problema dado.

Presenta **un diseño de investigación no experimental**, ya que se evita la manipulación de las variables, observando y analizado a los fenómenos desde su contexto natural, también **es transversal** por que se analiza el nivel o el estado de las variables en un tiempo específico. (Agudelo, Aignerren & Ruiz, 2008).

3.2 Variables y operacionalización

Variable dependiente

- Análisis de la Calidad de energía eléctrica (Tensión, Frecuencia, Perturbaciones), Pérdida de Potencia en Conductores.

Variable independiente

- Indicadores de calidad de energía. (Tensión, Frecuencia, Perturbaciones), Pérdida de Potencia en Conductores.

3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

Población:

Sistema eléctrico de 380/220V de las empresas de la zona de Trujillo

Muestra:

Sistema eléctrico de 380/220V de la empresa ETRAL SAC

Muestreo:

Según Hernández, Fernández & Baptista (2004) el muestreo es no probabilístico e intencionado, porque los datos que se muestran y se recopilaron en la investigación son directamente de la empresa ETRAL SAC.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica de recolección de datos

- Entrevista con personal de planta, es decir, con personas que reporten las averías del sistema eléctrico
- Recolección de datos

Instrumentos de recolección de datos

Tabla 1.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos

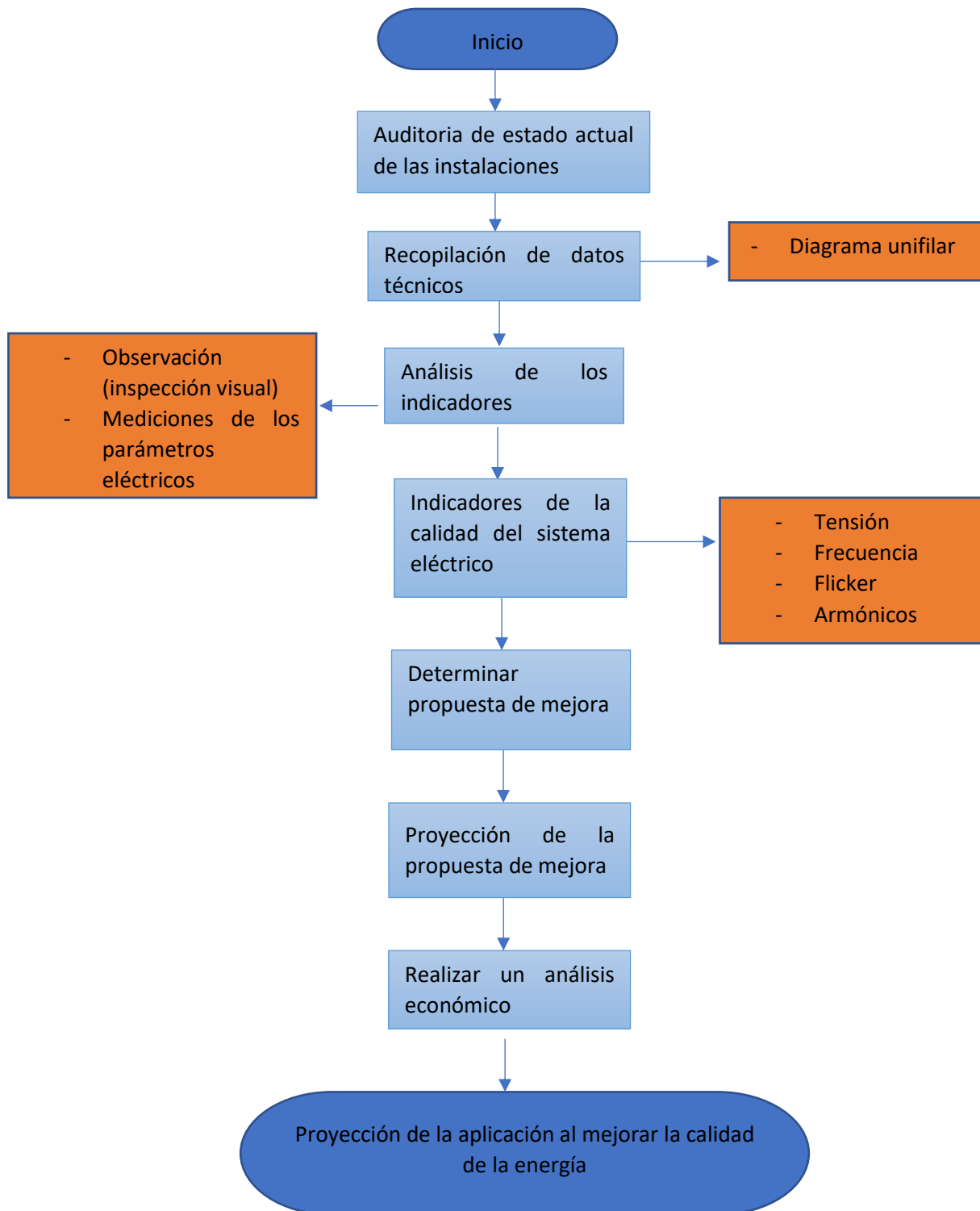
TÉCNICA	INSTRUMENTO	VALIDACIÓN
Entrevista Permite conocer cuándo ocurre la falla del sistema eléctrico de 380/220V de la empresa ETRAL SAC. Asimismo, conocer los criterios para la solución, de acuerdo a la experiencia acumulada	Ficha de entrevista Se realizan preguntas relacionadas a las fallas: <ul style="list-style-type: none">• Tipo de falla• Duración de falla• Consecuencia de falla	Por especialistas
Recolección de datos Permite analizar: <ul style="list-style-type: none">• Consumo de energía por facturación de la empresa• Valores de parámetros eléctricos	Analizador de redes <ul style="list-style-type: none">• Análisis de datos más relevantes del analizador de redes• Datos registrados en documentos que proporcionará ETRAL	Por especialistas

3.5 Procedimientos

Se utilizó un diagrama de flujo para la recolección de todos los datos que se tomó en cuenta en el transcurso de este proyecto de indagación.

Figura 4.

Diagrama de flujo de procedimiento del proyecto de indagación



3.6 Método de análisis de datos

Los valores de las variables del sistema eléctrico fueron obtenidos por los reportes dados por el analizador de redes, los que fueron procesados analíticamente para determinar los indicadores de la calidad de servicio de energía eléctrica.

Los datos derivados de las mediciones del analizador de redes serán corroborados con los datos determinados según la norma técnica D.S. N° 020-97-EM de calidad de los servicios eléctricos, nos apoyaremos mediante la herramienta del cálculo Excel.

3.7 Aspectos éticos

El trabajo de investigación se presenta y realiza con la información necesaria proporcionados directamente por la empresa ETRAL para su desarrollo. También los mismos autores del trabajo de investigación hicieron mediciones directas de tensión trifásica y monofásica, de intensidad de línea y monofásica, lectura de registro de datos

Para dicha investigación se recopiló trabajos previos, lo cual fueron extraídas para el marco teórico, esto se obtuvo de tesis, revistas y artículos científicos, por lo que todo lo que pertenece a los autores de las tesis, son referenciados o en caso contrario serán citados.

IV. RESULTADOS

Para realizar la investigación titulada Análisis de los indicadores de calidad de energía eléctrica de las instalaciones de la empresa Etral SAC, como primer paso se realizó la auditoria encontrando las características y la condición actual de los componentes que forman parte de la instalación eléctrica, siendo estas las siguientes:

Acometida principal

- Cantidad de Fases: 4
- Longitud total del cable trifásico: 427 m
- Sección transversal del cable: 25 mm²
- Tipo de cable: unipolar 600 V, Umáx: 1000 V.
- Material del cable: aluminio
- Tipo de postes: Postes de concreto.
- Cantidad de Postes: 18 Und.
- Vano Max: 32 m.
- Vano Min: 10 m.
- Altura de postes: 9 m

Instalaciones eléctricas internas

- Longitud total del cable trifásico: 136 m.
- Sección transversal del cable: 25 mm²
- Tipo de cable: unipolar 600 V, Umáx: 1000 V.
- Material del cable: aluminio
- Cantidad de tablero principal: 01 Und.
- Cantidad de Sub Tableros: 06 Und.
- Tipo de Canalización: PVC Pesado
- Tipo de Montaje Conducto: Ocultas

Sistema de facturación

- Suministradora: Empresa Regional de Servicios Públicos de electricidad Electronorte Medio SA (HIDRANDINA)
- Tensión Entregada: 380/220 V – BT / D-301289
- Sistema Eléctrico: SE0122 Trujillo (ST2)
- Tipo de Conexión: Trifásica – Aérea (C2.1)
- Opción Tarifaria: BT5B – No Residencial.

- Numero de Hilos: 4
- Potencia Contratada: 5.00 KW
- Frecuencia: 60 Hz
- Tipo de Acometida: Aérea.
- Factor de Potencia: 1.000
- Consumo Promedio (6 Meses): 1,686.83 kWh

Elaboración del diagrama unifilar general de ETRAL SAC

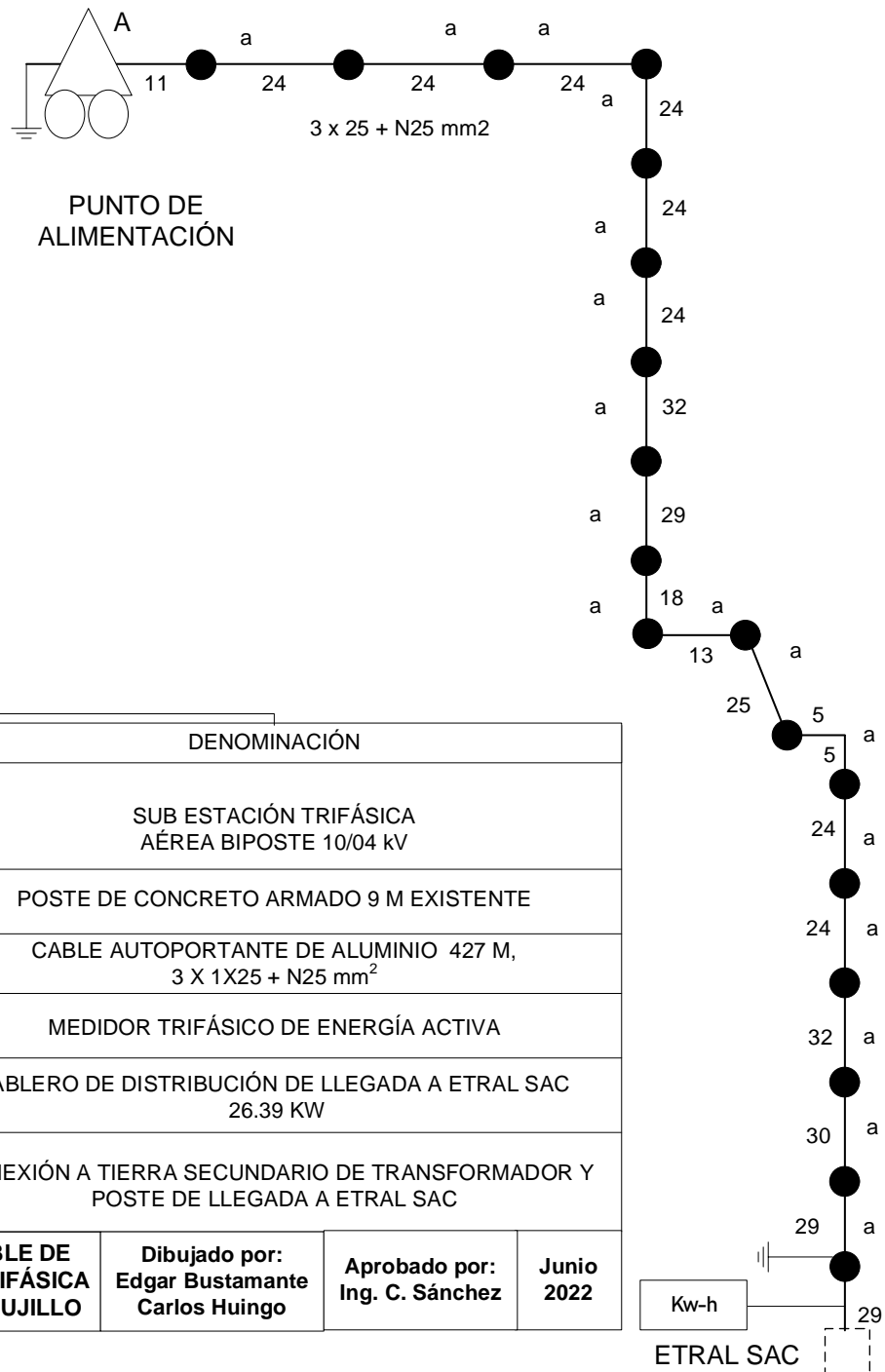
Luego de realizar el trabajo de campo, se elaboraron los diagramas unifilares del sistema general, y de los tableros de distribución.

Se observa que el sistema eléctrico de ETRAL recibe electricidad en 380 V, en cuatro hilos, con neutro, no cuenta con subestación de transformación de tensión, tampoco con conexiones de puesta a tierra y no cuenta con diagrama unifilar. Anexo N°3: Diagrama unifilar actual de ETRAL SAC (Elaboración Propia)

Por otra parte, se verificó la trayectoria del cable de la acometida, empezando desde la zona de alimentación en el transformador y culminando en el medidor trifásico de la empresa

Figura 5.

Cable trifásico unipolar en estrella a Tablero principal ETRAL SAC. Elaboración propia



SÍMBOLO	DENOMINACIÓN
	SUB ESTACIÓN TRIFÁSICA AÉREA BIPOSTE 10/04 KV
	POSTE DE CONCRETO ARMADO 9 M EXISTENTE
a	CABLE AUTOPORTANTE DE ALUMINIO 427 M, 3 X 1X25 + N25 mm ²
	MEDIDOR TRIFÁSICO DE ENERGÍA ACTIVA
	TABLERO DE DISTRIBUCIÓN DE LLEGADA A ETRAL SAC 26.39 KW
	CONEXIÓN A TIERRA SECUNDARIO DE TRANSFORMADOR Y POSTE DE LLEGADA A ETRAL SAC
TENDIDO DE CABLE DE ALIMENTACIÓN TRIFÁSICA A ETRAL SAC - TRUJILLO	Dibujado por: Edgar Bustamante Carlos Huingo
	Aprobado por: Ing. C. Sánchez
	Junio 2022

Por otro lado, se evaluó la situación actual calculando los valores reales tomados desde el tablero principal de distribución hasta el primer tramo

Se realizó el análisis de los datos conseguidos del analizador de redes como la tensión, potencia activa máxima y el factor de potencia, se calcula la pérdida de potencia en conductores de la instalación eléctrica.

Se analiza el comportamiento del cable del cable de salida del primer tramo del tablero, de 40 m, que operan con la máxima intensidad de corriente correspondiente.

El procedimiento es el mismo, lo cual se empleó en el análisis de la distribución de los tableros secundarios

Se prepara una hoja de cálculo con los resultados en ambos casos.

Datos para el análisis:

- Potencia máxima medida y registrada en analizador: 26.39 kw
- Factor de potencia (en analizador de redes): 0.67
- Tensión de línea (analizador de redes): 403 V
- Intensidad de corriente: 56.43 A

Tabla 2.

Cálculo de variable de la acometida principal (transformador hasta el tablero principal. Elaboración Propia

TRAMO		DATOS ANALIZADOR				FICHA TECNICA				RESULTADOS			
Tramo de conductor	Longitud del cable	Potencia activa máx	Tensión de Línea	Intensidad de corriente en tramo	Factor de potencia	Material del Cable	Resistividad eléctrica del material del cable	Sección transversal del cable	Intensidad nominal del conductor In	Resistencia ohmica del cable en tramo	Caída de tensión en tramo	Caída porcentual de tensión en tramo	Potencia activa perdida en tramo
	m	Kw	V	A	-		W*mm2/m	mm2	A	W	V	%	kw
En cable de salida, Tramo 3-4 principal del tablero de distribución principal:													
3 - 4	40	26.39	403	56.43	0.67	Al	0.0286	25	75	0.0458	2.996	0.744%	0.008

En la tabla N 2°: Se evidencia que, para la potencia máxima medida de 26.39 kw, el cable de salida del tablero de distribución principal, en su primer tramo, por el cual pasa la intensidad de corriente total, sí resiste, por tener solamente 40 m y la caída de tensión es menor que la máxima admisible: 0.744 % < 2.5 %.

Por otra parte, se calculó la proyección futura del tablero de distribución principal, tomando valores reales dados por el analizadore de redes

Datos: (Anexo 7. Cálculos de tableros de distribución)

Tabla 3.

Cargas en tablero principal ETRAL SAC. Elaboración propia

Tablero Principal ETRAL SAC 380 V							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kW	Tipo	FSI
1	Tablero Nr.1	16.30	0.70	0.7031	8.02	Trif. Estrella	12.65%
2	Tablero Nr.2	11.65	0.70	0.7031	5.73	Trif. Estrella	9.04%
3	Tablero Nr.3	15.50	0.70	0.7031	7.63	Trif. Estrella	12.03%
4	Tablero Nr.4	16.75	0.70	0.7031	8.24	Trif. Estrella	13.00%
5	Tablero Nr.5	36.00	0.70	0.7031	17.72	Trif. Estrella	27.94%
6	Tablero Nr.6	21.50	0.70	0.7031	10.58	Trif. Estrella	16.69%
7	Tablero Cargas Monofásicas	11.14	0.60	0.7031	4.70	Monofásico	8.65%
		128.84			62.63		70.31%

Potencia activa instalada en ETRAL SAC: 128.84 kw

Potencia activa de cálculo en ETRAL SAC: 62.63 kw

Intensidad de línea máxima:

De la ecuación 38 obtuvimos 133.91 A

Resistencia óhmica de línea:

De la ecuación 33, obtuvimos 0.488 Ω

a. Cálculos en condiciones nominales, a plena carga

Caída de tensión máxima de cálculo:

De la ecuación 4, obtuvimos 113.18V

Caída porcentual nominal de voltaje:

De la ecuación 5, obtuvimos 28.08% $\gg \Delta U_{adm} = 2.5\%$

Potencia perdida en cable, nominal:

De la ecuación 29, obtuvimos 26.252kw

Temperatura en cable de alimentación a tablero principal:

De la ecuación 30, obtuvimos 189.39°C

b. Cálculos en condiciones máximas de operación actual:

Caída de tensión máxima en operación:

De la ecuación 4, obtuvimos 23.075V

Caída porcentual máxima de voltaje en operación:

De la ecuación 5, obtuvimos 5.72% $> \Delta U_{adm} = 2.5\%$

Potencia perdida en cable, máxima en operación:

De la ecuación 29, obtuvimos $0.78kw$

Temperatura en cable de alimentación a tablero principal:

De la ecuación 30, obtuvimos $36.62^{\circ}C$

c. Cálculos con valores promedio de operación:

Caída de tensión promedio en operación:

De la ecuación 4, obtuvimos $8.89V$

Caída porcentual máxima de voltaje:

De la ecuación 5, obtuvimos $2.20\% < \Delta U_{adm} = 2.5\%$

Potencia perdida promedio en cable:

De la ecuación 32, obtuvimos $0.162kw$

Temperatura en cable de alimentación a tablero principal:

De la ecuación 30, obtuvimos $30.98^{\circ}C$

Potencias encontradas en bornes llegada tablero principal:

- **Potencia activa máxima en operación:**

De la ecuación 25, obtuvimos $12.77kw$ $\arccos\phi = \arccos0.67 = 47.93^{\circ}$

- **Potencia reactiva máxima:**

De la ecuación 26, obtuvimos $14.15k\ var$

- **Potencia aparente máxima:**

De la ecuación 22, obtuvimos $19.060\ KVA$

Figura 6.

Triángulo de potencias, sin distorsión armónica. Elaboración propia

Triángulo de potencias máximo en ETRAL SAC:

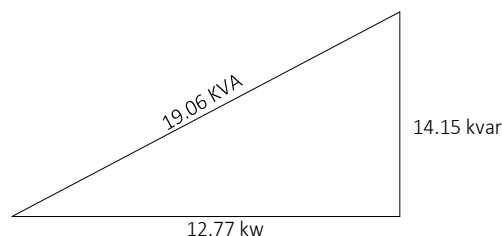
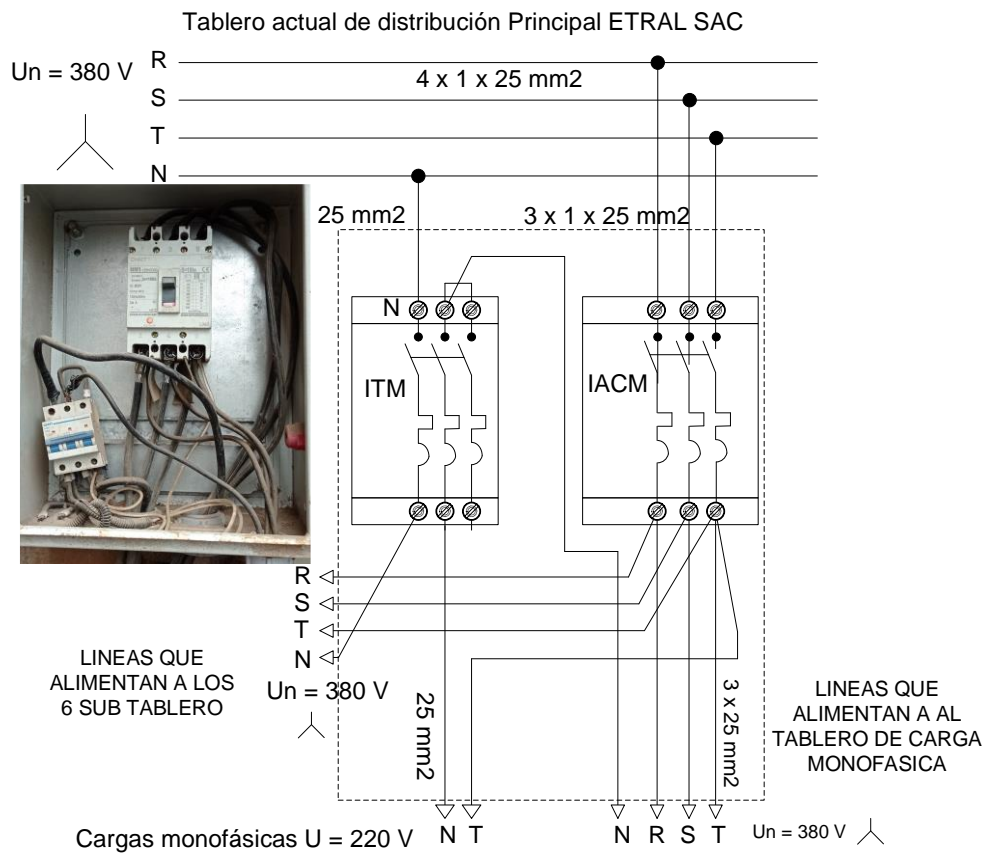


Diagrama unifilar de tablero de distribución primaria

Figura 7.

Diagrama unifilar de tablero de distribución principal. Elaboración propia



Comentario:

- No se cuenta con conexión a tierra, no hay un adecuado tendido de cables, no hay barras de distribución de electricidad.
- Tiene interruptor automático de tres fases vivas y un interruptor termomagnético trifásico para la conexión de neutro.
- No hay instrumentos de medida.
- El tablero principal es alimentado con tensión triásica en cuatro hilos, en estrella, en 380 V, 60 Hz, cable unipolar de aluminio, tres de fase con S = 25 mm² y un cuarto de neutro con S = 25 mm²

Verificación del tablero de distribución secundario nr. 1

Diagrama unifilar del tablero de distribución secundaria nr. 1

Figura 8.

Diagrama unifilar de tablero de distribución secundario Nr. 1. Elaboración propia

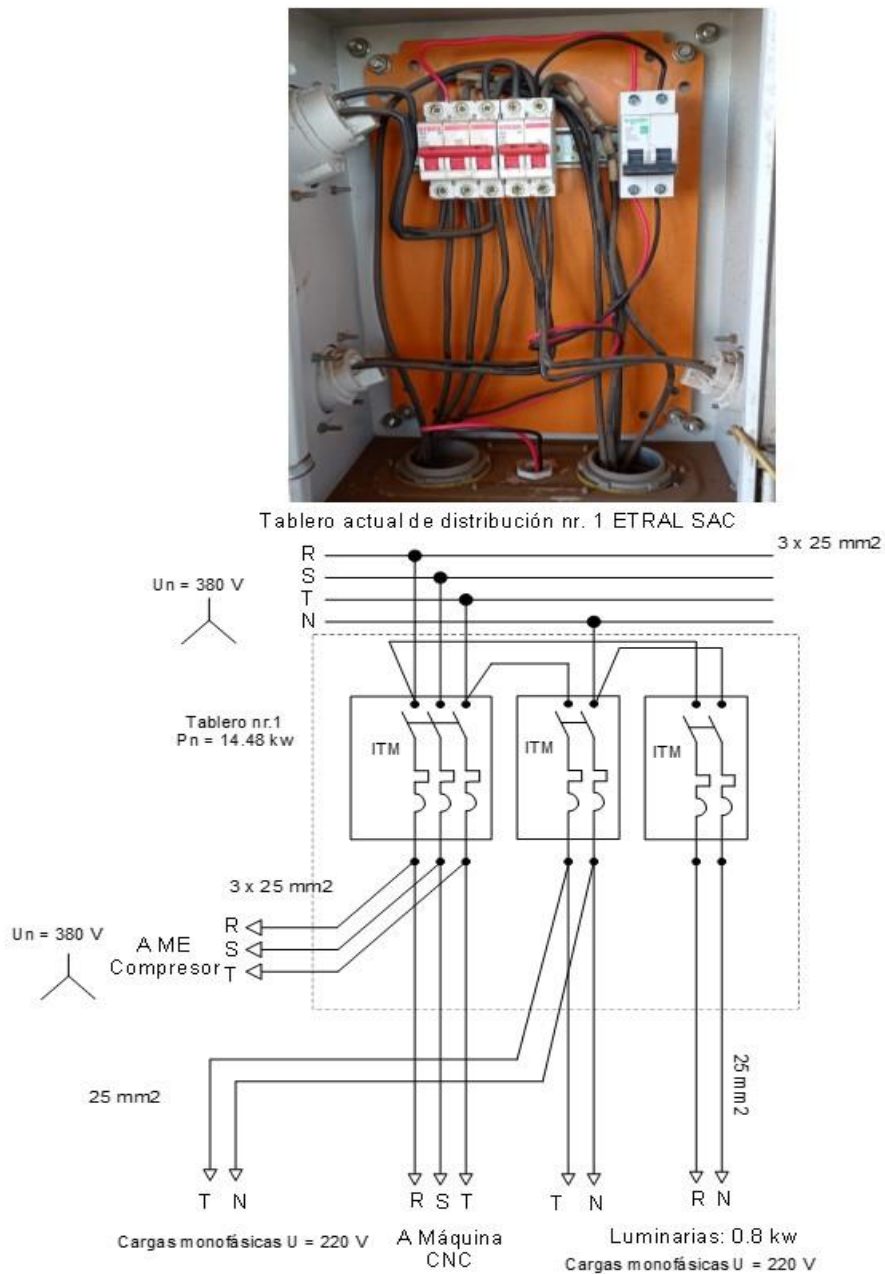


Tabla 4.

Cargas del tablero nr.1. Elaboración propia

Tablero Nr.1							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kW	Tipo	FSI
1	Máquina de soldar	7.50	0.70	0.86	4.51	Trifásica	46.01%
2	Compresora 0.75 M3/min	5.00	0.70	0.86	3.01	Trifásica	30.67%
3	Máquina CNC	1.50	0.80	0.86	1.03	Monof.	9.20%
4	Amoladora (4 1/2")	1.50	0.70	0.86	0.90	Monof.	9.20%
5	LUMINARIA 1	0.80	0.90	0.86	0.62	Monof.	4.91%
		16.30			10.07		85.89%

Tablero nr. 1:

- Potencia teórica: 16.30 kw
- Factor de utilización: 0.7...0.8
- Potencia de cálculo del tablero: 10.07 kw
- Tensión trifásica entrada a tablero: 400 V
- Nivel de aislamiento del cable: XLP-1000 V
- Material del cable: Aluminio
- Tipo de cable: unipolar con aislamiento
- Longitud cable de acometida desde 4 a tablero 1 (borne 15), $L_{4-15} = 9.30$ m
- Coeficiente de simultaneidad: 0.86
- Tipo de canalización del cable: Bandeja perforada
- Sección transversal del conductor: 25 mm^2
- Intensidad nominal del conductor de alimentación: 75 A
- El tablero de distribución nr. 1 cuenta con dos cargas trifásicas y tres cargas monofásicas, que no están equilibradas, solamente toman de las fases R-N y T-N, la fase S-N esta libre.
- Interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$: De la ecuación 38, obtuvimos 21.694 A

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.1

De la ecuación 31. Obtuvimos 0.27V

Caída porcentual de tensión: De la ecuación 5, obtuvimos 0.0675 % < 2.5%

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 1:

Siendo la resistencia del cable: R_{L4-15} , de la ecuación 33, obtuvimos = 0.0105Ω

De la ecuación 29, obtuvimos 0.015 kW .

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 1:

De la ecuación 30, obtuvimos 34.18°C

Verificación del tablero secundario nr. 2

Diagrama unifilar del tablero de distribución secundaria nr. 2

Figura 9.

Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 2. Elaboración propia

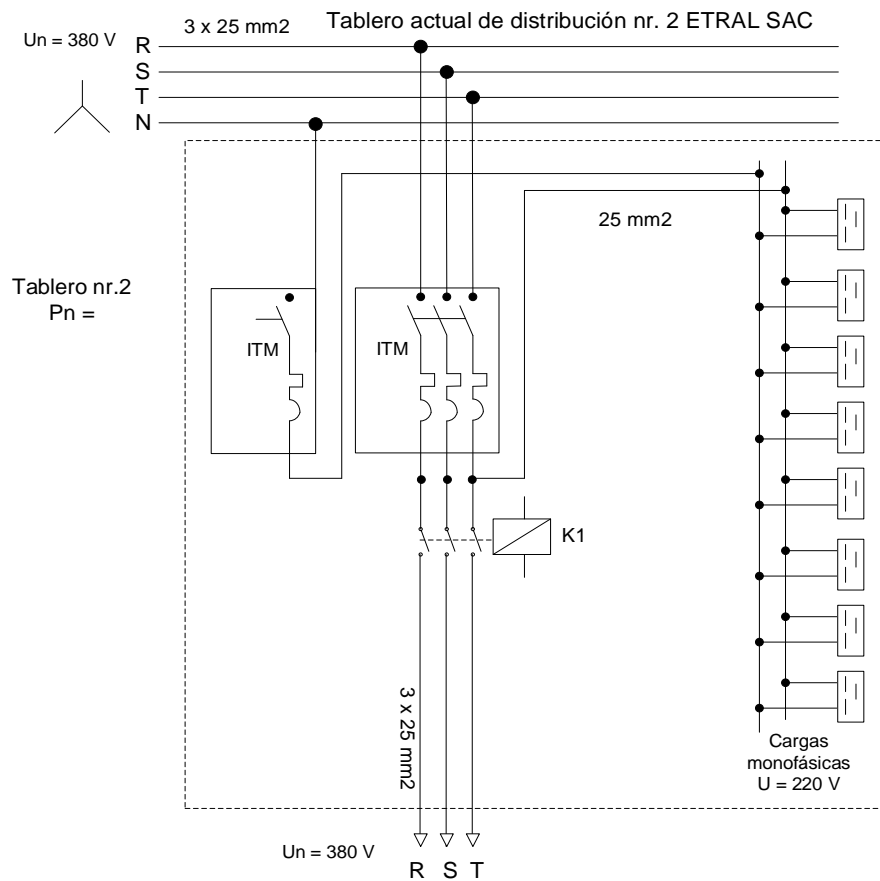
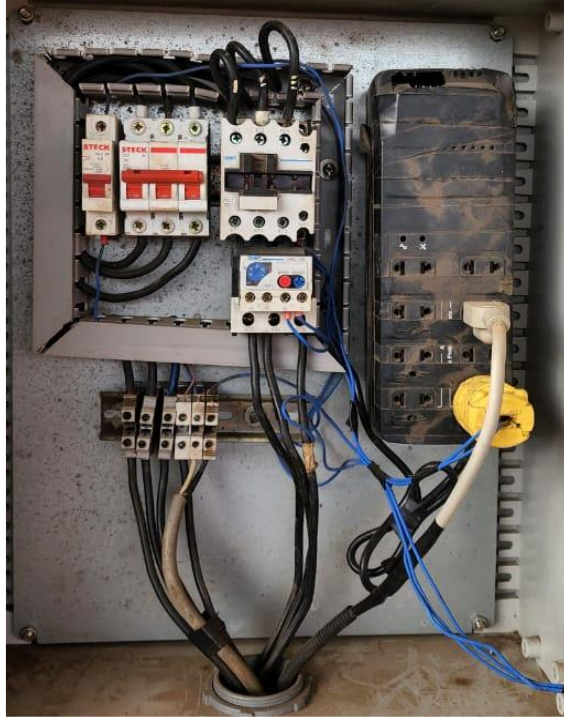


Tabla 5.*Cargas del tablero nr.2. Elaboración propia*

Tablero Nr.2							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kw	Tipo	FSI
1	Máquina de soldar	8.50	0.75	0.90	5.75	Trifásica	72.96%
2	Compresora 0.40 M3/min	2.00	0.60	0.90	1.08	Monofásica	17.17%
3	LUMINARIA 5	1.15	0.90	0.90	0.93	Monofásica	9.87%
		11.65			7.76		90.13%

Tablero nr. 2:

- Potencia teórica: 11.65 kw
- Factor de utilización: 0.6...0.9
- Potencia de cálculo: 7.76 kw
- Tensión trifásica entrada a tablero: 400 V
- Nivel de aislamiento del cable: XLP-1000 V
- Material del cable: Aluminio
- Tipo de cable: unipolar con aislamiento
- Longitud del cable, desde tablero Nr. 1 al Nr. 2: $L_{17-18} = 2.30$ m
- Coeficiente de simultaneidad: 0.90
- Tipo de canalización del cable: Bandeja perforada
- Sección transversal del conductor: 25 mm^2
- Intensidad nominal del conductor de alimentación: 75 A
- El tablero de distribución nr. 2 cuenta con una carga trifásica y dos cargas monofásicas, que no están equilibradas, solamente toman de las fases R-N y T-N, la fase S-N esta libre.
- El tablero nr. 2 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$: De la ecuación 38, obtuvimos 16.72 A

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.2

De la ecuación 31, obtuvimos 0.051V

Caída porcentual de tensión: De la ecuación 5: $0.01275 \% < 2.5\%$

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 2, $P_{p-cable}$:

Siendo la resistencia del cable: R_{L17-18} , de la ecuación 33, obtuvimos 0.00263Ω

De la ecuación 29, obtuvimos 0.0022kw

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 2:

De la ecuación 30, obtuvimos 32.48°C

Verificación del tablero secundario nr. 3

Diagrama unifilar del tablero de distribución secundaria nr. 3

Figura 10.

Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 3. Elaboración propia

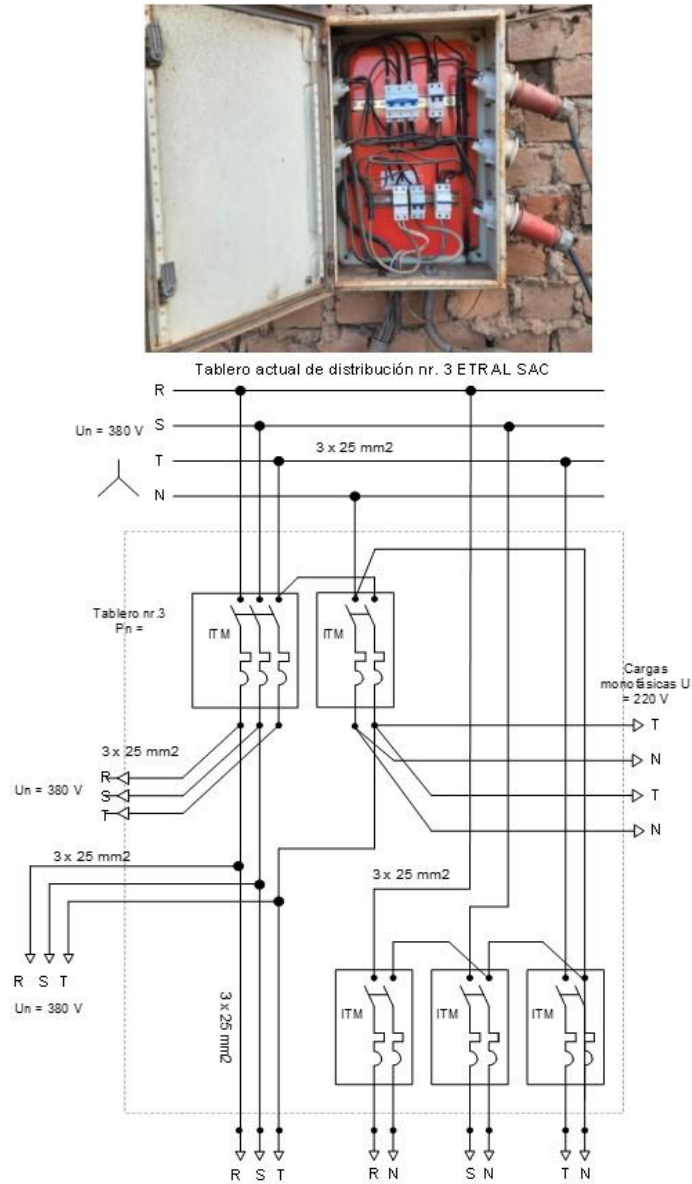


Tabla 6.*Cargas del tablero nr. 3. Elaboración propia*

Tablero Nr.3							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kW	Tipo	FSI
1	Máquina de soldar	7.50	0.70	0.61	3.22	Trifásica	48.39%
2	Amoladora (7")	2.50	0.60	0.61	0.92	Monofásica	16.13%
3	Compresor a Pistones	2.00	0.75	0.61	0.92	Monofásica	12.90%
4	Trozadora	3.50	0.70	0.61	1.50	Monofásica	22.58%
		15.50			6.56		

Tablero nr. 3:

- Potencia teórica: 15.50 kw
- Factor de utilización: 0.6...0.75
- Potencia de cálculo: 6.56 kw
- Tensión trifásica entrada a tablero: 400 V
- Nivel de aislamiento del cable: XLP-1000 V
- Material del cable: Aluminio
- Tipo de cable: unipolar con aislamiento
- Longitud del cable, desde conexión 4 a tablero 3 (borne 16), $L_{4-5-16} = 18.40$ m
- Coeficiente de simultaneidad: 0.61
- Tipo de canalización del cable: Bandeja perforada
- Sección transversal del conductor: 25 mm²
- Intensidad nominal del conductor de alimentación: 75 A
- El tablero de distribución nr. 3 cuenta con una carga trifásica y dos cargas monofásicas, que no están equilibradas, solamente toman de las fases R-N y T-N, la fase S-N esta libre.
- El tablero nr. 3 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$: De la ecuación 38, obtuvimos 14.13 A

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.3

De la ecuación 31, obtuvimos 0.35V

Caída porcentual de tensión: De la ecuación 5, obtuvimos 0.0875 % < 2.5%

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 3:

Siendo la resistencia del cable: R_{L17-18} , de la ecuación 33, obtuvimos 0.021Ω

De la ecuación 29, obtuvimos 0.0126kw

Temperatura en cable de alimentación a tablero 3: De ecuación 30: 31.77°C

Verificación del tablero secundario nr. 4

Diagrama unifilar del tablero de distribución secundaria nr. 4

Figura 11.

Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 4. Elaboración propia

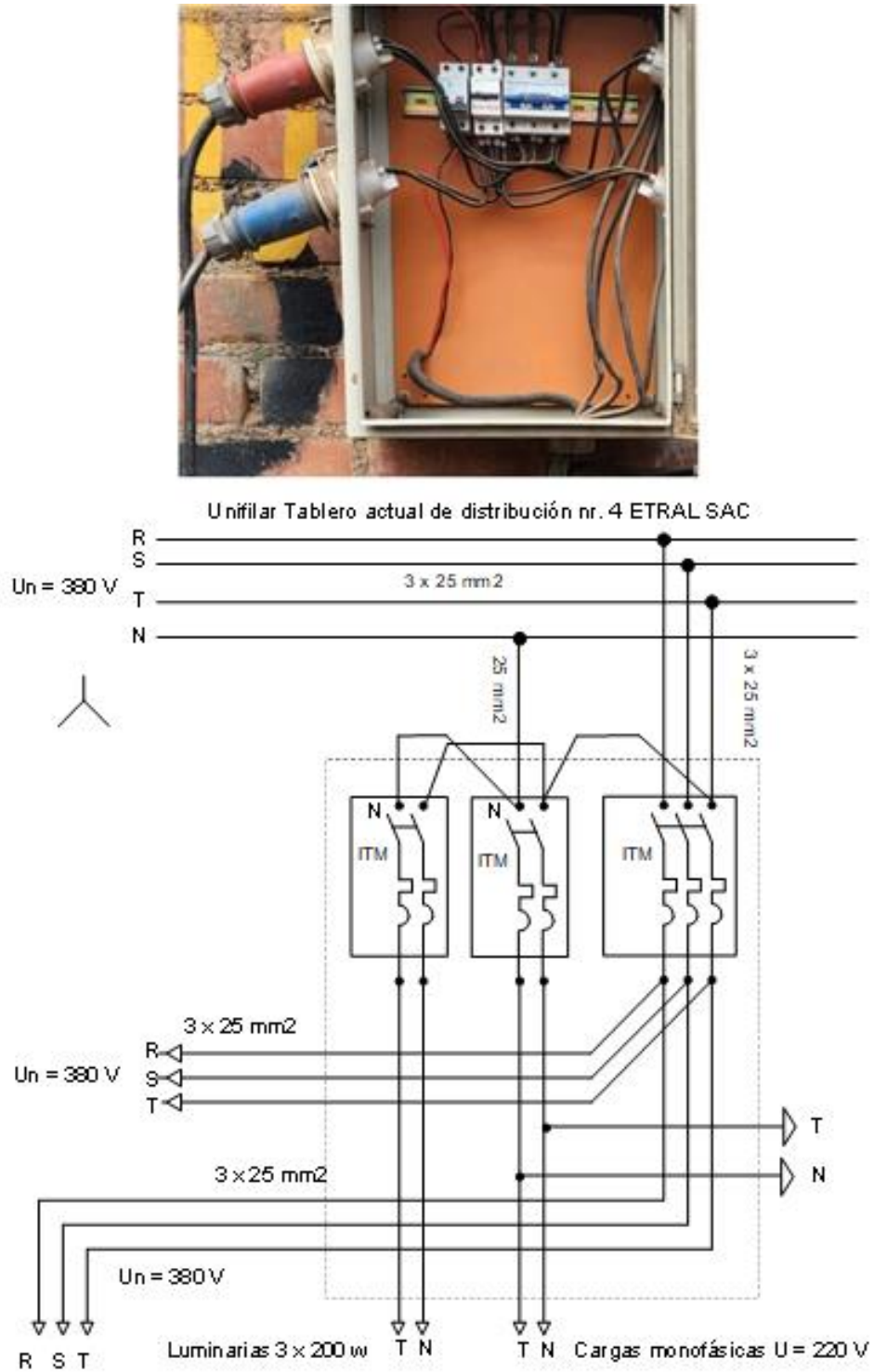


Tabla 7.

Cargas del tablero nr. 4. Elaboración propia

Tablero Nr.4							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kW	Tipo	FSI
1	Máquina de soldar	8.50	0.70	0.66	3.91	Trifásica	50.75%
2	Taladro de Mesa	0.75	0.60	0.66	0.30	Monof.	4.48%
3	Amoladora 02 (7")	2.50	0.70	0.66	1.15	Monof.	14.93%
4	Amoladora 03 (7")	2.50	0.70	0.66	1.15	Monof.	14.93%
5	Amoladora 04 (7")	2.50	0.70	0.66	1.15	Monof.	14.93%
		16.75			7.65		65.67%

Tablero nr. 4:

- Potencia teórica: 16.75 kw
- Factor de utilización: 0.6...0.70
- Potencia de cálculo: 7.65 kw
- Tensión trifásica entrada a tablero: 400 V
- Nivel de aislamiento del cable: XLP-1000 V
- Material del cable: Aluminio
- Tipo de cable: unipolar con aislamiento
- Longitud del cable, desde conexión nr. 9 a tablero 4 (conexión 10), $L_{9-10} = 3$ m
- Coeficiente de simultaneidad: 66 %
- Tipo de canalización del cable: Bandeja perforada
- Sección transversal del conductor: 25 mm²
- Intensidad nominal del conductor de alimentación: 75 A
- El tablero nr. 4 tiene una carga trifásica y cuatro cargas monofásicas, que no están equilibradas, trabaja una amoladora a la vez; solo trabajan las fases R-N y T-N, la fase S-N esta libre.
- El tablero nr. 4 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$: De la ecuación 38, obtuvimos 16.48 A

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.4

De la ecuación 31, obtuvimos 0.065V

Caída porcentual de tensión: De la ecuación 5, obtuvimos 0.01625%

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 4:

Siendo la resistencia del cable: R_{L9-10} , de la ecuación 33, obtuvimos 0.00342Ω

De la ecuación 29, obtuvimos 0.0028kw

Temperatura cable de alimentación a tablero 4: De la ecuación 30: 32.41 °C

Verificación del tablero secundario nr. 5

Diagrama unifilar del tablero de distribución secundaria nr. 5

Figura 12.

Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 5. Elaboración propia

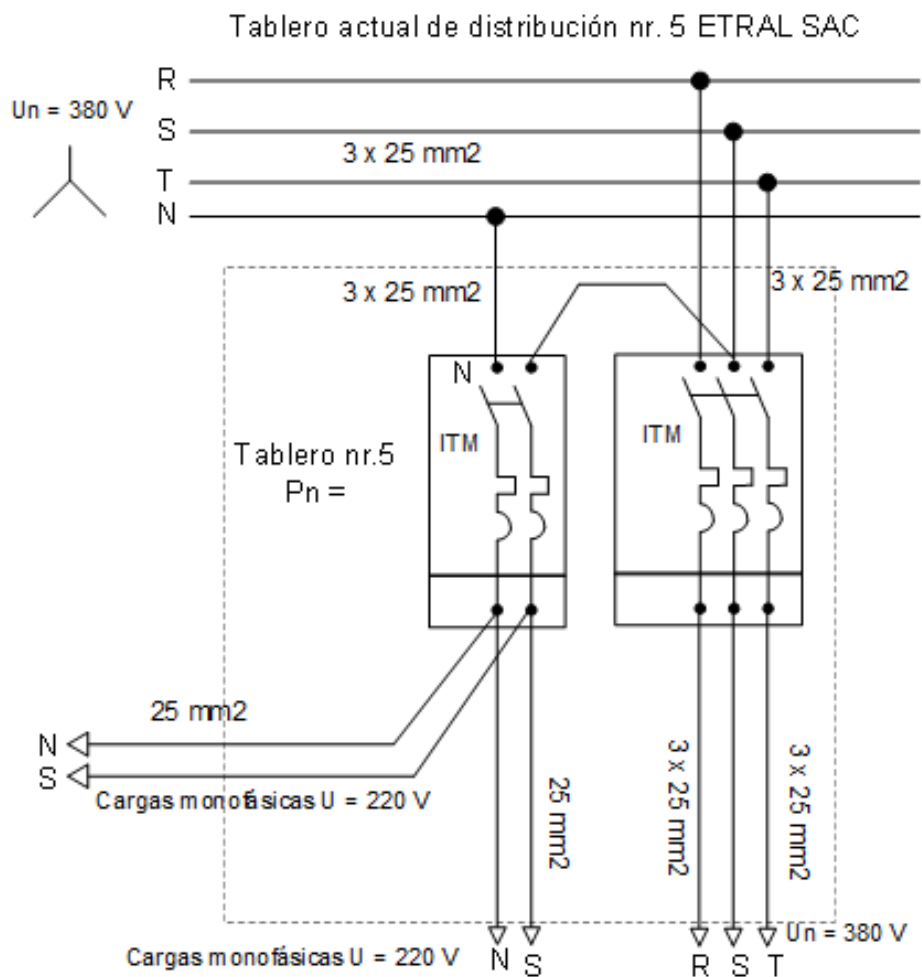


Tabla 8.*Cargas del tablero nr. 5. Elaboración propia*

Tablero Nr.5							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kW	Tipo	FSI
1	Máquina de soldar	8.50	0.70	0.44	2.64	Trifásica	23.61%
2	Máquina de soldar	7.00	0.70	0.44	2.18	Trifásica	19.44%
3	Máquina de soldar	5.00	0.70	0.44	1.56	Trifásica	13.89%
4	Sierra Circular	2.50	0.75	0.44	0.83	Monofásica	6.94%
5	Amoladora 05 (7")	2.50	0.70	0.44	0.78	Monofásica	6.94%
6	Amoladoras chicas	10.50	0.60	0.44	2.80	Monofásica	29.17%
		36.00			10.79		44.44%

Tablero nr. 5:

- Potencia teórica: 36 kw
- Factor de utilización: 0.6...0.70
- Potencia de cálculo: 10.79 kw
- Tensión trifásica entrada a tablero: 400 V
- Nivel de aislamiento del cable: XLP-1000 V
- Material del cable: Aluminio
- Tipo de cable: unipolar con aislamiento
- Longitud del cable alimentación al tablero 5, desde conexión nr. 11 a tablero Nr. 5 (conexión 12), $L_{11-12} = 3$ m
- Coeficiente de simultaneidad: 44 %
- Tipo de canalización del cable: Bandeja perforada
- Sección transversal del conductor: 25 mm²
- Intensidad nominal del conductor de alimentación: 75 A
- El tablero nr. 5 tiene tres carga trifásica y tres cargas monofásicas, no equilibradas, trabajan fases R-N y T-N, la fase S-N esta libre.
- El tablero nr. 5 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$: De la ecuación 38, obtuvimos 23.24 A

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero 5: De ec. 31: 0.093 V

Caída porcentual de tensión: De la ecuación 5, obtuvimos 0.023%

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 5:

Siendo la resistencia del cable: R_{L11-12} , de la ecuación 33, obtuvimos 0.00342Ω

De la ecuación 29, obtuvimos 0.0055kw

Temperatura en cable de alimentación a tablero 5: De ecuación 30: 34.80°C

Verificación del tablero secundario nr. 6

Diagrama unifilar del tablero de distribución secundaria nr. 6

Figura 13.

Diagrama unifilar de tablero de distribución secundaria nr. 6. Elaboración propia

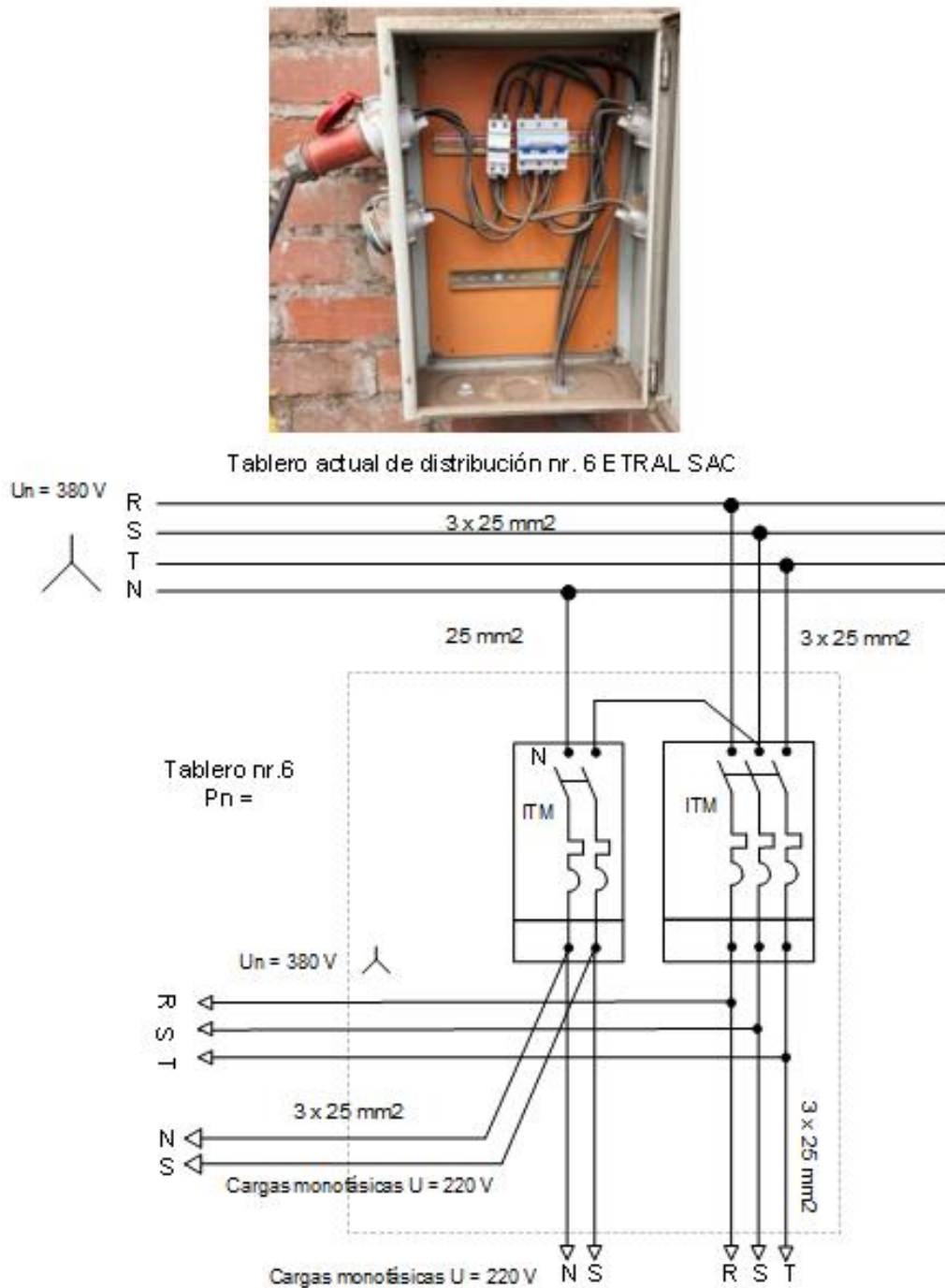


Tabla 9.*Cargas del tablero nr. 6. Elaboración propia*

Tablero Nr.6							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kW	Tipo	FSI
1	Máquina de soldar	9.00	0.70	0.53	3.37	Trifásica	41.86%
2	Máquina de soldar	5.00	0.70	0.53	1.87	Trifásica	23.26%
3	Amoladora 01 (7")	2.50	0.70	0.53	0.94	Monofásica	11.63%
4	Amoladora 06 (7")	2.50	0.75	0.53	1.00	Monofásica	11.63%
5	Amoladora 07 (7")	2.50	0.70	0.53	0.94	Monofásica	11.63%
		21.50			8.12		53.49%

Tablero nr. 6:

- Potencia teórica: 21.50 kw
- Factor de utilización: 0.70...0.75
- Potencia de cálculo: 8.12 kw
- Tensión trifásica entrada a tablero: 400 V
- Nivel de aislamiento del cable: XLP-1000 V
- Material del cable: Aluminio
- Tipo de cable: unipolar con aislamiento
- Longitud del cable alimentación al tablero 6, desde conexión nr. 13 a tablero Nr. 6 (conexión 14), $L_{13-14} = 3$ m
- Coeficiente de simultaneidad: 53 %
- Tipo de canalización del cable: Bandeja perforada
- Sección transversal del conductor: 25 mm²
- Intensidad nominal del conductor de alimentación: 75 A
- El tablero nr. 6 tiene dos cargas trifásicas y dos monofásicas, no equilibradas, trabajan fases R-N y T-N, la fase S-N esta libre.
- El tablero nr. 6 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$: De la ecuación 38, obtuvimos 17.49 A

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.6

De la ecuación 31, obtuvimos 0.070V

Caída porcentual de tensión: De la ecuación 5, obtuvimos 0.0175%

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 6:

Siendo la resistencia del cable: $R_{L_{13-14}}$, de la ecuación 33, obtuvimos 0.00342Ω

De la ecuación 29, obtuvimos 0.0032kw

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 6:

De la ecuación 30, obtuvimos 32.72°C

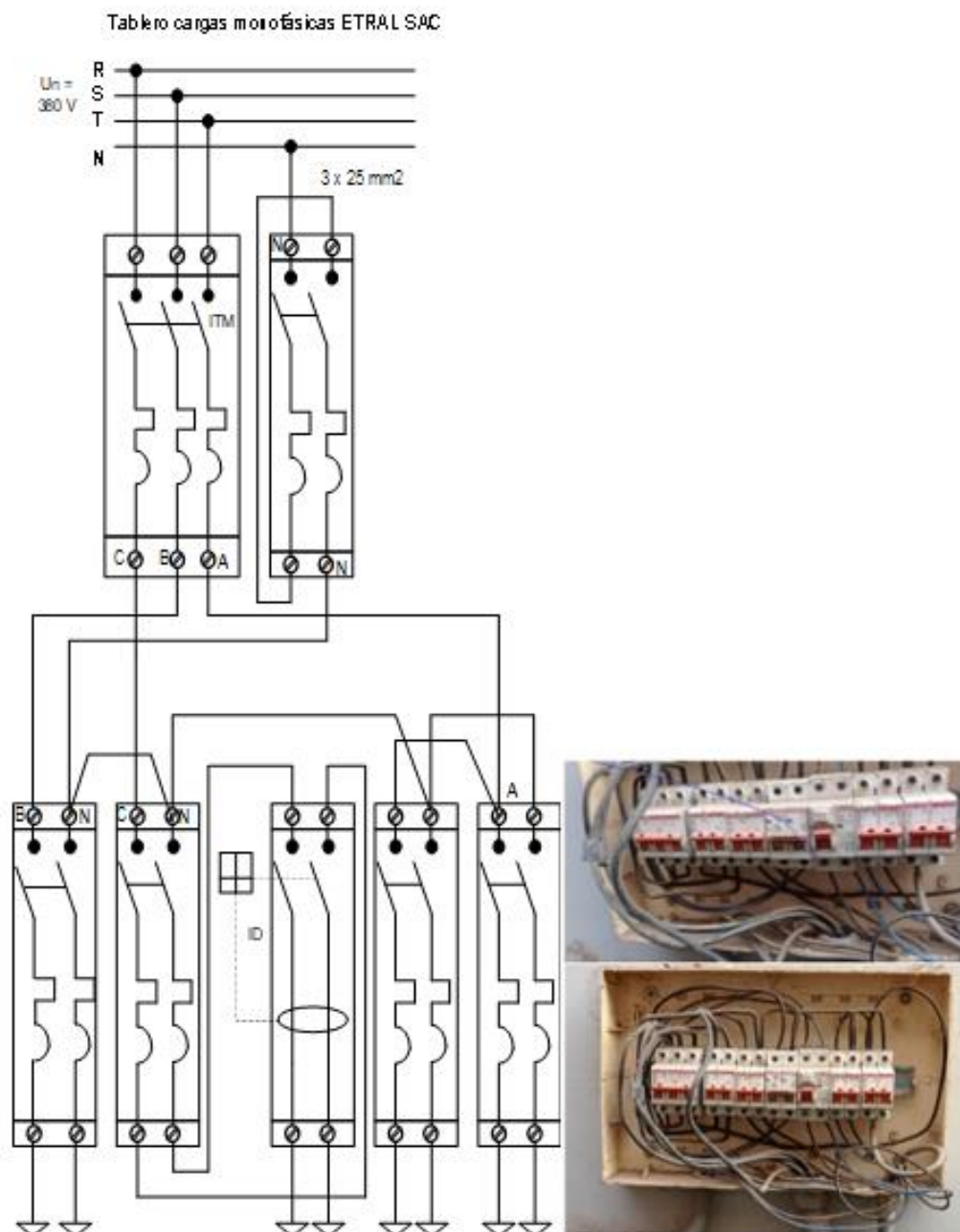
La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 6 es baja, es bastante aceptable, $32.72^{\circ}\text{C} \ll 80^{\circ}\text{C}$ (temperatura nominal del cable).

Verificación del tablero para cargas monofásicas

Diagrama unifilar del tablero de cargas monofásicas

Figura 14.

Diagrama unifilar de tablero de distribución para cargas monofásicas de ETRAL SAC. Elaboración propia



Tablero de cargas monofásicas: (Anexo 4: Cargas del tablero monofásico)

- Potencia teórica: 11.14 kw
- Factor de utilización: 0.60...0.70
- Potencia de cálculo: 5.43 kw
- Tensión trifásica entrada a tablero: 400 V
- Nivel de aislamiento del cable: XLP-1000 V
- Material del cable: cobre
- Tipo de cable: unipolar con aislamiento
- Longitud del cable alimentación al tablero de cargas monofásicas: $L_{3-6} = 16\text{m}$
- Coeficiente de simultaneidad: 73.79 %
- Tipo de canalización del cable: Bandeja perforada
- Sección transversal del conductor: 16 mm^2
- Intensidad nominal del conductor de alimentación: 55 A
- El tablero monofásico cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35\text{ A}$; Curva D; Poder de corte: 20 kA

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$:

De la ecuación 38, obtuvimos 11.70 A

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero monofásico

De la ecuación 31, obtuvimos 0.24V

Caída porcentual de tensión:

De la ecuación 5, obtuvimos $0.0625\% < \Delta U_{adm} = 2.5\%$

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero monofásico:

Siendo la resistencia del cable: $R_{L_{3-6}}$, de la ecuación 33, obtuvimos 0.0033Ω

De la ecuación 29, obtuvimos 0.00131 kw

Temperatura en cable de alimentación a tablero monofásico:

De la ecuación 30, obtuvimos 32.26°C

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 6 es baja, es bastante aceptable, $32.26^\circ\text{C} \ll 80^\circ\text{C}$ (temperatura nominal del cable).

Asimismo, se recopiló los datos técnicos de los equipos que se utilizan en las instalaciones eléctricas actuales de la empresa ETRAL SAC

Los equipos de las instalaciones eléctricas de ETRAL SAC son motores eléctricos, máquinas de soldar, luminarias, equipos de cómputo, estos equipos operan entre 0.02 y 9 KW de potencias que tienen los siguientes datos técnicos:

(Anexo 5: Inventario de equipos eléctricos en ETRAL SAC)

Potencia total instalada en ETRAL SAC: 128.84 kw

Potencia instalada de cargas trifásicas:

$$7.5 + 8.5 + 7.5 + 8.5 + 8.5 + 7 + 5 + 9 + 5 + 5 = 71.50 \text{ kw}$$

Potencia instalada de cargas monofásicas: 57.34 kw

Luego, se realizó el análisis de los cables en sistema eléctrico de las instalaciones:

Tabla resumen detallando todos los cálculos obtenidos de cada tramo del sistema de distribución eléctrico de planta.

Los cálculos se encuentran en el Anexo 8 (cálculos por tramos) con la ayuda del Anexo 6: Intensidades de línea en sistema eléctrico ETRAL SAC

Tabla 10.

Análisis del cable interno sistema eléctrico de ETRAL SAC. Elaboración Propia

ANÁLISIS DE CABLE EN SISTEMA ELÉCTRICO ETRAL SAC															
It	Tramo de conductor	Longitud de conductor	Material del Cable	Tensión Promedio	Resistividad eléctrica del material del cable	Sección transversal del cable	Intensidad de corriente en tramo	Resistencia ohmica del cable en tramo	Caída de tensión en tramo	Caída porcentual de tensión en tramo	Potencia activa perdida en tramo	Intensidad nominal del conductor In	Temperatura del cable	Observaciones	Recomendaciones
		m		V	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	mm^2	A	Ω	V	%	kw	A	$^{\circ}\text{C}$		
1	1 - 2	427	Al	403	0.0286	25	133.91	0.4885	CABLE DE ACOMETIDA A TABLERO PRINCIPAL						
2	3 - 4	40	Al	403	0.0286	25	111.405	0.0458	8.830	2.191%	1.704	75	140.32	Cambiar cable	
3	3 - 6	16	Cu	403	0.0175	16	10.125	0.0175	0.307	0.076%	0.005382	75	30.91	Aceptable	
4	4 - 7	3.8	Al	403	0.0286	25	96.39	0.0043	0.726	0.180%	0.121170	75	112.59	Aceptable	Cambiar cable
5	4 - 5 - 16	18.4	Al	403	0.0286	25	60.56	0.0210	2.208	0.548%	0.231599	75	62.60	Aceptable	Cambiar cable
6	7 - 15 - 15'	14.1	Al	403	0.0286	25	35.83	0.0161	1.001	0.248%	0.062124	75	41.41	Aceptable	
7	17 - 18	2.3	Al	403	0.0286	25	14.09	0.0026	0.064	0.016%	0.001567	75	31.76	Aceptable	
8	7 - 8 - 9	32.8	Al	403	0.0286	25	16.5	0.0375	1.072	0.266%	0.030647	75	32.42	Aceptable	
9	9 - 11	3.2	Al	403	0.0286	25	44.06	0.0037	0.279	0.069%	0.021320	75	47.26	Aceptable	
10	9 - 10	3	Al	403	0.0286	25	16.5	0.0034	0.098	0.024%	0.002803	75	32.42	Aceptable	
11	11 - 13 - 14	15.4	Al	403	0.0286	25	20.06	0.0176	0.612	0.152%	0.021268	75	33.58	Aceptable	

A continuación, como segundo paso se analizó los registros de los valores obtenidos mediante el instrumento de recolección de datos

Analizador de redes FLUKE

Información del instrumento

- **Número de modelo:** 435-II
- **Número de serie:** 21463106
- **Revisión de firmware:** V05.02

Información de software

- **Versión de Power Log:** 5.9
- **Versión FLUKE 430-II DLL:** 1.2.0.14

Resumen de registros

- Registros RMS 461
- Registros de frecuencia 461
- Registros de armónicos 461
- Registros de armónicos de potencia 461
- Registros de potencia 461
- Registros de energía 461
- Registros de parpadeos 461
- Registros de señalización de la red principal 461

Análisis de las variaciones de tensión (Voltaje) de larga duración

Salida de Voltaje: 400V (Un)

Sobretensión máxima permisible: $380 + 19 = 399$ VAC (Un + 5%)

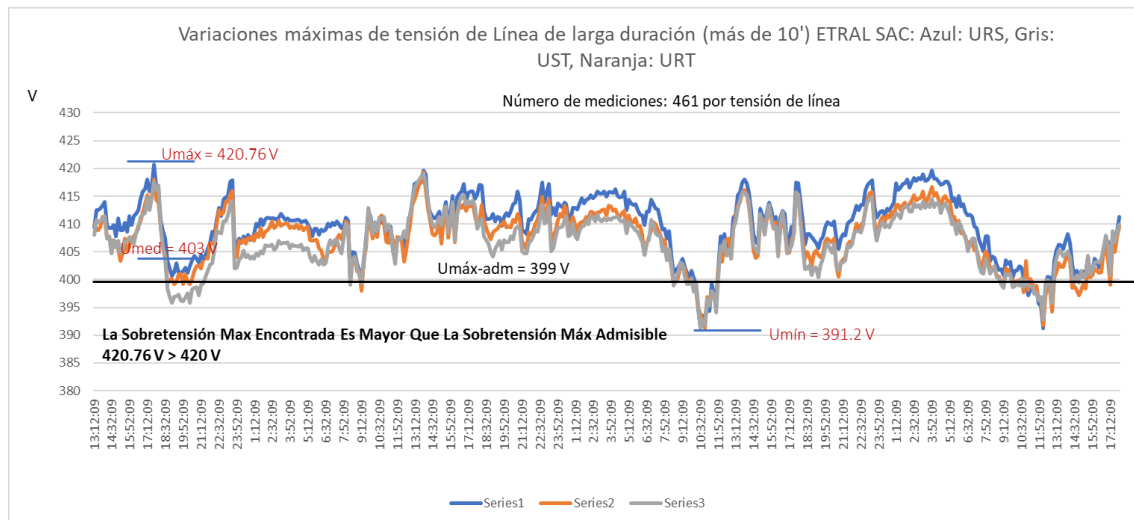
Subtensión máxima permisible : $380 - 19 = 361$ VAC (Un – 5%)

Datos Registrados:

De acuerdo a los datos registrados durante 04 días continuos, se han obtenido los siguientes resultados: Se observa que tanto los valores de máxima tensión, así como los de mínima tensión de línea están fuera de rango: En nivel de tensión máxima sobrepasan el valor del máximo admisible de la norma: 399 V. En nivel de tensión mínima, tienen un valor menor que el admisible de la norma: 361 V.

Figura 15.

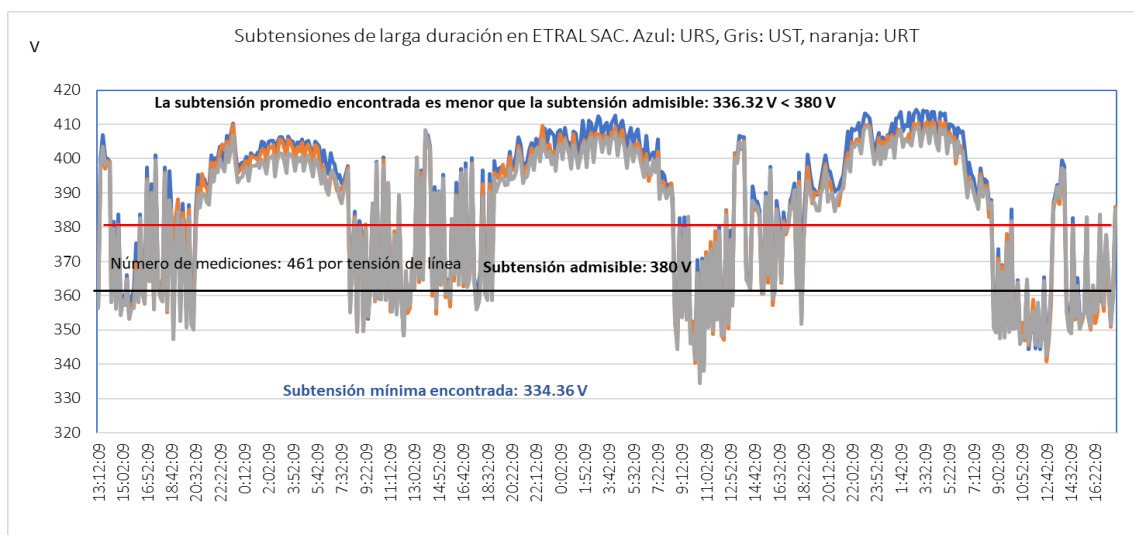
*Subtensiones de larga duración de la tensión de línea en ETRAL SAC.
Elaboración propia*



Se observa que existen varios momentos de picos de tensión, y pocos de picos de mínima tensión, hay mucha variabilidad de la tensión, es necesario informar a la empresa de distribuidora al respecto, la tensión no debe variar mucho, la intensidad sí, en función de la carga.

Figura 16.

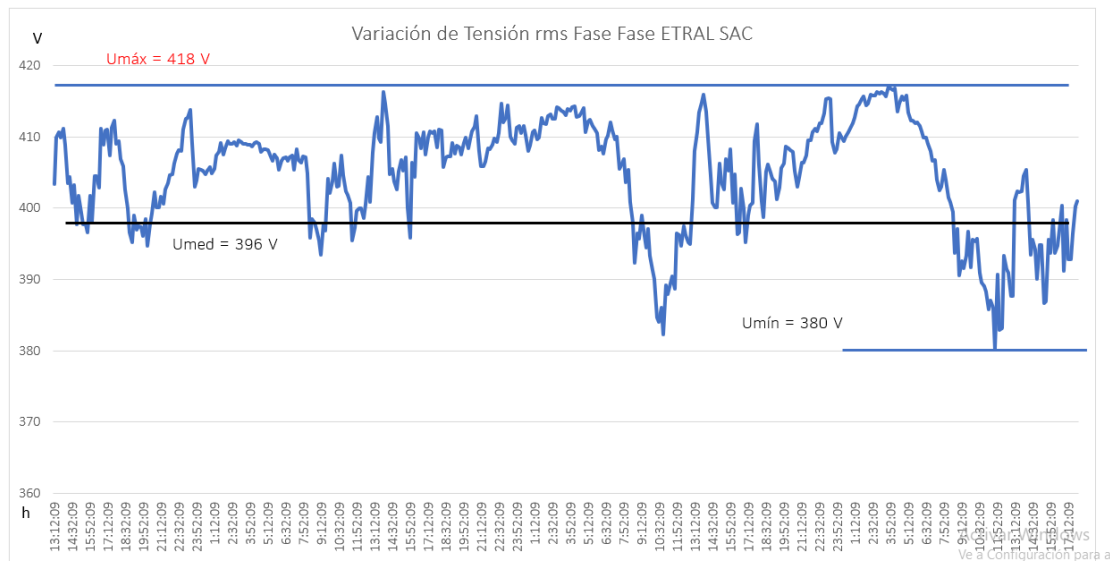
*Subtensiones de larga duración en ETRAL SAC.
Elaboración propia*



También existe alta variación de los valores máximo y mínimo de la Subtensión, existe, al igual que en el caso de sobretensiones, períodos de variación bien definidas que marcan casi un patrón (forman arcos de baja tensión)

Figura 17.

Tensión de línea rms, Elaboración propia



Alta variación. Sería importante definir si la empresa generadora mantiene bien su control de velocidad y frecuencia del generador de potencia eléctrica

Análisis de la frecuencia de la red eléctrica

Frecuencia nominal del sistema eléctrico de ETRAL SAC: 60Hz.

Datos Registrados con el equipo analizador y registrador de calidad de energía los días 3,4,5 y 6 de mayo 2022, cada 10 minutos:

Valores promedio obtenidos:

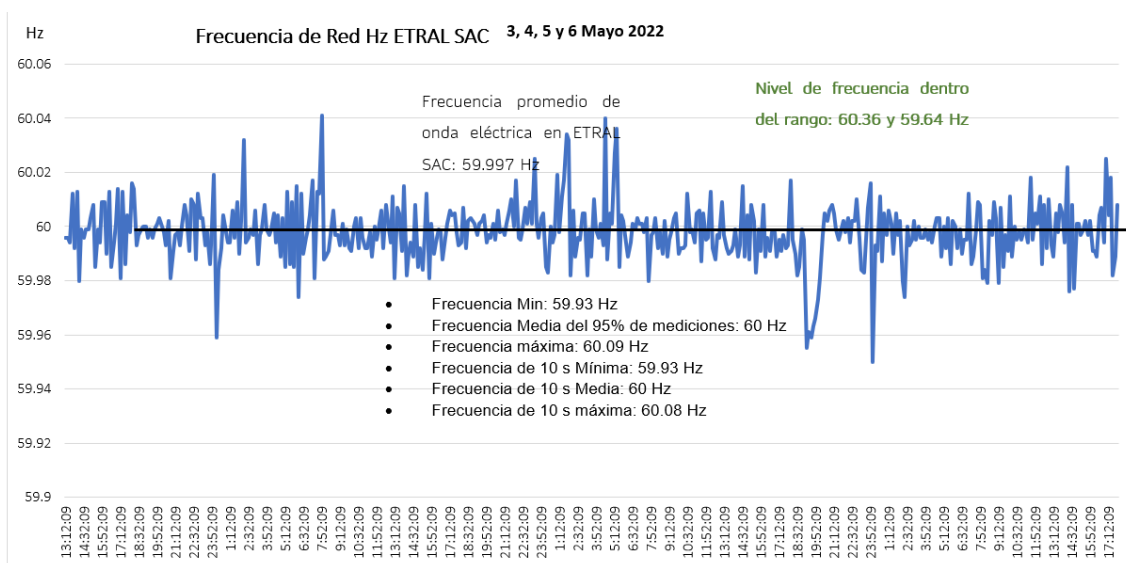
- Frecuencia Min: 59.93 Hz
- Frecuencia Media del 95% de mediciones: 60 Hz
- Frecuencia máxima: 60.09 Hz
- Frecuencia Mínima: 59.93 Hz
- Frecuencia Media: 60 Hz
- Frecuencia máxima: 60.08 Hz

Se observa que el 100% de los valores medidos se encuentran dentro del +/- 0.6 % de variación, por lo tanto, las perturbaciones de la frecuencia se encuentran dentro de los límites permisibles (60.36 y 59.64Hz).

Comentario: Nivel de frecuencia ACEPTABLE de ETRAL SAC

Figura 18.

Nr. De datos: 461. Promedio: 59.997 Hz. Elaboración propia



Alta variación de la frecuencia, aunque de baja intensidad. Verificar si el controlador de frecuencia del generador trabaja con a precisión adecuada.

Análisis de contenido de armónicos

De acuerdo a los valores registrados por el equipo analizador de calidad de Energía, durante los días de registro continuo, tenemos los siguientes datos, lo cual se encuentra en el Anexo 11: Tasa de armónicos de tensión fase a neutro en ETRAL SAC

Armónicos de Tensión (%)

Según los valores mostrados en tabla se observa que cada armónico individual de fase no supera el 3% (respecto a la fundamental de 60Hz (armónico 1) y la Distorsión Armónica Total (THD) se encuentra en 2.26 % la cual se encuentra por debajo del límite de 8%.

El promedio de THD entre fases es de $(4.75 + 4.54 + 4.18)/3 = 4.49 \%$

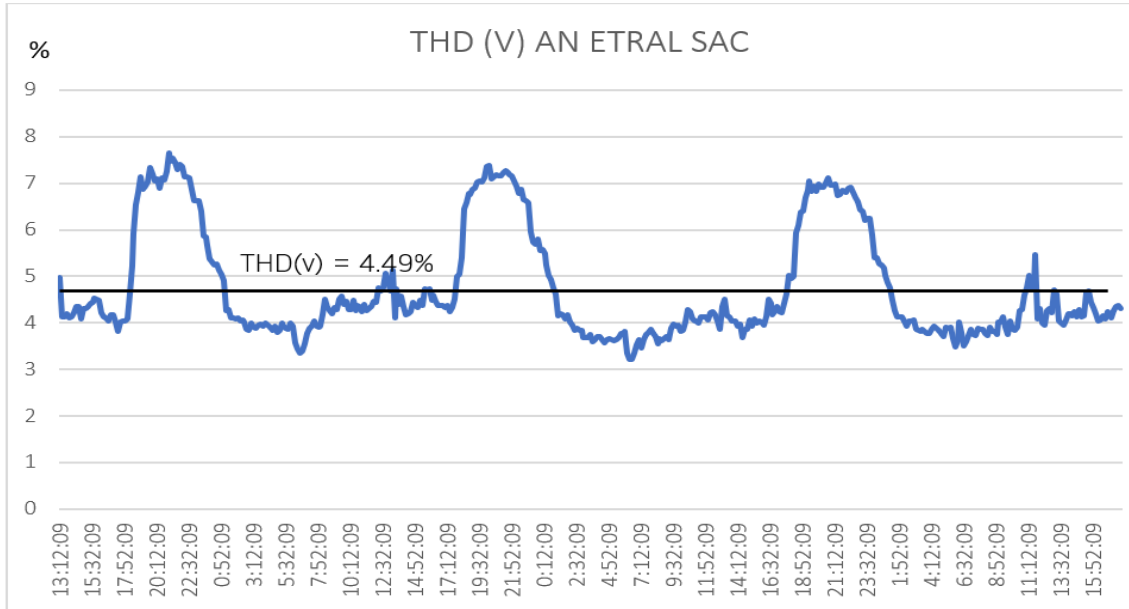
Sin embargo el armónico entre NG (Neutro a Tierra) sí supera largamente el 8%, alcanzando el 42.30 (NG3)%

Sin embargo muchos armónicos entre NG (Neutro a Tierra) sí superan el 8%, alcanzando el 33.94 (NG3)%

Comentario: Distorsión armónica de tensión aceptable

Figura 19.

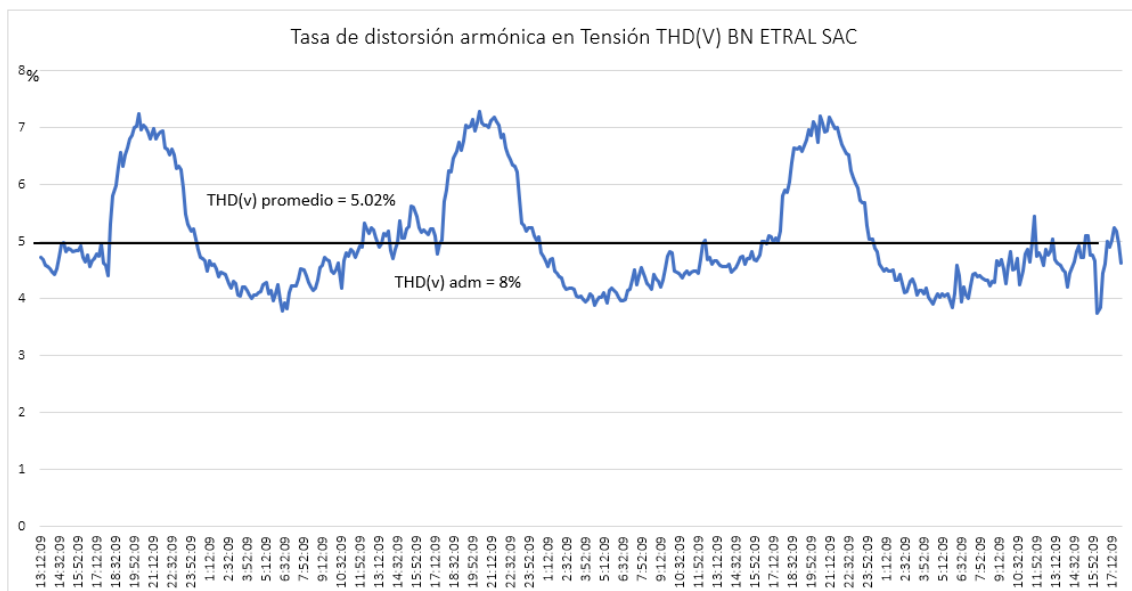
Tasa promedio de distorsión armónica en tensión AN: $THD(V) = 4.49\%$
Elaboración propia.



La THD(v) tiene una variación casi patrón, como si fuera con un paso, es posible por la entrada y salida de cargas no lineales

Figura 20.

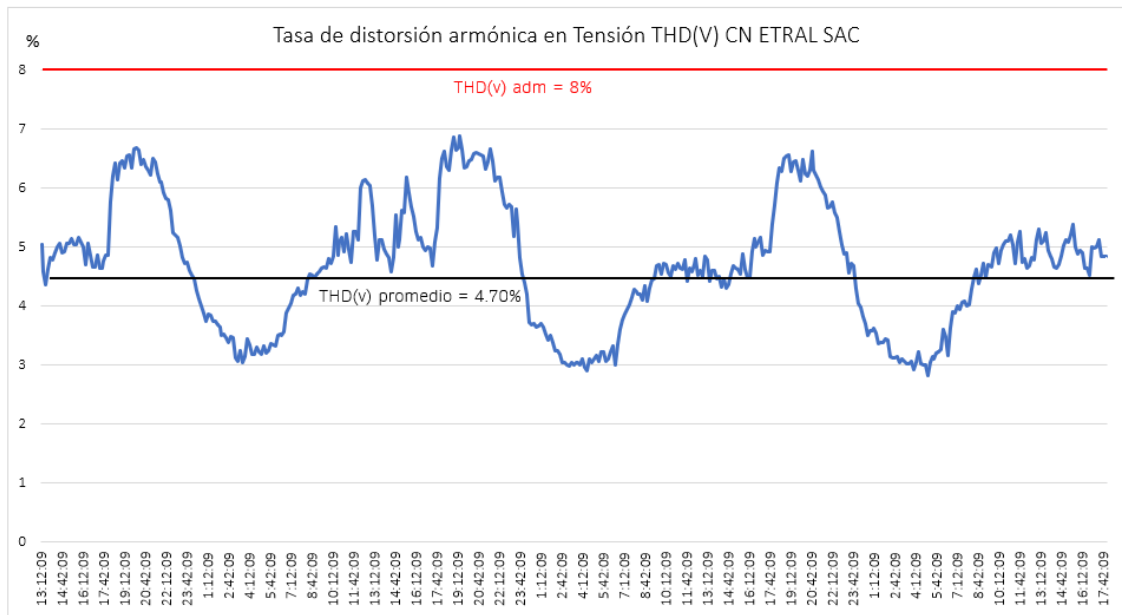
$THD(V) BN$ promedio = 5.02 %. $THD(v)$ Admisible = 8%. Elaboración propia



La THD(v) alcanza valores de 7%, pero en determinados momentos, será importante definir cuáles cargas son las que ingresan en servicio para determinar si es viable conectar en modo individual correctores de armónicos

Figura 21.

Tasa promedio de distorsión armónica en tensión AC: $THD(V) = 4.70 \%$.
 $THD(v)_{adm} = 8 \%$. Elaboración propia



Existen valores picos del THD(v) pero lejos del valor de THD(v) admisible, es necesario monitorear para determinar si es necesario instalar filtros de armónicos.

Armónicos de Corriente (%)

Se hicieron 461 mediciones de cada parámetro de armónicos.

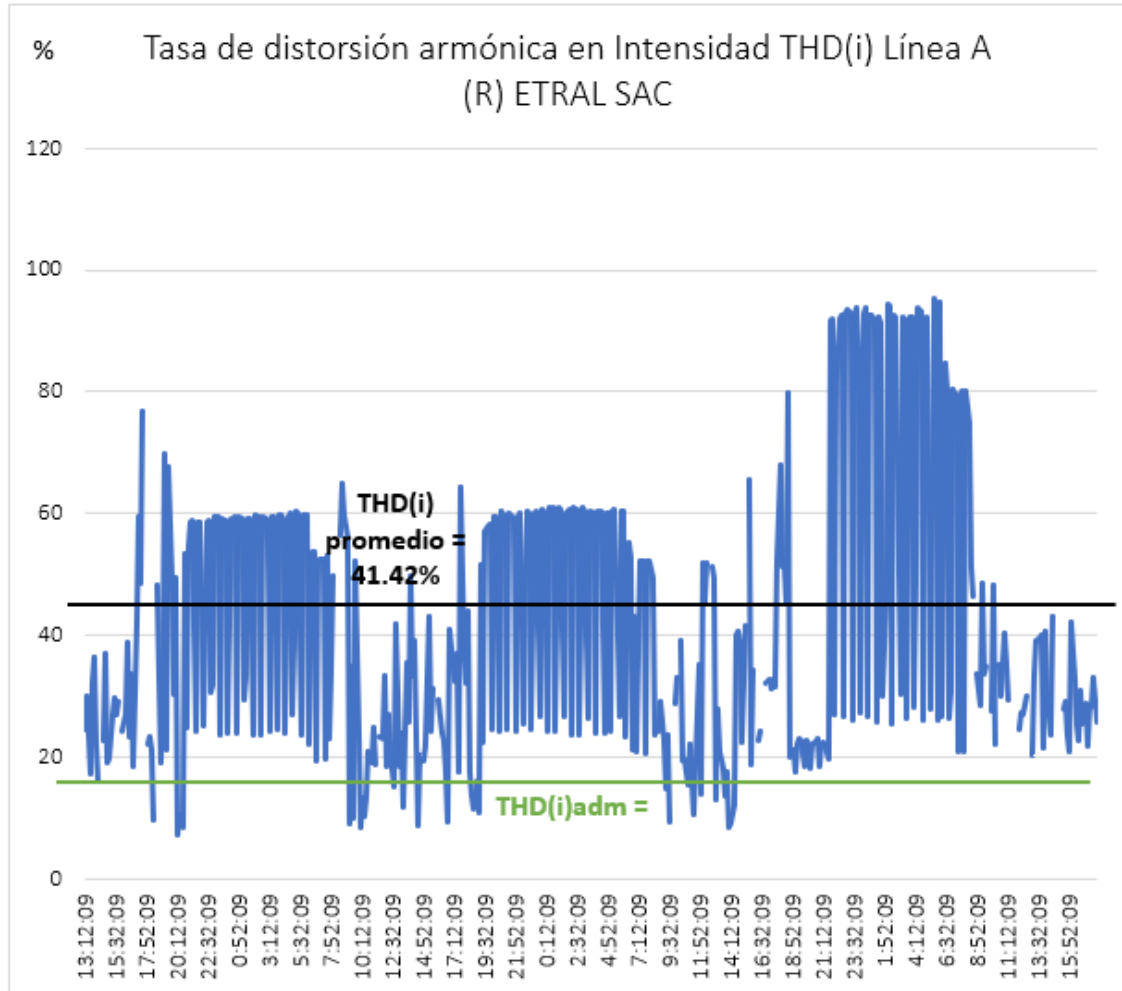
Según los valores en tabla, la Distorsión Armónica Total de Corriente (THDi) es de: $THD(i) = (41.42+60.36+35.17)/3 = 45.65 \%$ y en la línea de neutro, 35.97 %, valores que se encuentran por encima del límite máximo admisible que es de 15%. Anexo 11: Armónicos de Intensidades de línea (%), Armónicos de Intensidades de línea e individuales (%) y Tasa de armónicos en corriente individuales hasta armónico 25

La Distorsión armónica de corriente elevada, distorsiona la onda de voltaje.

Figura 22.

Tasa promedio de distorsión armónica en Intensidad A $THD(i) = 41.42\%$

Elaboración propia

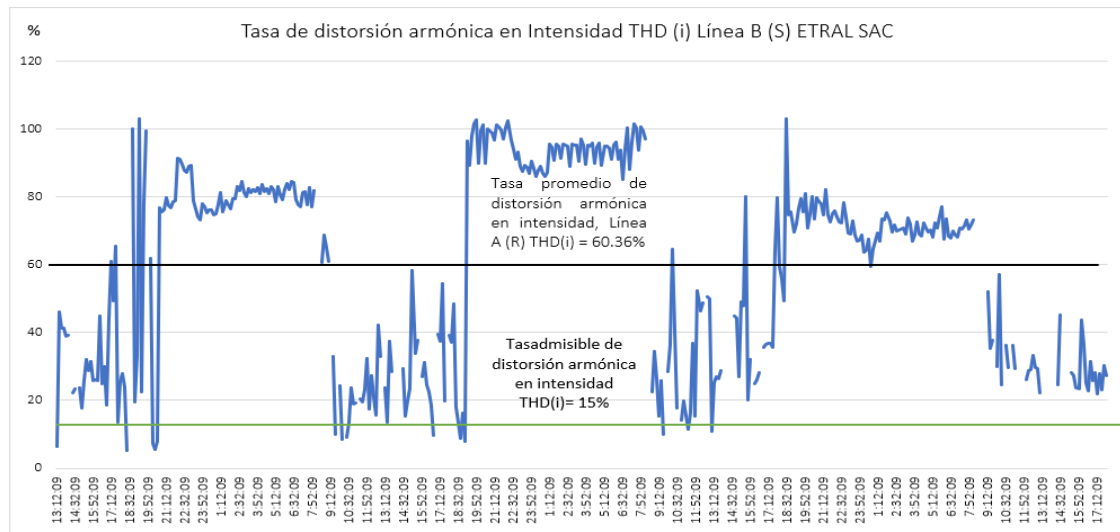


La tasa promedio de distorsión armónica en intensidad $THD(i) = 41.42\%$ es mayor que la Tasa de distorsión armónica en corriente admisible = 15%. Es necesario corregir

Figura 23.

Tasa promedio de distorsión armónica en Intensidad B, A $THD(i) = 60.36 \%$.

Elaboración propia

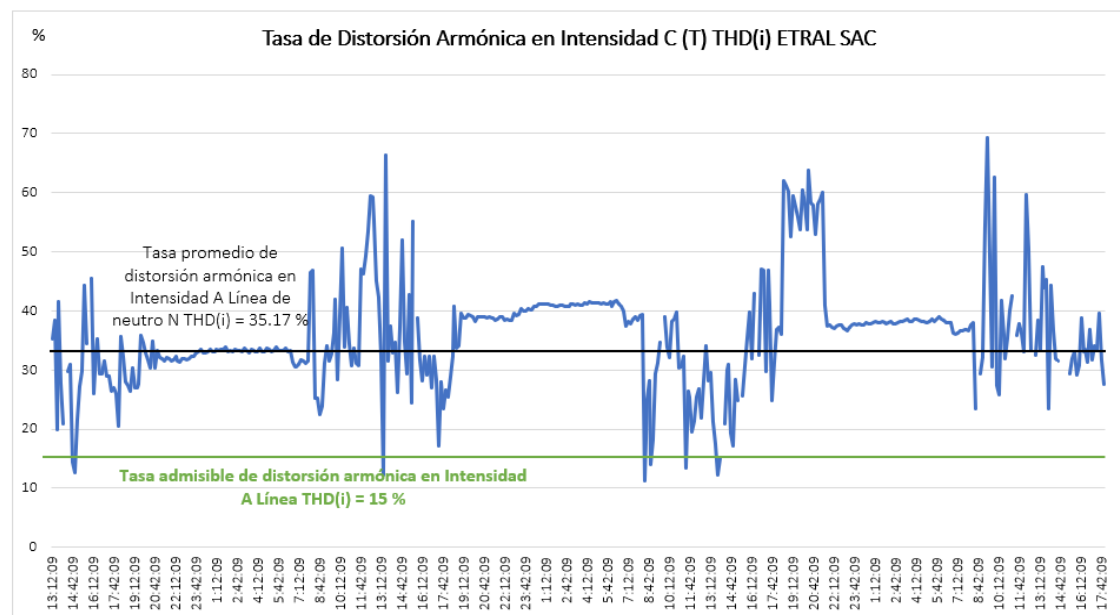


Existen interrupciones de carga, y variaciones del $THD(i)$ que alcanzan valores de 60...70%, bastante elevado, se debe monitorear la carga para definir su filtrado.

Figura 24.

Tasa promedio de distorsión armónica en Intensidad C A $THD(i) = 35.17 \%$.

Elaboración propia



No se cumple la norma de calidad de energía. Deben tomarse medidas correctivas hasta obtener $HDRT(i) \leq 15\%$

Análisis del factor de potencia en Etral Sac

Datos Registrados

Número de mediciones: 461.

Según los datos registrados con el equipo analizador y registrador de calidad de energía, por 04 días, se obtuvieron los resultados:

Valor promedio del factor de potencia: 0.67

Valor mínimo del factor de potencia: 0.32

Valor máximo del factor de potencia: 0.97

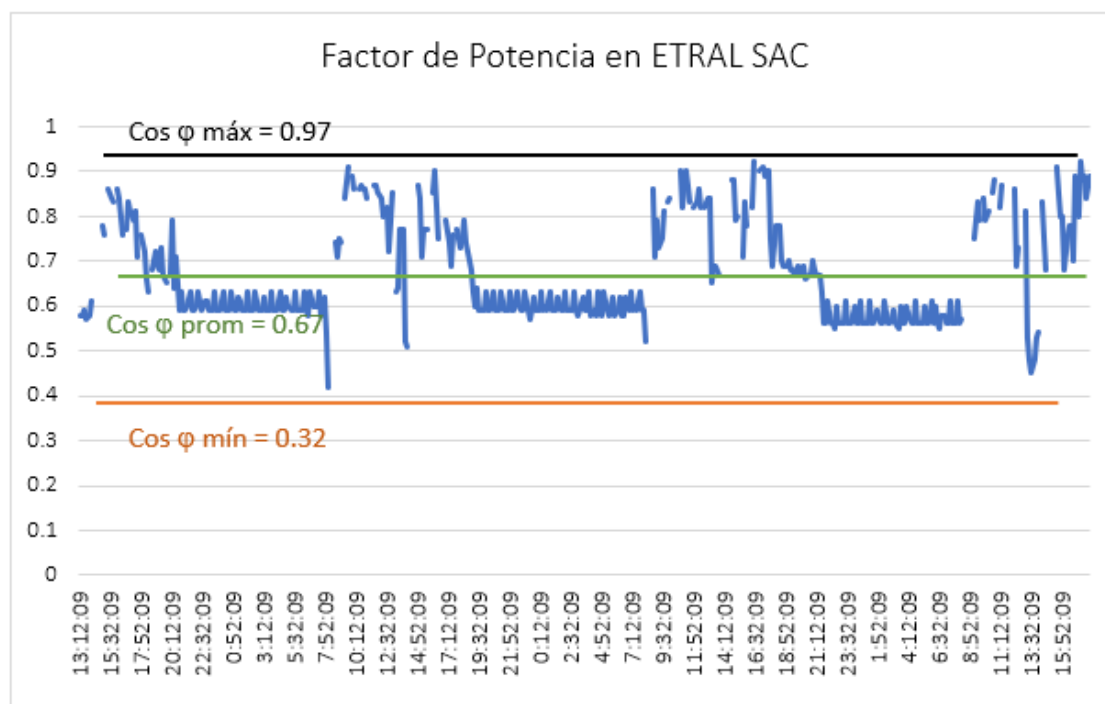
Valor de Factor de Potencia para el 95% de datos: 0.69 No Aceptable

Valor de Factor de potencia para el 5% de datos = 0.36 No Aceptable

Se deduce que la instalación requiere compensación de energía reactiva por parte del cliente si es que no la ha realizado en forma general.

Figura 25.

Factor de potencia en sistema eléctrico de ETRAL SAC. Elaboración propia



Factor de potencia promedio muy bajo, de solamente 0.67, carga muy inductiva, es necesario instalar bancos de condensadores

Análisis de potencias: P, Q, y S

Del análisis de los 275 resultados de mediciones, se tiene:

Para la potencia activa se encontró lo siguiente (figura 27):

Potencia total promedio: 5.68 kw.

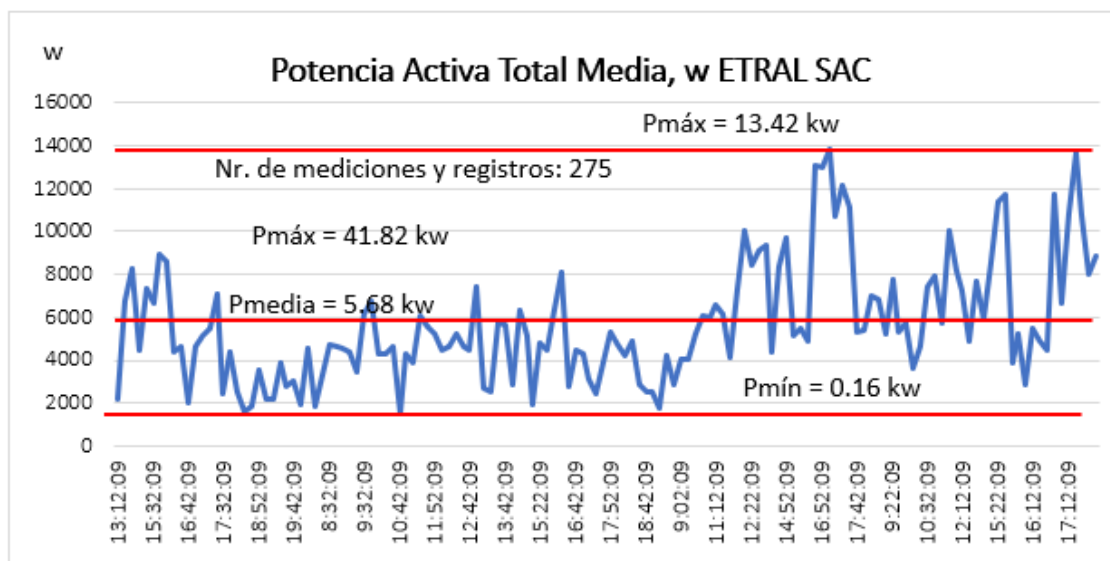
Potencia total mínima: 0.16 kw (muy baja)

Potencia total máxima: 13.42 kw

Figura 26.

Valores mínimo, máximo y medio de potencia activa total ETRAL SAC.

Elaboración propia

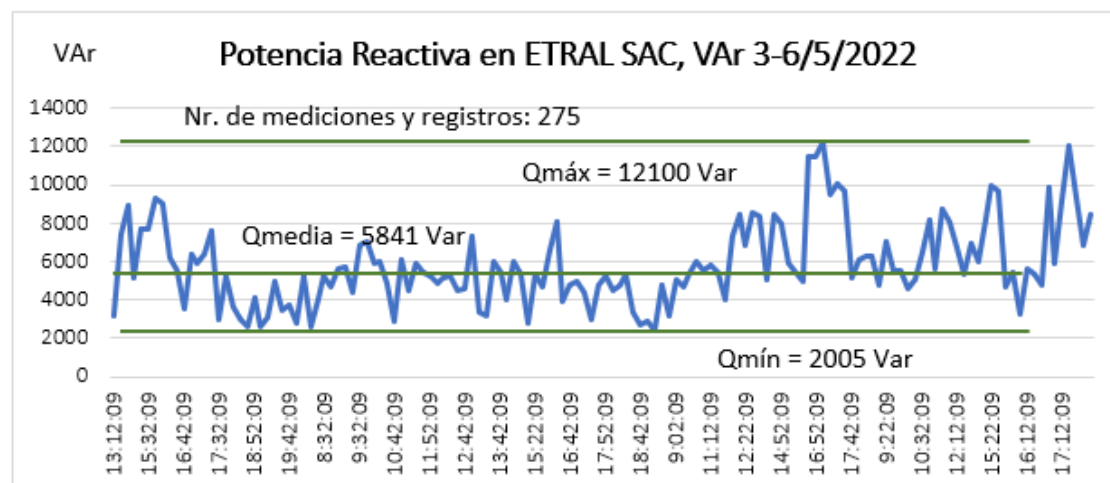


La potencia reactiva registró los siguientes valores (figura 27)

Q mínimo: 2005 Var. Q máximo: 12,100 Var; es elevada. Q medio: 5,841 Var

Figura 27: *Valores mínimos, máximo y medio potencia reactiva total ETRAL*

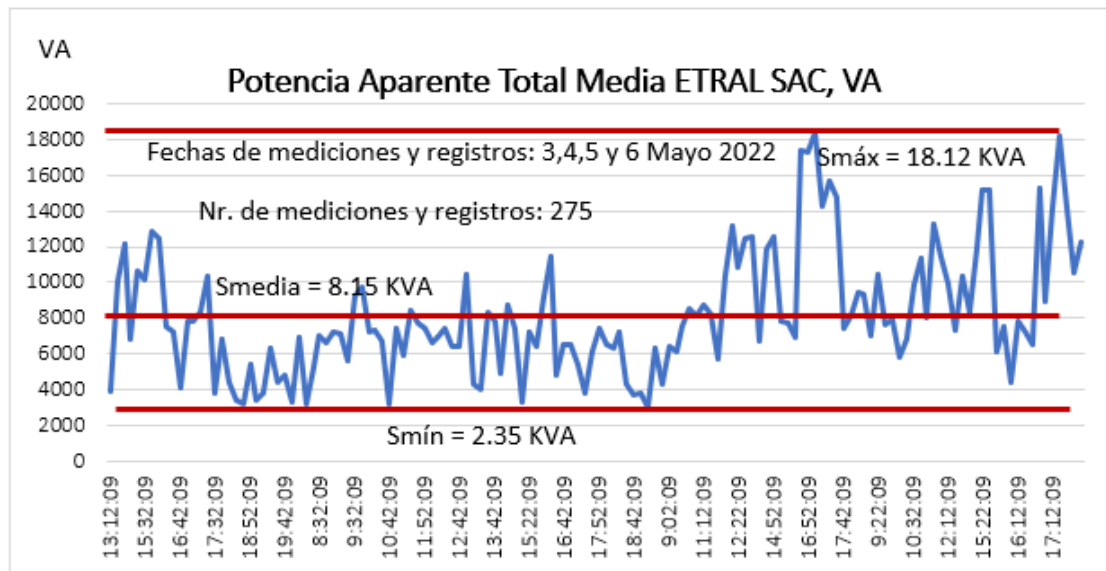
SAC. Elaboración propia



La potencia aparente registró los siguientes valores (figura 29):

- Valor mínimo: 2350 VA
- Valor máximo: 18,100 VA
- Valor medio: 8,150 VA

Figura 28: Valores mínimo, máximo y medio de la potencia aparente total de ETRAL SAC. Elaboración propia

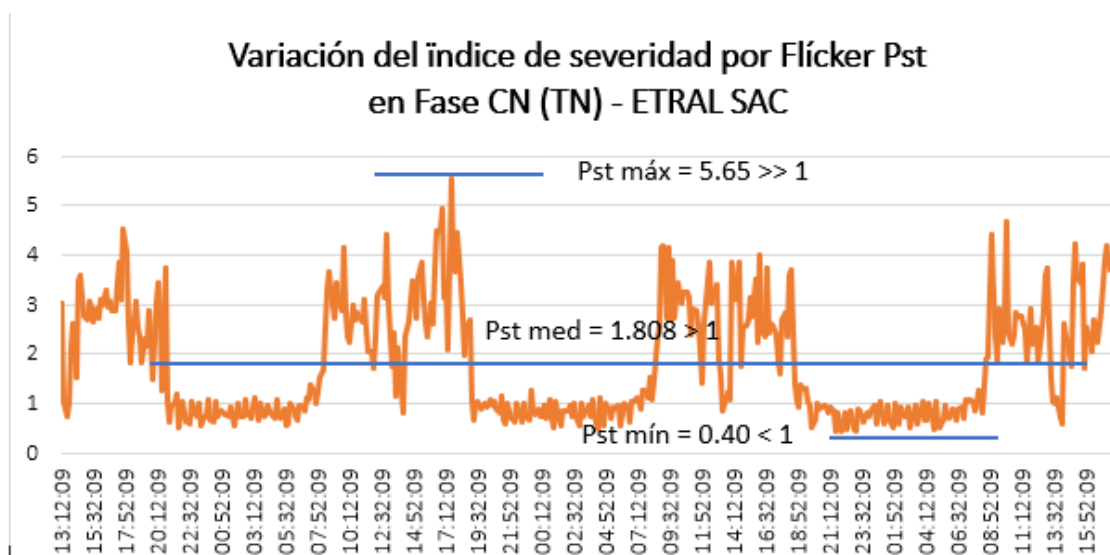
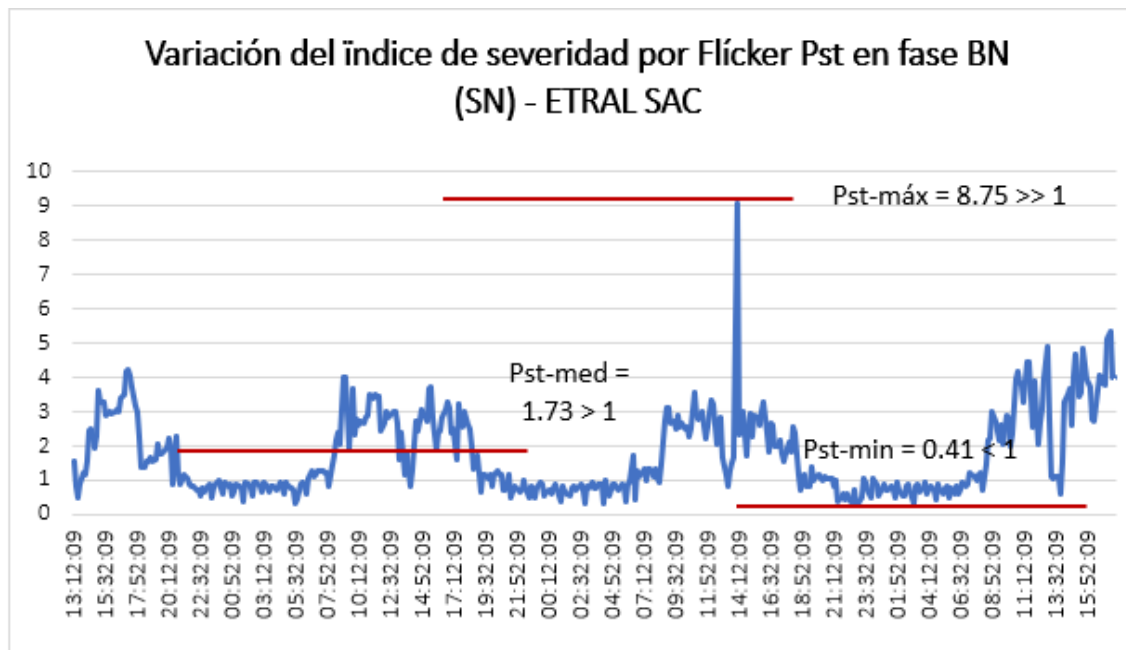


Se observa que ETRAL SAC opera a carga variable, muy variable, por las características del proceso principal, de soldadura eléctrica.

Las variaciones de potencia son casi instantáneas, de muy corta duración.

Figura 29: Variación del índice de severidad por Flicker por Fase – Neutro en ETRAL SAC. Elaboración propia





Demasiada variación en frecuencia y en magnitud del flícker, se debe monitorear y evaluar el efecto negativo en la visión del personal

Análisis de calidad de energía y distorsión armónica (Anexo 9)

De los resultados de medición y registro de datos:

Intensidad rms, $I_{rms} = 11.28 \text{ A}$

Intensidad fundamental $I_1 = 10.23 \text{ A}$

Intensidad residual (de armónicos), I_{res} :

De la ecuación 13, obtuvimos 4.75 A

Tensión de línea: 403.03 V

Factor de potencia = 0.67

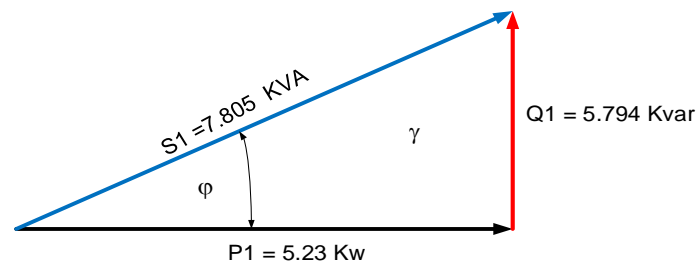
Potencia activa P_1 : 5.23 kw

Ángulo de desfase Intensidad tensión, φ : $\varphi = \text{Ar cos}(0.67) = 47.932^\circ$

Potencia reactiva Q: De la ecuación 26, obtuvimos 5.794 Kvar

Potencia aparente, sin distorsión armónica, S: De la ecuación 22: 7.805 KVA

Figura 30: Triángulo de potencias de ETRAL SAC, sin armónicos.



Potencia de distorsión armónica D: De la ecuación 10: 3.29 Kw

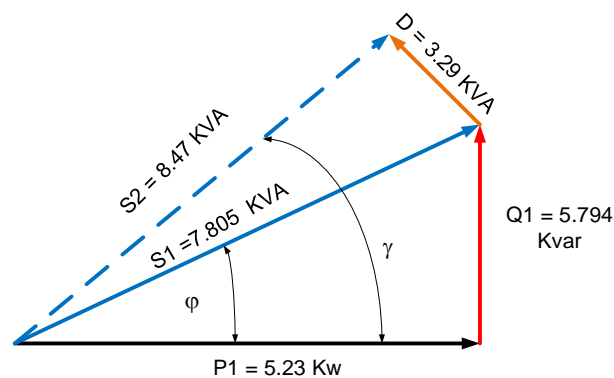
Potencia aparente, con distorsión armónica, S2:

De la ecuación 11, obtuvimos 8.47 kVA

Factor de potencia del circuito con distorsión armónica:

De la ecuación 12, obtuvimos 0.62

Figura 31: Potencias en ETRAL SAC, con distorsión armónica.



Es decir, se debe instalar dispositivos para filtrar armónicos, con una potencia de 3.28 kvar para el tablero nr. 1

Por consiguiente, como tercer paso se determinó las propuestas de mejora de la calidad de energía eléctrica en la empresa

Cambio de cables en tramos críticos alimentación a tableros:

De acuerdo al análisis realizado, se deben cambiar los cables en los siguientes tramos: 3-4 y 4-7.

Para facilitar el análisis, se realiza una iteración con una hoja de cálculo, aplicando las ecuaciones de caída de tensión, temperatura y pérdida de potencia en cables:

Tabla 11:

Análisis de cable actual en el sistema eléctrico ETRAL SAC (Elaboración propia)

ANÁLISIS DE CABLE ACTUAL EN SISTEMA ELÉCTRICO ETRAL SAC														
It	Tramo de conductor	Longitud de conductor	Material del Cable	Tensión promedio	Resistividad eléctrica del material del cable	Sección transversal del cable	Intensidad de corriente en tramo	Resistencia ohmica del cable en tramo	Caída de tensión en tramo	Caída porcentual de tensión en tramo	Potencia activa perdida en tramo	Intensidad nominal del conductor In	Temperatura del cable	Observaciones
	m	V	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	mm^2	A	Ω	V	%	kw	A	$^{\circ}\text{C}$			
2	3 - 4	40	Al	403	0.0286	25	111.405	0.0458	8.830	2.191%	1.704	75	140.32	Cambiar cable
4	4 - 7	3.8	Al	403	0.0286	25	96.39	0.0043	0.726	0.180%	0.121	75	112.59	Cambiar cable

Tabla 12.

Análisis de cambio sección transversal del cable en sistema eléctrico ETRAL SAC. Elaboración propia

ANÁLISIS DE CAMBIO SECCIÓN TRANSVERSAL DEL CABLE EN SISTEMA ELÉCTRICO ETRAL SAC													
It	Tramo	Longitud	Material	Tensión	Resistividad eléctrica	Sección transversal	Intensidad de corriente en tramo	Resistencia ohmica del cable en tramo	Caída de tensión en tramo	Caída porcentual de tensión en tramo	Potencia activa perdida en tramo	Intensidad nominal In	Temperatura
		m		V	$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$	mm^2	A	Ω	V	%	kw	A	$^{\circ}\text{C}$
2	3 - 4	40	Al	403	0.0286	70	111.405	0.0163	3.153	0.782%	0.608	183	48.53
4	4 - 7	3.8	Al	403	0.0286	70	96.39	0.0016	0.259	0.064%	0.0433	183	43.87

Se observa de la hoja de cálculo que se debe cambiar la sección transversal del cable de aluminio puro AAC-1350 en tramos 3-4 y 4-7 de la instalación eléctrica de ETRAL SAC, de 25 mm^2 actualmente a 70 mm^2 .

En el caso del cable del tramo 4-7 el cambio se debe a la alta temperatura que tendría a plena carga, de $112.59^{\circ}\text{C} > t_n = 90^{\circ}\text{C}$

Mejora del tablero de distribución principal

Se plantea mejorar el tablero de distribución principal.

El interruptor automático de caja moldeada actual, tripolar y el interruptor termomagnético utilizado para la conexión y distribución de la línea de Neutro, figura se reemplazan por un interruptor automático de caja moldeada, con características:

Impedancia de cortocircuito de la línea trifásica

- $U_c = 400\text{V}$
- $L_{cc} = 40\text{ m}$
- $S_{cable} = 70$
- $\rho_{Al} = 0.0286$

De la ecuación 52, obtuvimos 16.34 $\text{m}\Omega$

La distribución de las líneas trifásicas a las cargas monofásicas y trifásicas ya no se harán directamente de los bornes de los interruptores, sino desde barras de cobre, que serán dimensionados del siguiente modo:

Intensidad de cortocircuito del tablero principal:

De la ecuación 51, obtuvimos 14.13 kA

Entonces el interruptor automático de caja moldeada nuevo deberá tener las siguientes características:

- $U_n = 400 \text{ V}$
- $I_n = 100 \text{ A}$
- $I_{cc} = 25 \text{ kA}$ (redondeado al valor comercial inmediato superior)
- Tipo: Tetrapolar, con conexión de neutro.

Cálculos mecánicos del tablero de distribución principal

Efectos electrodinámicos.

Se determinan con la corriente de choque de cortocircuito:

Corriente cortocircuito de choque

De la ecuación 53, obtuvimos 19.92 KA

Efectos electrodinámicos: Las barras de cobre desnudas para circuito de Baja Tensión son de

$S = 12 \times 2 \text{ mm} = 24 \text{ mm}^2,$

$I_n = 216 \text{ A}$ para tres barras.

Tabla 13.

Secciones de barras de cobre para tableros de BT. Elaboración propia

Medidas (mm)	Sección de Barra (mm ²)	Peso (Kg/m)	Desnudas			Pintadas		
			1 Barra (A)	2 Barras (A)	3 Barras (A)	1 Barra (A)	2 Barras (A)	3 Barras (A)
12x2	23.5	0.21	108	182	216	123	202	228
15x2	29.5	0.27	128	212	247	148	240	261
15x3	44.5	0.4	162	282	361	187	316	381

Fuerza en barras (kg-f):

se tiene la expresión:

- $F=?$
- $I_{ch} = 19.92 \text{ KA}$
- $L = 0.30 \text{ m}$
- $d = 5 \text{ cm}$

De la ecuación 41, obtuvimos $97.14 \text{ Kg} - f$

Se utilizarán aisladores portabarra clase A (DIN 48100) que soportan 375 Kg-f de esfuerzo en el aislador y que cumple con el requerimiento solicitado.

Flexión de trabajo (FT):

a). Momento flector máximo (M)

De la ecuación 42, obtuvimos 3.64 Kg-m

b). Momento resistente en la barra (Wr)

$h \text{ barra} = 0.2 \text{ cm}$, $b = 1.2 \text{ mm}$

De la ecuación 43, obtuvimos 0.048 cm^3

c). Esfuerzo de flexión de trabajo σ_f

De la ecuación 44, obtuvimos 75.83 kg/cm^2

El Cobre soporta $1,200 \text{ Kg/cm}^2 \gg 75.83 \text{ kg/cm}^2$, es satisfactorio.

Cálculo de resonancia de las barras (Fn)

Momento de inercia (J):

De la ecuación 46, obtuvimos $0.0288 \text{ (cm}^4\text{)}$

$L = 20 \text{ cm}$

$E = 1.25 \cdot (10^6) \text{ Kg/cm}^2$

$G = 0.0223 \text{ Kg/cm}$

De la ecuación 45, obtuvimos 355.76 Hz

La frecuencia natural de la barra $F_n = 355.76 \text{ Hz}$ se encuentra fuera de los rangos $\langle 54, 66 \rangle$ y $\langle 108, 132 \rangle$, es decir soporta los requerimientos.

Elevación de temperatura:

- $K = 0.0068$
- $A = 24 \text{ mm}^2$
- $I_{cc} = 14130 \text{ A}$
- $T = 20 \text{ ms} = 0.02 \text{ s}$.

Incremento de tiempo de protección

- $I_{ch} = 19920 \text{ A}$
- $T = 0.6$

Entonces de la ecuación 48, obtuvimos 1.19 segundos

Entonces luego de la ecuación 47, obtuvimos $41.07 \text{ }^\circ\text{C}$

Considerando que la temperatura de trabajo antes de la falla era de $40 \text{ }^\circ\text{C}$, entonces la temperatura final al mitigarse la falla será: $T_{\text{final}} = 40 \text{ }^\circ\text{C} + 41.07 \text{ }^\circ\text{C}$

= 81.08 °C << 200 °C que soporta el cobre, por lo tanto, se cumple el requerimiento.

Nota: Por iteración resulta que la barra debe ser de cobre, $5 \times 40 = 200 \text{ mm}^2$

Figura 32: *Conexión actual del tablero de distribución principal, sin barras distribuidoras de tensión. Elaboración propia*

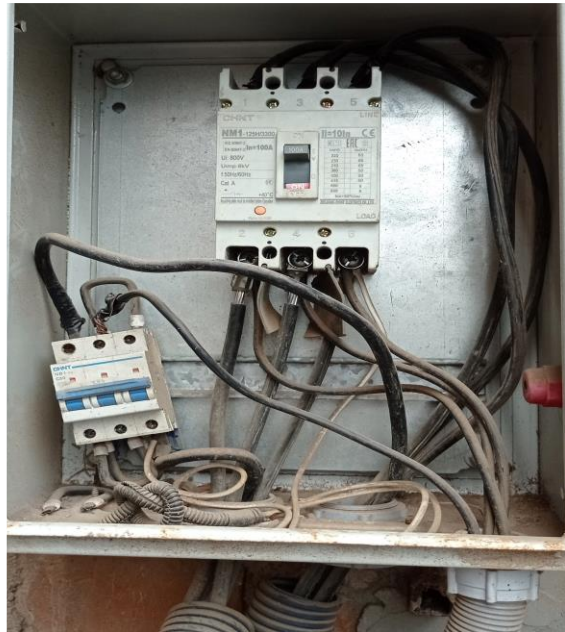
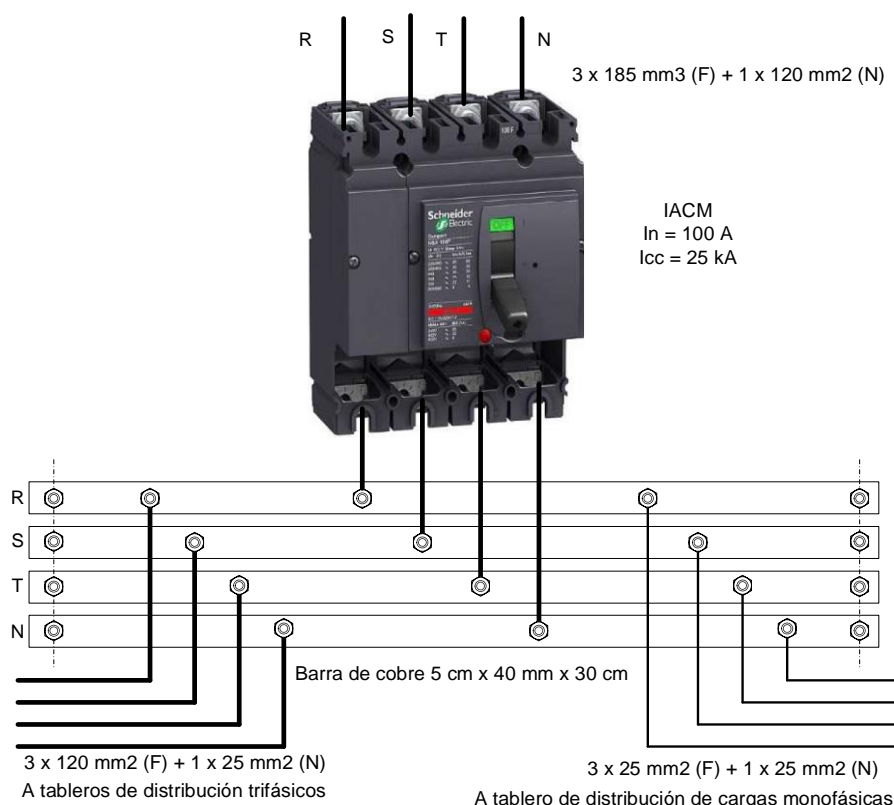


Figura 33: Barras de Cu tablero de distribución nr. 1 de Potencia = 10.30 kw.
Elaboración propia



Mejora del factor de potencia en ETRAL SAC

El factor de potencia promedio medido en las instalaciones eléctricas de ETRAL SAC es de solamente 0.67, muy bajo. Para su mejora, se elige la compensación capacitiva individual, por cada tablero de distribución secundario, con la potencia de máxima demanda del tablero respectivo.

Compensación del $\text{Cos}\phi$ para el tablero de distribución nr 1:

Datos:

- Potencia nominal P1: 16.30 kw
- Potencia de cálculo P1-c: 10.07 kw
- Tensión de línea: 400 V
- Frecuencia de la red: 60 Hz.
- Factor de potencia inicial: 0.67

Angulo de desfase inicial, $\phi_1: \phi_1 = \ar \cos 0.67 = 47.93^\circ$

Factor de potencia final, proyectado: 0.975 (Para no pagar energía reactiva)

Angulo de desfase final proyectado, $\phi_2: \phi_2 = \ar \cos 0.975 = 12.84^\circ$

Potencia del condensador por fase:

De la ecuación 40, obtuvimos 2.953 *kvar*

Reducción de intensidad de corriente en cable de acometida a tablero

Intensidad de corriente inicial, sin compensación del $\cos\phi$, I1:

De la ecuación 38, obtuvimos 21.67A

Intensidad de corriente inicial, con compensación del $\cos\phi$, I2:

De la ecuación 38, obtuvimos 14.91A

Reducción de I en cable de acometida a tablero 1: $21.67 - 14.91 = 6.76$ A

Figura 34.

Diagrama unifilar conexión del banco de condensadores trifásico del tablero nr. 1 con reactores de línea para reducir impacto de armónicos en condensadores. Elaboración propia.

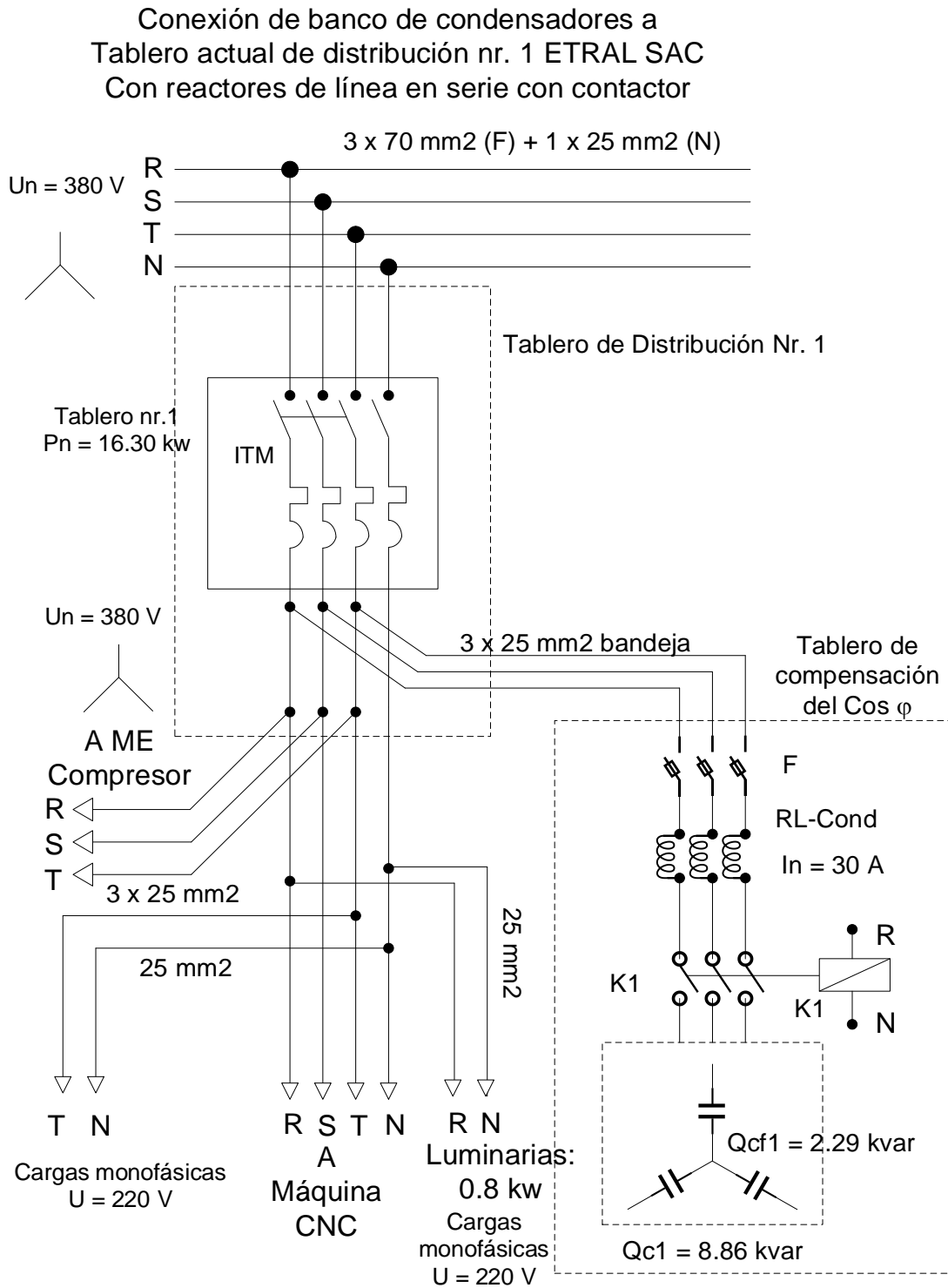


Tabla 14.

Dimensionamiento de condensadores para compensar el $\cos \phi$ en tableros de distribución de ETRAL SAC. Tensión de Línea: 400 V, Tensión de fase: 230.95 V, Frecuencia de la red: 60 Hz. Elaboración propia

DIMENSIONAMIENTO DE CONDENSADORES PARA COMPENSAR EL FACTOR DE POTENCIA EN TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN ETRAL SAC														
Denominación del Tablero de Distribución Secundaria	Potencia teórica	Potencia a cálculo	Factor de potencia inicial	Angulo de desfase inicial, j_1	Potencia reactiva inicial Q1	Factor de potencia inicial	Angulo de desfase final, j_2	Potencia reactiva final Q2	Potencia del banco trifásico de condensadores, Q_c	Potencia del condensador por fase, Q_{c-f}	Capacidad del condensador de fase	Intensidad de corriente inicial I1 sin compensar I_{c1}	Intensidad de corriente inicial I2 con compensación del $\cos \phi$	Reducción de I por compensar I_{c2}
	kW	kW	-	°	Kvar	-	°	Kvar	Kvar	Kvar	mF	A	A	A
Nr. 1	16.30	10.07	0.67	47.93	11.15	0.975	12.84	2.29	8.86	2.95	146.83	21.69	14.90	6.78
Nr. 2	11.65	7.76	0.67	47.93	8.60	0.975	12.84	1.77	6.83	2.28	113.19	16.72	11.49	5.23
Nr. 3	15.50	6.56	0.67	47.93	7.26	0.975	12.84	1.49	5.77	1.92	95.66	14.13	9.71	4.42
Nr. 4	16.75	7.65	0.67	47.93	8.48	0.975	12.84	1.74	6.73	2.24	111.60	16.48	11.33	5.16
Nr. 5	36.00	10.79	0.67	47.93	11.95	0.975	12.84	2.46	9.49	3.16	157.37	23.24	15.97	7.27
Nr. 6	21.50	8.12	0.67	47.93	8.99	0.975	12.84	1.85	7.14	2.38	118.40	17.49	12.02	5.47
A cargas monofásicas	11.14	5.43	0.67	47.93	6.01	0.975	12.84	1.24	4.78	1.59	79.19	11.70	8.04	3.66

Reducción de armónicos de intensidad

Considerando que existirá un banco de capacitores de 2.9 KVAR a 400 V, para el tablero nr. 1, se calculará el tamaño de la inductancia para que el banco pueda operar como un filtro de la 5 armónica en 400 V.

donde:

De la ecuación 17, obtuvimos 0.2075 mHenries

Solución propuesta con reactores inductivos en serie

La impedancia suministrada de un reactor dado es reducida a medida que se reduce la corriente de carga:

Donde:

$$I_{CONT} = RMS = 14.9 \text{ A}$$

$$f = 60 \text{ Hz}$$

$$VLL = 400 \text{ V}$$

De la ecuación 19, obtuvimos 1.25%

Con la misma metodología, se calcula los reactores para cada tablero:

Tabla 15.

Dimensionamiento de condensadores para compensar el factor de potencia en tableros de distribución ETRAL SAC (Elaboración propia)

DIMENSIONAMIENTO DE REACTORES DE LÍNEA TRIFÁSICOS PARA REDUCIR ARMÓNICOS EN TABLEROS DE DISTRIBUCIÓN ETRAL SAC											
Denominación del Tablero de Distribución Secundaria	Potencia teórica	Potencia cálculo	Tensión de línea	Factor de potencia	Angulo de desfase, ϕ^2	Potencia reactiva Q2	Intensidad de corriente I2	Frecuencia	Orden de armónica seleccionada	Reactancia inductiva necesaria del reactor de línea	Impedancia porcentual necesaria del reactor de línea, ZL
	kW	kW	V	-	°	Kvar	A	Hz	-	mH	%
Nr. 1 ETRAL SAC	16.30	10.07	400.00	0.975	12.84	2.29	14.90	60.00	3.00	0.20558	1.25%
Nr. 2 ETRAL SAC	11.65	7.76	400.00	0.975	12.84	1.77	11.49	60.00	3.00	0.26668	1.25%
Nr. 3 ETRAL SAC	15.50	6.56	400.00	0.975	12.84	1.49	9.71	60.00	3.00	0.31555	1.25%
Nr. 4 ETRAL SAC	16.75	7.65	400.00	0.975	12.84	1.74	11.33	60.00	3.00	0.27049	1.25%
Nr. 5 ETRAL SAC	36.00	10.79	400.00	0.975	12.84	2.46	15.97	60.00	3.00	0.19181	1.25%
Nr. 6 ETRAL SAC	21.50	8.12	400.00	0.975	12.84	1.85	12.02	60.00	3.00	0.25495	1.25%
A cargas monofásicas	11.14	5.43	400.00	0.975	12.84	1.24	8.04	60.00	3.00	0.38116	1.25%

A continuación, se selecciona el filtro de armónicos (reactor inductivo en serie) en función de la potencia de la carga, normalmente los fabricantes dan dos variantes: con impedancia porcentual de 3% y de 5%.

Para el caso de los tableros de ETRAL SAC, se asume reactor con Z porcentual de 3%, teniendo en cuenta que los cálculos resultan de Z = 1.20% solamente.

Guía de selección de reactores trifásicos de línea, conexión serie

Figura 35.

Selection guide AC Line/Load reactors

Motor		AC Line/Load reactors											
Power (HP)	I rated (A)	3% (open)	Power Loss (W)	Frame Size	Weight (lbs)	3% (NEMA1)	enclosure Size	5% (open)	Power Loss (W)	Frame Size	Weight (lbs)	5% (NEMA1)	enclosure Size
2	3.4	KDRA1L	19	R1	4	KDRA1LC1	C1	KDRA1H	33	R1	4	KDRA1HC1	C1
3	4.8	KDRA2L	23	R1	4	KDRA2LC1	C1	KDRA2H	38	R1	4	KDRA2HC1	C1
5	7.6	KDRA3L	49	R1	4	KDRA3LC1	C1	KDRA3H	80	R1	4	KDRA3HC1	C1
7.5	11	KDRA4L	40	R1	4	KDRA4LC1	C1	KDRA4H	77	R1	5	KDRA4HC1	C1
10	14	KDRA5L	64	R1	5	KDRA5LC1	C1	KDRA5H	111	R1	5	KDRA5HC1	C1
15	21	KDRB2L	65	R2	8	KDRB2LC1	C1	KDRB2H	133	R2	7	KDRB2HC1	C1
20	27	KDRB1L	79	R2	8	KDRB1LC1	C1	KDRC3H	108	R4	15	KDRC3HC2	C2
25	34	KDRD1L	96	R3	10	KDRD1LC2	C2	KDRC1H	112	R4	15	KDRC1HC2	C2
30	40	KDRD2L	105	R3	10	KDRD2LC2	C2	KDRE2H	141	R4	16	KDRE2HC2	C2
40	52	KDRC1L	114	R4	15	KDRC1LC2	C2	KDRF4H	169	R5	25	KDRF4HC3	C3
50	65	KDRF2L	114	R5	25	KDRF2LC3	C3	KDRF1H	191	R5	25	KDRF1HC3	C3
60	77	KDRF4L	169	R5	25	KDRF4LC3	C3	KDRF2H	226	R5	25	KDRF2HC3	C3
75	96	KDRF3L	193	R5	30	KDRF3LC4	C4	KDRH2H	212	R8	45	KDRH2HC4	C4
100	124	KDRH3L	225	R6	40	KDRH3LC4	C4	KDRI2H	362	R8	50	KDRH1HC4	C4

Se elige, de tablas, la Impedancia porcentual del reactor, para el tablero de 10 kw:

- Impedancia del reactor trifásico: 3%,
- Serie: KDRA5L,
- Pérdida de potencia: 64 w,
- Frame size: R1,
- Peso: 5 lbs,
- Enclosure: C1

Dimensionamiento de puesta a tierra

Para el caso de ETRAL SAC, se tiene en cuenta con equipos electrónicos en baja potencia, como son los equipos de cómputo, y los de control electrónico en las máquinas de soldar, además del equipo de control electrónico del torno CNC, la resistencia a tierra, en este caso, según la NTP debe ser $R_t \leq 5 \Omega$

Parámetros De Cálculo

- Resistencia para el Sistema de Puesta a Tierra.....5 Ω (máximo)
- Resistividad del Terreno según tabla, para terreno pedregoso...(ρ) 100 $\Omega -m$
- Longitud del Electrodo de Cobre electrolítico (Lelect): 2.40 m
- Diámetro del Electrodo (19 mm) (delect): 0.019 m
- Profundidad del Pozo a Tierra (h): 2.40 m

Cálculo De La Resistencia De Puesta A Tierra

Por ser la resistividad del terreno un poco elevada, y por demandar baja resistencia a la conexión a tierra (5Ω), se procede a lo siguiente:

Resistencia total necesaria a Tierra: $R_t = 5 \Omega$

Se necesitarán dos electrodos conectados en paralelo:

De la ecuación 50, obtuvimos $10(\Omega)$

Cada electrodo deberá tener $R_t = 10 \Omega$

Resistividad necesaria del terreno:

De la ecuación 54, obtuvimos $25.76 \Omega - m$

Se deberá hacer preparar bien el terreno, para bajar su resistividad desde $100 \Omega\text{-m}$ hasta $25.76 \Omega\text{-m}$, con los insumos y tierra adecuados

Número total de pozos a tierra: 4, uno para cada uno de seis tableros (menos el tablero 2), además de un pozo para el tablero principal.

Figura 36.

Conexiones de puesta a tierra en ETRAL SAC

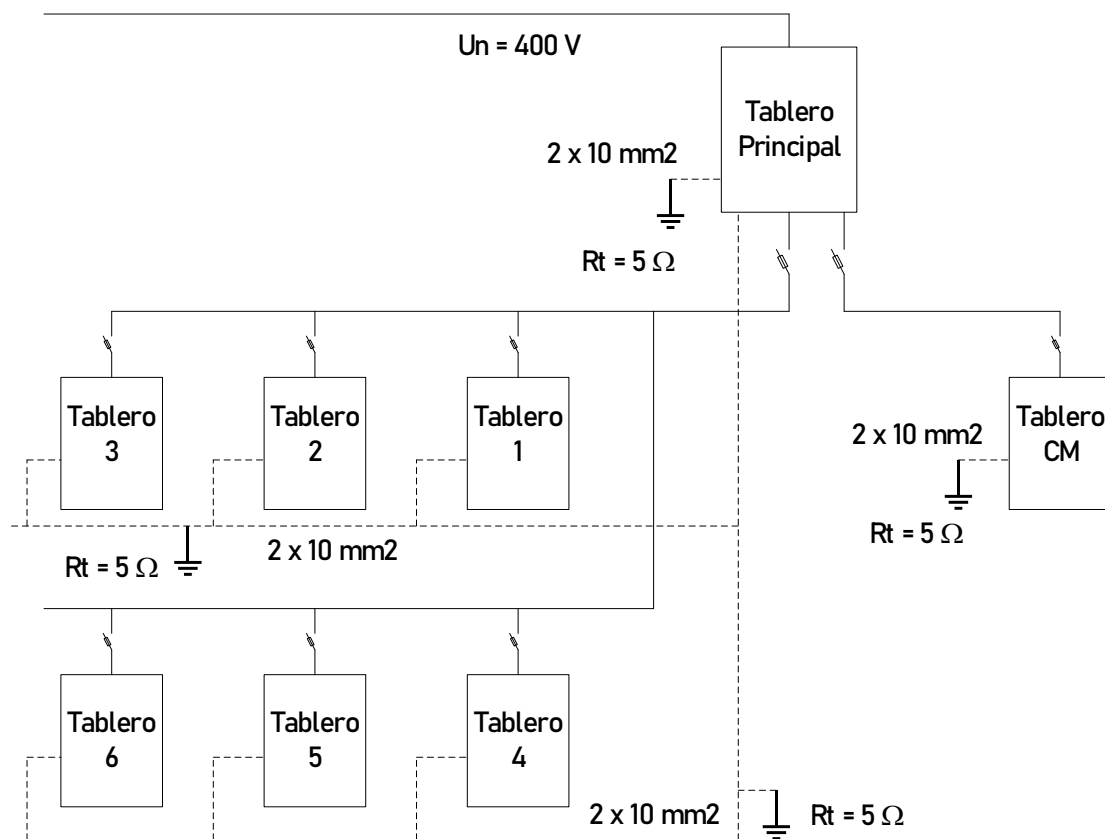


Figura 37.

Pozo a tierra con dos electrodos en paralelo

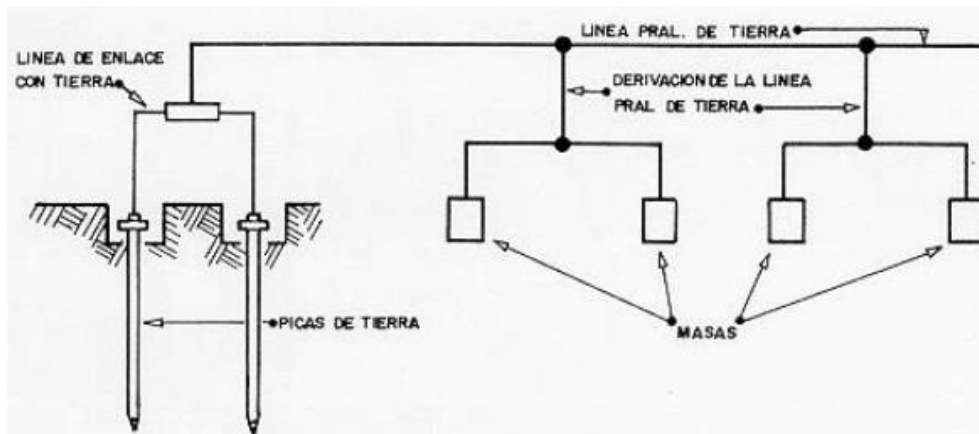


Tabla 16.

Sección transversal del cable para conexión a tierra, según NTP 370.053

CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA PARA SISTEMAS DE CORRIENTE ALTERNA	
Sección nominal del conductor mayor de la acometida o su equivalente para conductores en paralelo	Sección nominal del conductor de puesta a tierra (Cobre)
mm ²	
35 o menor	10
50	16
70	25
95 a 185	35
240 a 300	50
400 a 500	70
más de 500	95

De tablas, de la norma técnica peruana NTP 370.053 de conexión a tierra:

- Para sección del cable de acometida en tableros secundarios, $S = 25 \text{ mm}^2$, se elige Sección para la conexión a tierra: Scable-tierra = 10 mm²
- Para tablero principal, que tendría Scable-acometida = 181 mm², se elige Scable-tierra = 35 mm²

Tabla 17.

Sección transversal del cable para protección de conexión a tierra, según NTP 370.053

SECCIÓN MÍNIMA DE LOS CONDUCTORES DE PROTECCIÓN	
Capacidad nominal o ajuste del dispositivo automático de sobrecorriente	Sección nominal del conductor de protección (Cobre)
No mayor de (A):	mm ²
15	2
20	3
60	5
100	8
200	16
400	25
800	50
1000	70
1200	95
2000	120
2500	185
4000	240
6000	400

De tablas, de la norma peruana de puesta a tierra, se elige, para el conductor del dispositivo de protección, para $I = 60$ A (intensidad máxima de cada tablero), el cable de cobre de $S = 5$ mm².

Asimismo, como resultado y cuarto paso de la investigación, se procedió a comparar los indicadores de calidad de energía obtenidos con los valores que establece la norma D.S. N° 020-97-EM

Tabla 18.

Indicadores de calidad comparados con la norma. Elaboración propia

Item	Denominación	Valor nominal Un	Tolerancia admisible NTP	Umáx-adm	Umáx-medido	Umín-adm	Umín-medido	Observaciones	Conclusión
		V	% de Un	V	V	V	V		
1	Variaciones de tensión de larga duración	380	5.0%	399	420.76	361	334.36	Desviación de 5.19 % > 5% en relación al Umáx adm y 11.41 % > 5% al Umín adm	No cumple la NTP de desviación de U en larga duración
		Hz	% de fn	Hz	Hz	Hz	Hz		
2	Frecuencia de Red Eléctrica	60	0.6%	60.36	60.09	59.64	59.93	Desviación de 0.15 % en relación a la fmáx adm y 0.1167 % a la fmín adm	Sí se cumple la NTP en relación a la frecuencia de la Red Eléctrica
			Indice de severidad por Flúcker Pst	Pst máx en Fase RN	Pst máx en Fase SN	Pst máx en Fase TN	Pst medio	Observaciones	Conclusión
3	Flúcker		≤ 1	5.12	8.75	5.65	1.817	Desviación de 81.7 % en relación al Pst max adm	No se cumple la NTP en relación a la severidad por Flúcker, Pst
		THD(v) máx	THD(v) Fase RN, %	THD(v) Fase SN, %	THD(v) Fase TN, %		THD(v) Promedio Fase, %	Observaciones	Conclusión
4	Tasa de Distorsión armónica en Tensión THD(v)	8.0%	4.75%	4.54%	4.18%		4.49%	THD (v) en fases RN, Sn y TN < 8%. THD(v)	THD(v) aceptable en fases RN; SN y TN
		THD(i) adm	THD(i) Línea R, %	THD(i) Línea S, %	THD(i) Línea T, %		THD(i) Promedio Línea, %	Observaciones	Conclusión
5	Tasa de Distorsión armónica en Corriente THD(i)	15.00%	41.42%	60.36%	35.17%		45.65%	la THD(i) promedio medida es 45.65 % mayor que la THD(i)adm = 15%	No se cumple la NTP en relación a la THD(i) Tasa de distorsión armónica en corriente

Por último, se realizó un análisis económico de las soluciones planteadas

Inversiones:

1) En Mejora del tablero principal:

Interruptor automático de caja moldeada tetrapolar 400 V, 50 kA, 100 A	1 pieza	1750 S/.
Barras de cobre 5 x 40 x 2 mm	4 piezas	850 S/.
Tablero de distribución trifásico	1 pieza	980 S/.
Analizador de redes y de armónicos panel	1 Pieza	4800 S/.
Mano de obra (dos operarios x dos días):		320 S/.
Insumos:		150 S/.
Ferretería eléctrica:		200 S/.
Sub total 1:		9,050 S/.

2) En cable de primer tramo salida de tablero principal:

Cable CAA 70 mm ² :	40 m	2,300 S/.
Soportes tipo bandeja:	40 m	497 S/.
Mano de obra (tres operarios x tres días):		720 S/.
Insumos:		100 S/.
Ferretería eléctrica:		150 S/.
Sub total 2:		3,767 S/.

En Compensación individual del factor de potencia.

Bancos de condensadores trifásicos	7 piezas	8600 S/.
Mano de obra (tres operarios x seis días):		1440 S/.
Insumos:		200 S/.
Ferretería eléctrica:		250 S/.
Tablero eléctrico 90 x 40 x 75 cm		450 S/.
Sub total 3:		10,940 S/.

En Mejora de Calidad de Energía (Reducción de armónicos).

Reactor inductivo de Línea Z = 3%, In = 75 A	7 piezas	12600 S/.
Mano de obra (cuatro operarios x seis días):		3120 S/.
Insumos:		600 S/.
Ferretería eléctrica:		550 S/.
Tablero eléctrico 90 x 40 x 75 cm	7 piezas	4550 S/.
Sub total 4:		21,420 S/.

Inversión total a realizar en ETRAL:

$$9050+3767+10940+21420 = 45,177 S/.$$

Beneficio económico a ser obtenido

Con datos de la empresa ETRAL SAC se elaboró el siguiente cuadro de ingresos brutos y netos actuales, así como los proyectados, con las mejoras en el sistema eléctrico.

Tabla 19.

Beneficio económico

MES/año	EN CONDICIONES ACTUALES		CON MEJORA EN CALIDAD DE ENERGÍA		Incremento de utilidad neta
	Venta bruta	Utilidad neta: 30%	Venta bruta Proyectada	Utilidad neta: 30%	
Ene-21	S/ 106,300.00	S/ 31,890.00	S/ 143,505.00	S/ 43,051.50	S/ 11,161.50
Feb-21	S/ 76,286.80	S/ 22,886.04	S/ 102,987.18	S/ 30,896.15	S/ 8,010.11
Mar-21	S/ 66,508.16	S/ 19,952.45	S/ 89,786.02	S/ 26,935.80	S/ 6,983.36
Abr-21	S/ 84,502.40	S/ 25,350.72	S/ 114,078.24	S/ 34,223.47	S/ 8,872.75
May-21	S/ 58,023.40	S/ 17,407.02	S/ 78,331.59	S/ 23,499.48	S/ 6,092.46
Jun-21	S/ 93,019.40	S/ 27,905.82	S/ 125,576.19	S/ 37,672.86	S/ 9,767.04
Jul-21	S/ 50,176.79	S/ 15,053.04	S/ 67,738.67	S/ 20,321.60	S/ 5,268.56
Ago-21	S/ 113,526.20	S/ 34,057.86	S/ 153,260.37	S/ 45,978.11	S/ 11,920.25
Set-21	S/ 65,200.00	S/ 19,560.00	S/ 88,020.00	S/ 26,406.00	S/ 6,846.00
Oct-21	S/ 55,800.00	S/ 16,740.00	S/ 75,330.00	S/ 22,599.00	S/ 5,859.00
Nov-21	S/ 45,700.00	S/ 13,710.00	S/ 61,695.00	S/ 18,508.50	S/ 4,798.50
Dic-21	S/ 75,600.00	S/ 22,680.00	S/ 102,060.00	S/ 30,618.00	S/ 7,938.00
	S/ 74,220.26	S/ 22,266.08	S/ 100,197.35	S/ 30,059.21	S/ 93,517.53
	PROMEDIO ACTUAL		PROMEDIOS PROYECTADOS		Utilidad anual total proyectada

ETRAL SAC considera que con las mejoras de calidad de energía podrá incrementar su capacidad operativa en 35 % de la actual.

Período de Retorno de la inversión, PRI:

$$PRI = \frac{\text{Inversión}}{\text{Incremento de Beneficio neto}} \rightarrow PRI = \frac{45,177 \text{ S/}}{93,517.53 \frac{\text{S/}}{\text{año}}} = 0.48 \text{ años} = 5.76 \text{ meses}$$

El retorno de la inversión en ETRAL SAC, en mejoras para la calidad de energía, se recuperaría en 5.76 meses

V. DISCUSIÓN

Según la definición de auditoría energética se procedió a realizarla por los investigadores en la empresa ETRAL con un analizador de redes y distorsión armónica:

- Número de modelo: 435-II
- Número de serie: 21463106
- Revisión de firmware: V05.02

Información de software: Versión de Power Log: 5.9, Versión FLUKE 430-II DLL:

1.2.0.14

siendo los resultados los siguientes:

Item	Denominación	Valor nominal Un	Tolerancia admisible NTP	Umáx-adm	Umáx-medido	Umín-adm	Umín-medido
		V	% de Un	V	V	V	V
1	Variaciones de tensión de larga duración	380	5.0%	399	420.76	361	334.36
		Hz	% de fn	Hz	Hz	Hz	Hz
2	Frecuencia de Red Eléctrica	60	0.6%	60.36	60.09	59.64	59.93
			Indice de severidad por Flícker Pst	Pst máx en Fase RN	Pst máx en Fase SN	Pst máx en Fase TN	Pst medio
3	Flícker		≤1	5.12	8.75	5.65	1.817
		THD(v) máx	THD(v) Fase RN, %	THD(v) Fase SN, %	THD(v) Fase TN, %		THD(v) Promedio Fase, %
4	Tasa de Distorsión armónica en Tensión THD(v)	8.0%	4.75%	4.54%	4.18%		4.49%
		THD(i) adm	THD(i) Línea R, %	THD(i) Línea S, %	THD(i) Línea T, %		THD(i) Promedio Línea, %
5	Tasa de Distorsión armónica en Corriente THD(i)	15.00%	41.42%	60.36%	35.17%		45.65%

De la tabla, se observa los datos de frecuencia y la tasa de distorsión armónica en tensión, THD(v) se encuentran en el rango de valores permitido por la Norma técnica peruana de calidad de energía.

Comparando con los resultados de la investigación de Olivares (2018) sobre la calidad de la energía eléctrica, para el mejoramiento de la confiabilidad de activos y la productividad, determinó que el THD(v) es 6.2% y THD(i) = 28.5%, que superan los valores de norma, de 5% y 15% respectivamente, la severidad de flicker Pst = 2, mayor que la norma, Pst = 1, utilizando analizador de armónicos.

Utilizando registro de datos con analizador de distorsión armónica y, en base a los valores admisibles consignados en la norma técnica peruana, se obtuvo que la tasa de distorsión armónica en corriente es $THD(i) = 45.65\% > THD(i)$ admisible = 15%.

El índice de severidad por Flícker varía desde 5 hasta 8, debiendo ser de máximo = 1, esto provoca perturbaciones en la visión de los trabajadores y disminución de la vida útil de las luminarias, debiendo ser corregida.

La tensión trifásica tiene mucha variación, es mayor a los valores de la NTP, que indica que, para $U = 380\text{ V}$, la sobretensión admisible es 399 V y la Subtensión admisible, de 361 V, los valores encontrados fueron: sobre tensión: 420.76 V y Subtensión: 334.36 V, estos valores sobrepasan el valor nominal de 380 V, provocando más intensidad de corriente en carga y en conductores, aumentando el costo de operación y reducción de la vida útil de los equipos.

La frecuencia de la red es de $60 \pm 0.6\text{ Hz}$ y la $THD(v)$ es menor al valor máximo admisible = 60.08%, en este caso, la frecuencia está dentro del rango permitido.

Al verificar los cables de acometida de cada tablero de distribución, en base a la potencia de máxima demanda, considerando la potencia instalada de cada tablero y sus factores de utilización = 80% y de simultaneidad = 1, y con la ecuación de pérdida de tensión en cable trifásico, en función de potencia (w), su longitud(m), su conductividad eléctrica ($S \cdot \text{mm}^2/\text{m}$) se determinó que se debe instalar interruptores automáticos de caja moldeada tetrapolares y barras de cobre de distribución de energía, en cada tablero, se eligió el modo de compensación grupal, instalando bancos de condensadores en cada tablero, para un factor de potencia de 0.975 y reducir la intensidad de corriente.

Ramos & Riveros (2018) en su investigación, donde aplicaron una auditoría eléctrica para determinar la eficiencia energética y la calidad de la energía eléctrica en planta industrial, concluyeron que tiene una calidad de energía aceptable, dentro de lo señalado por la NTCSE-Urbano de $\pm 5\%$ y el 100 % el armónico es de $\pm 8\%$ dentro de las tolerancias según la norma. Dimensionaron un banco de condensadores, pero no indican el modo de compensación.

Se debe invertir 45,177 soles en las mejoras del sistema eléctrico para tener mejor calidad de energía, menos interrupciones y mayor capacidad de operación, del orden de un 35% adicional al actual, lo que resultaría en un incremento anual de utilidad de 93,517 soles, lo que arroja un período de retorno de la inversión de 5.76 meses. Este monto de inversión corresponde a la variante de reducción de distorsión armónica con reactores inductivos trifásicos, de impedancia igual a 3%, estimándose una reducción en la tasa de distorsión armónica a un 40%, es decir, hasta 27.156 %, y obteniéndose un $\cos\phi = 0.975$, que ayuda en reducir la intensidad de corriente total en 33%. La variante con filtros activos, o de sintonía es más compleja, se estima que se anula totalmente la distorsión armónica y aumenta el factor de potencia sin el uso de bancos de condensadores, pero es bastante más cara, del orden de 20,000 a 25,000 USA\$, por lo que se opta por el desarrollo de una metodología de reducción de THD(i) más simple y, en función de su comportamiento, se mejorará utilizando reactores inductivos con impedancias de 5%, o, en su defecto, pasar a utilizar filtros activos

Barboza (2020) en su investigación, busco rediseñar un sistema eléctrico interior de baja tensión 380/220V, y a la vez reducir el consumo de energía en centro Médico, logrando ahorrar 8 % de energía eléctrica, por cambio de cables y tecnología eléctrica de las cargas principales, la inversión estimada es de S/. 26 956.2 obteniendo un VAN de S/. 230.920 y un TIR del 13%, esto significa que sí es un proyecto rentable.

Ramos & Riveros (2018) al aplicar compensación reactiva obtienen un ahorro de S/. 4879 soles por año, con VAN de 6350.78, y TIR = 2.50%, con $\cos\phi > 0.98$

VI. CONCLUSIONES

Del análisis energético realizado, en el objetivo específico nr. 1, se concluye que la Planta ETRAL SAC tiene una potencia instalada de 128 kw, y una potencia total de máxima demanda de 62.63 kw, pero solamente puede operar a un 45% de capacidad, de 26.24 kw, la causa principal es el cable de acometida principal, de solamente 25 mm². Se concluye que debe ser cambiado por uno de capacidad adecuada, para Máxima Demanda de Potencia de ETRAL SAC, de aproximadamente 200 KVA, se concluye que, en el caso de aumento de potencia, se debe dimensionar una subestación eléctrica con alimentación en Media Tensión y salida en 380 V, mientras tanto, puede seguir operando a 25...30 kw de máxima demanda. Se determinó, también; las potencias de máxima demanda de los tableros de distribución: 10.07 kw tablero 1, 7.76 kw tablero 2, 6.56 kw tablero 3, 7.65 kw tablero 4, 10.79 kw tablero 5, 8.12 kw tablero 6 y 5.43 kw para tablero de cargas monofásicas.

Se desarrolló el objetivo específico nr. 2, de análisis de calidad de energía, se encontró que la THD (i) = 45.65% > THD(i) admisible = 15%, según NTP, además el índice de severidad por Flicker es de 5 hasta 8, debiendo ser de máximo = 1, la tensión tiene mucha variación, es mayor a los valores de la norma, la frecuencia es de 60 +-0.6 Hz y la THD(v) es menor al valor máximo admisible = 60.08%, se concluye que la calidad de energía no es buena en ETRAL SAC, la onda senoidal está contaminada por muchas armónicas.

Se observa que el sistema eléctrico de ETRAL SAC no está equilibrado, la potencia instalada de las cargas supera en casi el doble a la potencia que puede transmitir el interruptor principal.

El circuito eléctrico de ETRAL SAC no cuenta con ningún pozo a tierra.

El circuito eléctrico de ETRAL SAC no cuenta con ningún dispositivo de medición de parámetros eléctricos.

El circuito eléctrico de ETRAL SAC no cuenta con bancos de condensadores para compensar el factor de potencia.

ETRAL SAC no cuenta con ningún sistema de respaldo de emergencias para interrupciones de suministro de electricidad.

Se desarrolló el objetivo 3, de los análisis realizados se planteó realizar las siguientes mejoras: Instalar reactores inductivos trifásicos en línea de impedancia igual a 3%, para la reducción de distorsión armónica, estimándose una reducción en la tasa de distorsión armónica a un 40%, es decir, hasta 27.156 %, y obteniéndose un $\cos\varphi = 0.975$, que ayuda en reducir la intensidad de corriente total en 33%.

Al desarrollar el objetivo 4, se determinó que es necesario mejorar los tableros eléctricos de distribución secundaria, instalando interruptores automáticos de caja moldeada tetrapolares y barras de cobre de distribución de energía, en cada tablero, también se ha determinado que debe instalarse bancos de condensadores en cada tablero, para obtener factos de potencia de 0.975 y así reducir la intensidad de corriente, en un 14%.

También se ha previsto instalar en cada tablero de distribución, en serie con el interruptor principal, un reactor de línea, trifásico e inductivo, con impedancia de 3 %, lo que permitirá reducir la THD(i) hasta un 20...35%, y permitirá mejorar las operaciones de producción, así como proteger a los bancos de condensadores.

Al desarrollar el objetivo 5, se hizo el análisis económico, resultando que es necesario invertir 45,177 soles en las mejoras del sistema eléctrico para tener mejor calidad de energía, menos interrupciones y mayor capacidad de operación, del orden de un 35% adicional al actual, lo que resultaría en un incremento anual de utilidad de 93,517 soles, lo que arroja un período de retorno de la inversión de 5.76 meses.

Se concluye que no es necesario realizar un análisis financiero, pue ETRAL SAC tiene la suficiente liquidez para realizar la inversión, no necesitando realizar préstamo bancario. También se concluye que es económicamente viable realizar las mejoras eléctricas en ETRAL SAC, es atractivo

VII. RECOMENDACIONES

- Instalar analizadores de redes y de armónicas en panel en cada tablero, para su evaluación correspondiente.
- Realizar auditorías de calidad de energía dos veces por año
- Implementar las mejoras que resultan de los análisis, como son el cambio de cables de aluminio, de instalación de reactores trifásicos en línea, para aumentar la capacidad de operación y reducción de la distorsión armónica en corriente.
- Realizar las mejoras resultantes en los tableros, en que se observa la necesidad de utilizar interruptores tetrapolares, además de barras de cobre de distribución.
- Implementar planes de mantenimiento preventivo de los dispositivos eléctricos
- Realizar un adecuado tendido de los cables aéreos trifásico y monofásicos, deben ser soportados en bandeja.
- Establecer verificaciones periódicas de los dispositivos de protección como interruptores termomagnéticos e interruptores diferenciales.
- Evaluar el comportamiento de los reactores de línea trifásicos que se instalen en cada tablero de distribución, verificando que, efectivamente se reduce la THD(i) desde 42% actual a 10...15% proyectado, de acuerdo a lo señalado por las empresas fabricantes.
- Realizar un estudio de cambio de suministro eléctrico, de baja tensión en media tensión, dimensionando y seleccionando una subestación con la potencia correspondiente, de acuerdo a normas peruanas.

REFERENCIA

- Arce, Juan de Dios; Li Ricardo; Reushe, Erick & Suasnabar, Elizabeth (2017). "Planeamiento Estratégico de la Industria de Carrocería Metálica". Pontificia Universidad Católica del Perú Escuela de Posgrado. Surco – Lima.
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/9034/ARCE_LI_PLANEAMIENTO_CARROCERIA.pdf?sequence=3&isAllowed=
- Barboza, Luis (2020). "Rediseño del Sistema Eléctrico Interior en Baja Tensión 380/220V para Reducirse el Consumo de Energía en el Centro Médico EsSalud Cayalti". Universidad César Vallejo. Chiclayo – Perú.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/57864>
- Barcón, S., Guerrero, R., & Martínez, I. (2012). Calidad de la Energía Eléctrica: Factor de potencia y filtrado de armónicos. (1ra. ed.). México: Mc Graw Hill.
<https://biblioteca.epn.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=30046>
- Berastegui, Imanol; Bonino, Celina & Gonzáles, Juan (2019). "Análisis de Perturbaciones en Redes eléctricas, Causas y Consecuencias en Sistemas de Control industrial". Universidad Tecnológica Nacional. Argentina
<http://rumbostecnologicos.utnfrainvestigacionposgrado.com/areas-tematicas/ingenieria-electrica/analisis-de-perturbaciones-en-redes-electricas-causas-y-consecuencias-en-sistemas-de-control-industrial/>
- Castro, Diego (2020). "Elaboración de una Propuesta para Mejorar la Calidad del Servicio Eléctrico en el Hospital de Especialidades Básicas La Noria". Universidad César Vallejo. Trujillo – Perú.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/55008>
- Enríquez, G. (2006). La calidad de la energía en los sistemas eléctricos. (1ra. ed.). México: Limusa.
<https://libreria-limusa.com/producto/la-calidad-de-la-energia-en-los-sistemas-electricos/>

- Flores, L., & Sellschopp, S. (2013). La distorsión de la tensión de suministro eléctrico por corrientes armónicas de los usuarios y la necesidad de establecer normas obligatorias en la República Mexicana. RVP-AI 2013. Acapulco, Mex.: IEEE Sección México.
https://www.ecorfan.org/republicofperu/research_journals/Revista_de_Ingenieria_Electrica/vol1num1/ECORFAN_Revista_de_Ingenier%C3%ADa_EI%C3%A9ctrica_VI_NI_1.pdf
- Fluke. (2012). Analizador trifásico de energía y calidad de la energía eléctrica. Manual de uso. UE: Fluke Corporation.
<https://docs.rs-online.com/9151/0900766b815db110.pdf>
- Gonzáles, Cirilo. (2019). "Evaluación y análisis de la calidad de producto bajo efectos de tensiones y corrientes armónicas en un punto de acoplamiento común". Universidad Tecnológica del Perú. Lima – Perú.
https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2969/Cirilo%20Gonzales_Tesis_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hernández, L., Romero, D., & Robles, J. (2013). Efectos de varias fuentes armónicas en sistemas eléctricos de potencia. RVP-AI 2013. Acapulco, Mex.: IEEE Sección México.
https://www.researchgate.net/publication/343982166_Analisis_de_factor_de_potencia_en_variadores_de_velocidad_conectados_a_un_sistema_electrico
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1992). IEEE Std 519-1992, Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems. New York, USA: IEEE.
https://forms1.ieee.org/Power-and-Energy-Resources.html?LT=LG_AD_Google_LM_Adwords_PES_Resource_Centers&gclid=CjwKCAjwq5-WBhB7EiwAI-HEkmVR_yGEY7nSQiHE1Db5Jg775TRNzP8uZ4fsgQLj9q84DjOKOUIWIxoCOdgQAvD_BwE
- Institute of Electrical and Electronics Engineers. (1995). IEEE Std 1159-1995, Monitoring Electric Power Quality. New York, USA: IEEE.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/475495>

- Irigoín, Edwar (2016). "Auditoría Energética para Reducir el Consumo Eléctrico en la Empresa Automotores Pakatnamu". Universidad César Vallejo. Chiclayo – Perú.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/8902/irigoin_se.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Jácome, Robinson & Vargas, Henry (2019). "Análisis de calidad de energía eléctrica de la Empresa Florícola AGRORAB CIA LTDA. Ubicada en el Cantón Paujilí". Universidad Técnica de Cotopaxi. Latacunga – Ecuador.
<http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/5353/1/PI-001331.pdf>
- López, José y Esparza, Mario (2003). "Analizador de redes eléctricas. Conciencia Tecnológica, Número (22)". Instituto Tecnológico de Aguascalientes Aguascalientes, México. Disponible en:
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=94402202>
- Norma Técnica de Calidad de los Servicios Eléctricos (NTCSE). Decreto Supremo N° 020-97-EM. (Perú). Disponible en:
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/898552/DS-020-97-EM.pdf>
- Norma Técnica de Calidad Servicios Eléctricos Rurales. Resolución Directoral N° 016-2008-EMIDGE. (Perú). Disponible en:
<http://intranet2.minem.gob.pe/web/archivos/dge/publicaciones/compendio/RD016-2008.pdf>
- Olivares, Jhonan (2018). "Estudio de la Calidad de la Energía Eléctrica para mejorar la Confiabilidad de activos y la productividad en la empresa Creditex S.A.A". Universidad César Vallejo. Trujillo – Perú.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/26460/olivares_ej.pdf?sequence=4&isAllowed=y
- Organismo Supervisor de la Inversión en Energía y Minería (2011). Calidad de suministro en el Perú – Caso Electronorte. Disponible en:
<http://www.osinerg.gob.pe/newweb/uploads/Publico/II%20FORO%20REGIONAL%20DE%20ELECTRICIDAD%20CHICLAYO%202011%20LAMBAYEQUE/4%20Calidad%20de%20Suministro%20Electrico%20en%20el%20Peru-%20Resultados%20caso%20de%20Electronorte.pdf>

- Parametric Technology Corporation. (2007). User's guide MathCad 14. Massachusetts, USA: PTC.
<https://www.slideshare.net/vstran1/math-cad-14-user-manual>
- Ramos, Erick & Riveros, Schaddai (2018). "Análisis de la Eficiencia Energética y Calidad de la Energía Eléctrica en la Planta Industrial de Procesamiento de Alimentos Agroindustrias Cirnma S.R.L. en la Región de Puno". Universidad Nacional del Altiplano. Puno – Perú.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8910>
- Saavedra, Waldo (2019). "Propuesta de un Sistema Eléctrico de Automatización para Mejorar el Uso de la Energía en la Empresa Odebrecht Perú Operaciones y Servicios SAC de Taparapoto, 2018". Universidad César Vallejo. Tarapoto – Perú.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/35864/Saavedra%20_SW.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Siemens. (2002). Micromaster 420. Manual de instrucciones de uso. Reino Unido: Siemens AG.
<https://www.rpmecatronica.com/system/storage/download/Micro%20Master%20420%20SIEMENS%20Manual.PDF?key=RwW9EGXDIQf35XAx1XMK1DmPMCjFPXJM>
- Sotomayor, Segundo (2017). "Análisis del Sistema Eléctrico 380/220, para Mejorar la Calidad y Eficiencia en el Local del Senati – Trujillo". Universidad César Vallejo. Trujillo – Perú.
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/23040/sotomayor_vs.pdf?sequence=1&isAllowed=y

ANEXOS

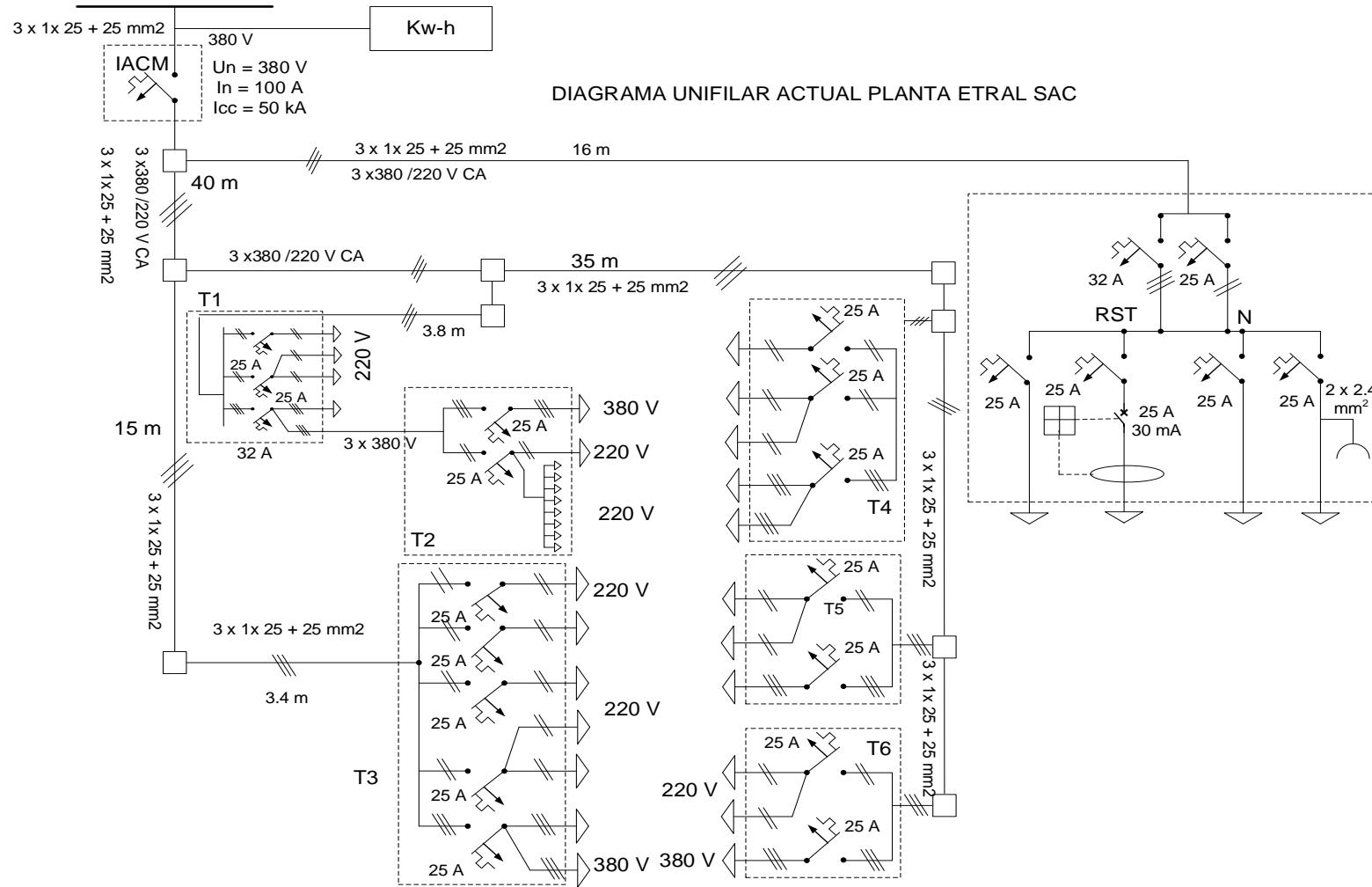
ANEXO N°1. Matriz de operacionalización de variables.

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
Análisis de la Calidad de energía eléctrica	Irigoín (2016) nos dice que el análisis de calidad de energía eléctrica, es aquel procedimiento para poder obtener un adecuado conocimiento en lo que respecta en una instalación del perfil de los consumos energéticos.	El análisis de la calidad de energía eléctrica, es un procedimiento para poder evaluar la eficiencia energética por las interrupciones que ocurre en la empresa y el consumo energético es debido a los costos elevados de la energía	-Tensión -Frecuencia -Perturbaciones -Factor potencia -Armónicos -Pérdida de potencia en conductores	Nominal y de razón
Indicadores de calidad de energía.	Según Sotomayor (2017) nos dice que la calidad de la energía es una normalización del suministro, esto se ve a través de reglas que se fijan en los niveles, los parámetros básicos, en la forma que tiene la onda, en los armónicos, los niveles de distorsión de los armónicos y las interrupciones.	La calidad de energía es el indicador que permite tener una instalación adecuada y que pueda soportar y garantizar el buen funcionamiento de sus cargas de la empresa, lo cual se usara los indicadores de calidad y el suministro eléctrico según la norma técnica de calidad (Urbano, rural)	-Tensión -Frecuencia -Perturbaciones -Factor potencia -Armónicos -Pérdida de potencia en conductores	Nominal y de razón

ANEXO N°2. Inspección visual de la situación actual de la empresa

INSPECCION VISUAL DE LA SITUACION ACTUAL DE LA EMPRESA				
Datos generales				
Fecha:				
Hora:				
Responsables: Bustamante Ortiz Edgar Javier y Huingo Villarreal Carlos Edison				
Nombre de la empresa: Etral SAC				
ítem	Tipo de punto inspeccionado	Descripción de la observación	Ubicación	Foto
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

ANEXO N°3. Diagrama unifilar actual de ETRAL SAC



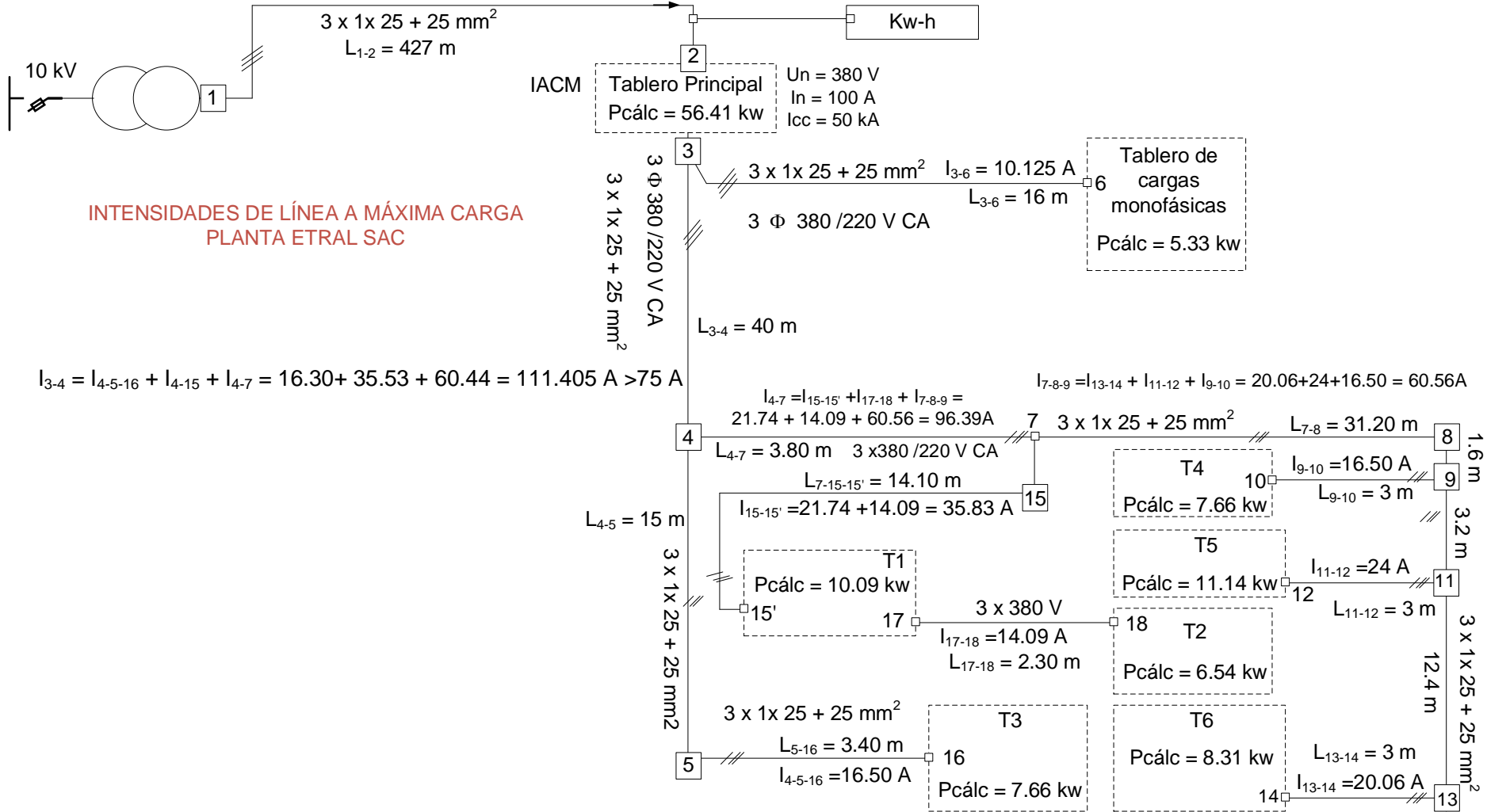
ANEXO N°4. Cargas del tablero monofásico

Tablero de cargas monofásicas							
It	Denominación	Pot kw	F. U	F.S.	Pcálc kW	Tipo	FSI
1	Aire Acondicionado	1.75	0.60	0.74	0.77	Monofásica	15.71%
2	Aire Acondicionado	3.50	0.60	0.74	1.55	Monofásica	31.42%
3	Aire Acondicionado	1.75	0.75	0.74	0.97	Monofásica	15.71%
4	Aire Acondicionado	1.75	0.70	0.74	0.90	Monofásica	15.71%
5	Cámara de Supervisión 01	0.48	0.70	0.74	0.25	Monofásica	4.31%
6	LAPTOP (MABOOK)	0.11	0.70	0.74	0.06	Monofásica	0.99%
7	LAPTOP (MABOOK)	0.11	0.70	0.74	0.06	Monofásica	0.99%
8	LAPTOP (MABOOK)	0.11	0.70	0.74	0.06	Monofásica	0.99%
9	LAPTOP (MABOOK)	0.11	0.70	0.74	0.06	Monofásica	0.99%
10	LAPTOP	0.11	0.70	0.74	0.06	Monofásica	0.99%
11	LAPTOP (MABOOK)	0.15	0.70	0.74	0.08	Monofásica	1.35%
12	LAPTOP (MABOOK)	0.15	0.70	0.74	0.08	Monofásica	1.35%
13	LAPTOP (ACER)	0.10	0.70	0.74	0.05	Monofásica	0.90%
14	LAPTOP (LENOVO)	0.10	0.70	0.74	0.05	Monofásica	0.90%
15	Computadora de Escritorio 1	0.10	0.70	0.74	0.05	Monofásica	0.90%
16	Computadora de Escritorio 2	0.10	0.70	0.74	0.05	Monofásica	0.90%
17	Computadora de Escritorio 3	0.10	0.70	0.74	0.05	Monofásica	0.90%
18	Dispensador de agua 01	0.15	0.70	0.74	0.08	Monofásica	1.35%
19	Dispensador de agua 02	0.15	0.70	0.74	0.08	Monofásica	1.35%
20	Impresora Ricoh	0.10	0.70	0.74	0.05	Monofásica	0.90%
21	Fotocopiadora	0.10	0.70	0.74	0.05	Monofásica	0.90%
22	Focos LED Oficina 01	0.02	0.70	0.74	0.01	Monofásica	0.18%
23	Focos LED Oficina 02	0.02	0.70	0.74	0.01	Monofásica	0.18%
24	Focos LED Oficina 03	0.02	0.70	0.60	0.01	Monofásica	0.18%
		11.14			5.43		73.79%

ANEXO N°5. Inventario de equipos eléctricos en ETRAL SAC

INVENTARIO DE EQUIPOS ELÉCTRICOS ETRAL SAC - TRUJILLO							
RAZON SOCIAL: ETRAL SAC RUC: 20477719784			MZ. B LT. 7 SECTOR VILLA DEL MAR - HUANCHACO				
ITEM	COD	DESCRIPCIÓN	MODELO	I (A)	Un V	Tipo	Pn (KW)
1	MAQ-SOL-003	MAQUINA DE SOLDAR	HG MIG 300	13.25	380	Trifásica	7.50
2	MAQ-SOL-006	MAQUINA DE SOLDAR	RS350	15.02	380	Trifásica	8.50
3	MAQ-SOL-007	MAQUINA DE SOLDAR	AMIGO 323	13.25	380	Trifásica	7.50
4	MAQ-SOL-008	MAQUINA DE SOLDAR	HGMIG 300	15.02	380	Trifásica	8.50
5	MAQ-SOL-009	MAQUINA DE SOLDAR	RS 350	15.02	380	Trifásica	8.50
6	MAQ-SOL-010	MAQUINA DE SOLDAR	XTREME	12.37	380	Trifásica	7.00
7	MAQ-SOL-011	MAQUINA DE SOLDAR	XTREME 250	8.83	380	Trifásica	5.00
8	MAQ-SOL-012	MAQUINA DE SOLDAR	XTREME 350	15.90	380	Trifásica	9.00
9	MAQ-SOL-013	MAQUINA DE SOLDAR	XTREME 250 WELL DAF	8.83	380	Trifásica	5.00
10	MAQ-COMP-014	Compresora 0.75 M3/min	-	8.83	380	Trifásica	5.00
11	MAQ-COMP-015	Compresora 0.40 M3/min	-	10.57	220	Monofásica	2.00
12	MAQ-CNCR-016	MAQUINA CNC	XPTH3-300-PX	7.93	220	Monofásica	1.50
13	MAQ-AMOL7-01	AMOLADORAS (7")		13.21	220	Monofásica	2.50
14	MAQ-AMOL4.5-01	AMOLADORAS (4 1/2")		7.93	220	Monofásica	1.50
15	MAQ-COCNC-018	COMPRESORA GRANDE	-	10.57	220	Monofásica	2.00
16	MAQ-TROZ-019	TROZADORA	-	18.50	220	Monofásica	3.50
17	MAQ-TAL-020	TALADRO DE MESA	-	3.96	220	Monofásica	0.75
18	MAQ-MADE-021	SIERRA CIRCULAR	-	13.21	220	Monofásica	2.50
19	MAQ-LUM-01	LUMINARIA 1		1.06	220	Monofásica	0.20
20	MAQ-LUM-02	LUMINARIA 2		1.06	220	Monofásica	0.20
21	MAQ-LUM-03	LUMINARIA 3		1.06	220	Monofásica	0.20
22	MAQ-LUM-04	LUMINARIA 4		1.06	220	Monofásica	0.20
23	MAQ-LUM-05	LUMINARIA 5		1.06	220	Monofásica	0.20
24	MAQ-LUM-06	LUMINARIA 6		1.06	220	Monofásica	0.20
25	MAQ-LUM-07	LUMINARIA 7		1.06	220	Monofásica	0.20
26	MAQ-LUM-08	LUMINARIA 8		1.06	220	Monofásica	0.20
27	MAQ-LUM-09	LUMINARIA 9		1.06	220	Monofásica	0.20
28	MAQ-LUM-10	LUMINARIA 10		0.79	220	Monofásica	0.15
29	MAQ-ACON-01	AIRE ACONDICIONADO		9.25	220	Monofásica	1.75
30	MAQ-ACON-01	AIRE ACONDICIONADO		18.50	220	Monofásica	3.50
31	MAQ-AIR-01	AIRE ACONDICIONARIO		9.25	220	Monofásica	1.75
32	MAQ-AIR-01	AIRE ACONDICIONARIO		9.25	220	Monofásica	1.75
33	MAQ-AMOL7"-01	AMOLADORAS 01 (7")		13.21	220	Monofásica	2.50
34	MAQ-AMOL7"-02	AMOLADORAS 02 (7")		13.21	220	Monofásica	2.50
35	MAQ-AMOL7"-03	AMOLADORAS 03 (7")		13.21	220	Monofásica	2.50
36	MAQ-AMOL7"-04	AMOLADORAS 04 (7")		13.21	220	Monofásica	2.50
37	MAQ-AMOL7"-05	AMOLADORAS 05 (7")		13.21	220	Monofásica	2.50

ANEXO N°6. Intensidades de línea en sistema eléctrico ETRAL SAC



ANEXO N°7. Cálculos de los tableros

Cálculo del cable de la acometida al tablero principal

Intensidad de línea máxima:

$$I_{L-m\acute{a}x}[A] = \frac{P_{c\acute{a}lc}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \cos\varphi} = \frac{62,630w}{\sqrt{3} * 403.03 * 0.67} = 133.91A$$

Resistencia óhmica de línea: $R_L[\Omega] = \rho_{Al} \left(\Omega * \frac{mm^2}{m} \right) * \frac{L_t(m)}{S_{cond}(mm^2)}$

$$\text{Reemplazando: } R_L[\Omega] = 0.0286 \left(\Omega * \frac{mm^2}{m} \right) * \frac{427(m)}{25(mm^2)} = 0.488\Omega$$

a. Cálculos en condiciones nominales, a plena carga

Caída de tensión máxima de cálculo:

$$\Delta U_{A-B}[V] = \sqrt{3} * I_{L-M\acute{a}x}(A) * R_L(\Omega) = \sqrt{3} * 133.91A * 0.488\Omega = 113.18V$$

Caída porcentual nominal de voltaje:

$$\Delta U_{A-B}[\%] = \frac{\Delta U_{A-B}[V]}{U_1} * 100 = \frac{113.18}{403.03} * 100 = 28.08\% \gg \Delta U_{adm} = 2.5\%$$

Potencia perdida en cable, nominal:

$$P_{p-cable-n}(kw) = 3 * R_L * I_L^2 * 10^{-3} = 3 * 0.488\Omega * 133.91^2 A^2 * 10^{-3} = 26.252kw$$

Temperatura en cable de alimentación a tablero principal:

$$T_{cable_Tablero_1} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}} \right)^2$$
$$T_{cable_Tablero_1} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{133.91}{75} \right)^2 = 189.39^\circ C$$

El cable se quemaría

b. Cálculos en condiciones máximas de operación actual:

Caída de tensión máxima en operación:

$$\Delta U_{A-B}[V] = \sqrt{3} * I_{L-M\acute{a}x}(A) * R_L(\Omega) = \sqrt{3} * 27.30(A) * 0.488(\Omega) = 23.075V$$

Caída porcentual máxima de voltaje en operación:

$$\Delta U_{A-B}[\%] = \frac{\Delta U_{A-B}[V]}{U_1} * 100 = \frac{23.075}{403.03} * 100 = 5.72\% > \Delta U_{adm} = 2.5\%$$

Potencia perdida en cable, máxima en operación:

$$P_{p-cable-m\acute{a}x}(kw) = 3 * R_L * I_L^2 * 10^{-3} = 3 * 0.488\Omega * 23.075^2 A^2 * 10^{-3} = 0.78kw$$

Temperatura en cable de alimentación a tablero principal:

$$T_{cable_Tablero_1} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}} \right)^2$$

$$T_{\text{cable_Tablero}_1} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{27.30}{75}\right)^2 = 36.62^\circ\text{C}$$

c. Cálculos con valores promedio de operación:

Caída de tensión promedio en operación:

$$\Delta U_{A-B}[V] = \sqrt{3} * I_{L-Pr om}(A) * R_L(\Omega) = \sqrt{3} * 10.52(A) * 0.488(\Omega) = 8.89V$$

Caída porcentual máxima de voltaje:

$$\Delta U_{A-B}[\%] = \frac{\Delta U_{A-B}[V]}{U_1} * 100 = \frac{8.89}{403.03} * 100 = 2.20\% < \Delta U_{adm} = 2.5\%$$

Potencia perdida promedio en cable:

$$P_{p-cable-prom}(kw) = 3 * R_L * I_L^2 * 10^{-3} = 3 * 0.488\Omega * 10.52^2 A^2 * 10^{-3} \\ = 0.162kw$$

Temperatura en cable de alimentación a tablero principal:

$$T_{\text{cable_Tablero_Princ}} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}}\right)^2$$

$$T_{\text{cable_Tablero_Princ}} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{10.52}{75}\right)^2 = 30.98^\circ\text{C}$$

Potencias encontradas en bornes llegada tablero principal:

- **Potencia activa máxima en operación:**

$$P_{m\acute{a}x}(kw) = \frac{\sqrt{3} * U_L(V) * \text{Cos}_{\varphi-max}(-) * I_{L-m\acute{a}x}(A)}{1000}$$

$$P_{m\acute{a}x}(kw) = \frac{\sqrt{3} * 403.03(V) * 0.67(-) * 27.30(A)}{1000} = 12.77kw$$

Angulo de desfase, tensión - intensidad φ :

$$\text{arcos}\varphi = \text{arcos}0.67 = 47.93^\circ$$

- **Potencia reactiva máxima:**

$$Q_{m\acute{a}x}(kvar) = P_{m\acute{a}x}(kw) * \tan \varphi$$

$$Q_{m\acute{a}x}(kvar) = P_{m\acute{a}x}(kw) * \tan \varphi = 12.77kw * \tan 47.93 = 14.15kvar$$

- **Potencia aparente máxima:**

$$S_{m\acute{a}x}(kvar) = \sqrt{P_{m\acute{a}x}^2 + Q_{m\acute{a}x}^2} = \sqrt{12.77^2 + 14.15^2} = 19.060 KVA$$

Tablero nr. 1:

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$:

De la ecuación 17 obtuvimos 21.694 A

$$I_{cál} = \frac{P_{cál}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \cos\phi} = \frac{10,070}{\sqrt{3} * 403.03 * 0.67} = 21.53A$$

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.1

$$\Delta U1 = \frac{P_{cál}(w) * L_{4-15}(m)}{\rho Al * U_n * S_{cond}} = \frac{10,070w * 9.3m}{35 * 403.03 * 25} = 0.27V$$

Caída porcentual de tensión:

$$\Delta U1(\%) = (0.27/400)*100 = 0.0675 \% < 3.5\%$$

Sección del conductor neutro: El tablero de distribución nr. 1 cuenta con un conductor de neutro unipolar de 25 mm².

El tablero de distribución nr. 1 no tiene conexión a tierra

Protección térmica: El tablero nr. 1 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 1:

$$P_{p_cable_Tabl_1}(kw) = 3 * R_{L4-15}(\Omega) * I_{L4-15}^2(A^2) * 10^{-3}$$

Siendo la resistencia del cable: R_{L4-15} :

$$R_{L4-15}[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable-4-15}(m)}{S_{cable}(mm^2)} = 0.0286 * \frac{9.30}{25} = 0.0106$$

$$\rightarrow P_{p_cable_Tabl_1}(kw) = 3 * 0.0106(\Omega) * 21.53^2(A^2) * 10^{-3} = 0.015kw$$

La pérdida de potencia activa por caída de tensión en el cable de alimentación al tablero nr. 1 es muy pequeña, de 15 w, casi despreciable.

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 1:

$$T_{cable_Tablero_1} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}} \right)^2$$

$$T_{cable_Tablero_1} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{21.53}{75} \right)^2 = 34.12^\circ C$$

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 1 es baja, es bastante aceptable, $34.12^\circ C \ll 75^\circ C$ (t_n)

Tablero nr. 2:

Intensidad de cálculo, I_{cálc}:

De la ecuación 17 obtuvimos 16.72 A

$$I_{cálc} = \frac{P_{cál}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \cos\varphi} = \frac{7,760}{\sqrt{3} * 400 * 0.67} = 16.72A$$

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.2

$$\Delta U1 = \frac{P_{cálc}(w) * L(m)}{\rho Al * U_n * S_{cond}} = \frac{7,760w * 2.3m}{35 * 400 * 25} = 0.051V$$

Caída porcentual de tensión:

$$\Delta U1(\%) = (0.051/400)*100 = 0.01275 \% < 3.5\%$$

Sección del conductor neutro

El tablero de distribución nr. 2 cuenta con un conductor de neutro unipolar de 25 mm².

El tablero de distribución nr. 2 no tiene conexión a tierra

Protección térmica: El tablero nr. 2 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar I_n = 35 A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 2, P_{p-cable}:

$$P_{p_cable_Tabl_2}(kw) = 3 * R_{L17-18}(\Omega) * I_{L17-18}^2(A^2) * 10^{-3}$$

Siendo la resistencia del cable:

$$R_{L17-18}[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable}(m)}{S_{cable}(mm^2)} = 0.0286 * \frac{2.30}{25} = 0.00263$$

$$\rightarrow P_{p_cable_Tabl_2}(kw) = 3 * 0.00263(\Omega) * 16.72^2(A^2) * 10^{-3} = 0.0022kw$$

La pérdida de potencia activa por caída de tensión en el cable de alimentación al tablero nr. 2 es muy pequeña, de 2.2 w, despreciable.

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 2:

$$T_{cable_Tablero_2} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}} \right)^2$$

$$T_{cable_Tablero_2} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{16.72}{75} \right)^2 = 32.48^\circ C$$

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 1 es baja, es bastante aceptable, 32.48 °C << 75 °C (t_n).

Tablero nr. 3:

Intensidad de cálculo, I_{cál}:

De la ecuación 17 obtuvimos 14.13 A

$$I_{\text{cál}} = \frac{P_{\text{cál}}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \text{Cos}\varphi} = \frac{6560}{\sqrt{3} * 400 * 0.67} = 14.13A$$

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.3

$$\Delta U1 = \frac{P_{\text{cál}}(w) * L(m)}{\rho_{Al} * U_n * S_{\text{cond}}} = \frac{6,560w * 18.40m}{35 * 400 * 25} = 0.35V$$

Caída porcentual de tensión:

$$\Delta U1(\%) = (0.35/400)*100 = 0.0875 \% < 3.5\%$$

Sección del conductor neutro: El tablero de distribución nr. 3 cuenta con un conductor de neutro unipolar de 25 mm², de aluminio

El tablero de distribución nr. 3 no tiene conexión a tierra

Protección térmica: El tablero nr. 3 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar I_n = 35 A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 3:

$$P_{p_cable_Tabl_1}(kw) = 3 * R_{L17-18}(\Omega) * I_{L17-18}^2(A^2) * 10^{-3}$$

Siendo la resistencia del cable:

$$R_{L17-18}[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{\text{cable}}(m)}{S_{\text{cable}}(mm^2)} = 0.0286 * \frac{18.40}{25} = 0.021$$

Potencia perdida en conductor alimentador al tablero nr.3:

$$\rightarrow P_{p_cable_Tabl_1}(kw) = 3 * 0.0021(\Omega) * 14.13^2(A^2) * 10^{-3} = 0.0126kw$$

La pérdida de potencia activa por caída de tensión en el cable de alimentación al tablero nr. 3 es muy pequeña, de 12.6 w, despreciable.

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 3:

$$T_{\text{cable_Tablero}_3} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{\text{oper}}}{I_{n-\text{cable}}} \right)^2$$

$$T_{\text{cable_Tablero}_3} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{14.13}{75} \right)^2 = 31.77^\circ C$$

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 3 es baja, es bastante aceptable, 31.77 °C << 80 °C (temperatura nominal del cable).

Tablero nr. 4:

Intensidad de cálculo, I_{cál}:

De la ecuación 17 obtuvimos 16.48 A

$$I_{\text{cál}_4} = \frac{P_{\text{cál}}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \text{Cos}\phi} = \frac{7,650}{\sqrt{3} * 400 * 0.67} = 16.48A$$

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.4

$$\Delta U_4 = \frac{P_{\text{cál}}(w) * L(m)}{\rho Al * U_n * S_{\text{cond}}} = \frac{7,650w * 3m}{35 * 400 * 25} = 0.065V$$

Caída porcentual de tensión:

$$\Delta U_1[100] = \frac{\Delta U(V)}{U_1(V)} * 100 = \frac{0.065}{400} * 100 = 0.01625\%$$

Sección del conductor neutro: El tablero de distribución nr. 4 cuenta con un conductor de neutro unipolar de 25 mm², de aluminio

El tablero de distribución nr. 4 no tiene conexión a tierra

Protección térmica: El tablero nr. 4 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar In = 35 A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 4:

$$P_{p_cable_Tabl_1}(kw) = 3 * R_{L17-18}(\Omega) * I_{L17-18}^2(A^2) * 10^{-3}$$

Siendo la resistencia del cable de alimentación al tablero 4:

$$R_{L9-10}[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable}(m)}{S_{cable}(mm^2)} = 0.0286 * \frac{3}{25} = 0.00342$$

Potencia perdida en conductor alimentador al tablero nr.4:

$$\rightarrow P_{p_cable_Tabl_4}(kw) = 3 * 0.00342(\Omega) * 16.48^2(A^2) * 10^{-3} = 0.0028kw$$

La pérdida de potencia activa por caída de tensión en el cable de alimentación al tablero nr. 4 es muy pequeña, de 2.8 w, despreciable.

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 4:

$$T_{\text{cable_Tablero}_4} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{\text{oper}}}{I_{n\text{-cable}}} \right)^2$$

$$T_{\text{cable_Tablero}_4} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{16.48}{75} \right)^2 = 32.414^\circ C$$

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 1 es baja, es bastante aceptable, 32.414 °C << 80 °C (temperatura nominal del cable).

Tablero nr. 5:

Intensidad de cálculo, $I_{cál}$:

De la ecuación 17 obtuvimos 23.24 A

$$I_{cál_5} = \frac{P_{cál}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \cos\varphi} = \frac{10,790}{\sqrt{3} * 400 * 0.67} = 23.24A$$

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.4

$$\Delta U_5 = \Delta U_{11-12} = \frac{P_{cál}(w) * L_{11-12}(m)}{\rho Al * U_n * S_{cond}} = \frac{10,790w * 3m}{35 * 400 * 25} = 0.093V$$

Caída porcentual de tensión:

$$\Delta U_{11-12}[100] = \frac{\Delta U(V)}{U_1(V)} * 100 = \frac{0.093}{400} * 100 = 0.023\%$$

Sección del conductor neutro: El tablero de distribución nr. 5 cuenta con un conductor de neutro unipolar de 25 mm², de aluminio

El tablero de distribución nr. 5 no tiene conexión a tierra

Protección térmica: El tablero nr. 5 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar $I_n = 35$ A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 5:

$$P_{p_cable_Tablero_5}(kw) = 3 * R_{L11-12}(\Omega) * I_{L11-12}^2(A^2) * 10^{-3}$$

Siendo la resistencia del cable de alimentación al tablero 5:

$$R_{L11-12}[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable}(m)}{S_{cable}(mm^2)} = 0.0286 * \frac{3}{25} = 0.00342$$

Potencia perdida en conductor alimentador al tablero nr.5:

$$\rightarrow P_{p_cable_Tabl_5}(kw) = 3 * 0.00342(\Omega) * 23.24^2(A^2) * 10^{-3} = 0.0055kw$$

La pérdida de potencia activa por caída de tensión en el cable de alimentación al tablero nr. 5 es muy pequeña, de 5.5 w, despreciable.

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 5:

$$T_{cable_Tablero_4} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}} \right)^2$$

$$T_{cable_Tablero_4} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{23.24}{75} \right)^2 = 34.80^\circ C$$

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 5 es baja, es bastante aceptable, 34.80 °C << 80 °C (temperatura nominal del cable).

Tablero nr. 6:

Intensidad de cálculo, I_{cálc}:

De la ecuación 17 obtuvimos 17.49 A

$$I_{\text{cálc}_5} = \frac{P_{\text{cál}}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \text{Cos}\varphi} = \frac{8,120}{\sqrt{3} * 400 * 0.67} = 17.49A$$

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero nr.6

$$\Delta U_6 = \Delta U_{13-14} = \frac{P_{\text{cálc}}(w) * L_{13-14}(m)}{\rho_{Al} * U_n * S_{\text{cond}}} = \frac{8,120w * 3m}{35 * 400 * 25} = 0.070V$$

Caída porcentual de tensión:

$$\Delta U_{13-14}[100] = \frac{\Delta U(V)}{U_1(V)} * 100 = \frac{0.070}{400} * 100 = 0.0175\%$$

Sección del conductor neutro: El tablero de distribución nr. 6 cuenta con un conductor de neutro unipolar de 25 mm², de aluminio

El tablero de distribución nr. 6 no tiene conexión a tierra

Protección térmica: El tablero nr. 6 cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar I_n = 35 A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero nr. 6:

$$P_{p_cable_Tablero_6}(kw) = 3 * R_{L13-14}(\Omega) * I_{L13-14}^2(A^2) * 10^{-3}$$

Siendo la resistencia del cable de alimentación al tablero 6:

$$R_{L13-14}[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable}(m)}{S_{cable}(mm^2)} = 0.0286 * \frac{3}{25} = 0.00342$$

Potencia perdida en conductor alimentador al tablero nr.6:

$$\rightarrow P_{p_cable_Tabl_6}(kw) = 3 * 0.00342(\Omega) * 17.49^2(A^2) * 10^{-3} = 0.0032kw$$

La pérdida de potencia activa por caída de tensión en el cable de alimentación al tablero nr. 6 es muy pequeña, de 3.2 w, despreciable

Temperatura en cable de alimentación a tablero nr. 6:

$$T_{\text{cable_Tablero}_6} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{\text{oper}}}{I_{n\text{-cable}}} \right)^2$$
$$T_{\text{cable_Tablero}_6} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{17.49}{75} \right)^2 = 32.72^\circ C$$

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 6 es baja, es bastante aceptable, 32.72 °C << 80 °C (temperatura nominal del cable).

Tablero de cargas monofásicas:

Intensidad de cálculo, I_{cál}:

De la ecuación 17 obtuvimos 11.70 A

$$I_{cál_{3-6}} = \frac{P_{cál}(w)}{\sqrt{3} * U_n(V) * \cos\phi} = \frac{5,430}{\sqrt{3} * 400 * 0.67} = 11.70A$$

Caída de tensión en cable de alimentación a tablero monofásico

$$\Delta U_{3-6} = \frac{P_{cál}(w) * L_{3-6}(m)}{\rho Al * U_n * S_{cond}} = \frac{5,430w * 16m}{57.14 * 400 * 16} = 0.24V$$

Caída porcentual de tensión:

$$\Delta U_{3-6}[100] = \frac{\Delta U(V)}{U_1(V)} * 100 = \frac{0.25}{400} * 100 = 0.0625\% < \Delta U_{adm} = 2.5\%$$

Sección del conductor neutro:

El tablero monofásico cuenta con un conductor de neutro unipolar de 16 mm², de cobre. El tablero monofásico no tiene conexión a tierra

Protección térmica:

El tablero monofásico cuenta con un interruptor magnetotérmico tripolar I_n = 35 A; Curva D; Poder de corte: 20 kA.

Potencia perdida en cable de alimentación al tablero monofásico:

$$P_{p_cable_Tablero_6}(kw) = 3 * R_{L13-14}(\Omega) * I_{L13-14}^2(A^2) * 10^{-3}$$

Siendo la resistencia del cable de alimentación al tablero monofásico:

$$R_{L3-6}[\Omega] = \rho_{Al} \left(\frac{\Omega * mm^2}{m} \right) * \frac{L_{cable}(m)}{S_{cable}(mm^2)} = 0.0175 * \frac{3}{16} = 0.0033$$

Potencia perdida en conductor alimentador al tablero monofásico:

$$\rightarrow P_{p_cable_Tabl_Mon}(kw) = 3 * 0.0033(\Omega) * 11.70^2(A^2) * 10^{-3} = 0.00131 kw$$

La pérdida de potencia activa por caída de tensión en el cable de alimentación al tablero nr. 6 es muy pequeña, de 3.2 w, despreciable.

Temperatura en cable de alimentación a tablero monofásico:

$$T_{cable_Tablero_6} = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper}}{I_{n-cable}} \right)^2$$
$$T_{cable_Tablero_6} = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{11.70}{55} \right)^2 = 32.26^\circ C$$

La temperatura de operación del cable alimentador al tablero 6 es baja, es bastante aceptable, 32.26 °C << 80 °C (temperatura nominal del cable).

ANEXO 8. Cálculo de líneas de alimentación (figura 36) por tramos:

a) Tramo 11-13-14:

Longitud: $3 + 12.4 = 15.4$ m

Resistividad eléctrica del aluminio: $0.0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Intensidad de corriente en tramo 11-13-14, $I_{11-13-14} = I_{13-14} = 20.06$ A

Resistencia óhmica del tramo: $R_{11-13-14} = 0.0286 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{15.4\text{m}}{25\text{mm}^2} = 0.0176\Omega$

Caída de tensión en tramo 11-13-14:

$$\begin{aligned}\Delta U_{11-13-14}(V) &= \sqrt{3} * I_{L_{11-13-14}}(A) * R_{11-13-14}(\Omega) = \sqrt{3} * 20.06 * 0.0176 \\ &= 0.6115V\end{aligned}$$

Potencia perdida en tramo:

$$\begin{aligned}P_{p_{11-13-14}} &= 3 * R_{L_{11-13-14}}(\Omega) * I_{L_{11-13-14}}^2 * 10^{-3} = 3 * 0.0176 * 20.06^2 * 10^{-3} \\ &= 0.0212\text{kw}\end{aligned}$$

Temperatura del cable en tramo:

$$\begin{aligned}t_{11-13-14}(^{\circ}\text{C}) &= t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper11-13-14}(A)}{I_n(A)} \right)^2 \\ &= 30 + (80 - 30) * \left(\frac{20.06(A)}{75(A)} \right)^2 = 33.57^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

b) Tramo 9-11:

Longitud: 3.2

Resistividad eléctrica del aluminio: $0.0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Intensidad de corriente en tramo: $I_{9-11} = I_{11-13-14} + I_{11-12} = 20.06 + 24 = 44.06$ A

Resistencia óhmica del tramo: $R_{9-11} = 0.0286 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{3.20\text{m}}{25\text{mm}^2} = 0.00366\Omega$

Caída de tensión en tramo 9-11:

$$\Delta U_{9-11}(V) = \sqrt{3} * I_{L_{9-11}}(A) * R_{9-11}(\Omega) = \sqrt{3} * 44.06 * 0.00366 = 0.28V$$

Potencia perdida en tramo:

$$P_{p_{9-11}} = 3 * R_{L_{9-11}}(\Omega) * I_{L_{9-11}}^2 * 10^{-3} = 3 * 0.00366 * 44.06^2 * 10^{-3} = 0.0213\text{kw}$$

Temperatura del cable en tramo:

$$\begin{aligned}t_{9-11}(^{\circ}\text{C}) &= t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper-9-11}(A)}{I_n(A)} \right)^2 = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{44.06(A)}{75(A)} \right)^2 \\ &= 47.25^{\circ}\text{C}\end{aligned}$$

c) Tramo 7-8-9:

Longitud: 32.80 m

Resistividad eléctrica del aluminio: $0.0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Intensidad de corriente en tramo:

$$I_{7-8-9} = I_{9-10} + I_{11-12} + I_{11-13-14} = 16.5 + 24 + 20.06 = 60.56 \text{ A}$$

$$\text{Resistencia óhmica del tramo: } R_{7-8-9} = 0.0286 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{32.80\text{m}}{25\text{mm}^2} = 0.0375\Omega$$

Caída de tensión en tramo 7-8-9:

$$\Delta U_{7-8-9}(V) = \sqrt{3} * I_{L_{7-8-9}}(A) * R_{7-8-9}(\Omega) = \sqrt{3} * 60.56 * 0.0375 = 3.93V$$

Potencia perdida en tramo:

$$P_{p_{7-8-9}} = 3 * R_{L_{7-8-9}}(\Omega) * I_{L_{7-8-9}}^2 * 10^{-3} = 3 * 0.0375 * 60.56^2 * 10^{-3} = 0.412\text{kw}$$

Temperatura del cable en tramo:

$$t_{7-8-9}(^{\circ}\text{C}) = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper-7-8-9}(A)}{I_n(A)} \right)^2 = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{60.56(A)}{75(A)} \right)^2 \\ = 62.60^{\circ}\text{C}$$

d) Tramo 4-7-15:

Longitud: 3.80 m

Resistividad eléctrica del aluminio: $0.0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$

Intensidad de corriente en tramo:

$$I_{4-7-15} = I_{17-18} + I_{7-15-15'} + I_{7-8-9} = 14.09 + 21.74 + 60.56 = 96.39 \text{ A}$$

$$\text{Resistencia óhmica del tramo: } R_{4-7-15} = 0.0286 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{3.80\text{m}}{25\text{mm}^2} = 0.00435\Omega$$

Caída de tensión en tramo 4-7-15:

$$\Delta U_{4-7-15}(V) = \sqrt{3} * I_{L_{4-7-15}}(A) * R_{4-7-15}(\Omega) = \sqrt{3} * 96.39 * 0.00435 = 0.73V$$

Potencia perdida en tramo:

$$P_{p_{4-7-15}} = 3 * R_{L_{4-7-15}}(\Omega) * I_{L_{4-7-15}}^2 * 10^{-3} = 3 * 0.00435 * 96.39^2 * 10^{-3} \\ = 0.121\text{kw}$$

Temperatura del cable en tramo:

$$t_{4-7-15}(^{\circ}\text{C}) = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper-4-7-15}(A)}{I_n(A)} \right)^2 \\ = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{96.39(A)}{75(A)} \right)^2 = 94.26^{\circ}\text{C}$$

e) Tramo 3-4:

Longitud: 40 m

Resistividad eléctrica del aluminio:

$$0.0286 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

Intensidad de corriente en tramo:

$$I_{3-4} = I_{4-5-16} + I_{4-7} = 16.50 + 93.39 = 112.89 \text{ A}$$

Resistencia óhmica del tramo:

$$R_{3-4} = 0.0286 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} * \frac{40\text{m}}{25\text{mm}^2} = 0.0457\Omega$$

Caída de tensión en tramo 4-7-15:

$$\Delta U_{3-4}(V) = \sqrt{3} * I_{L_{3-4}}(A) * R_{3-4}(\Omega) = \sqrt{3} * 112.89 * 0.0457 = 8.95V$$

Potencia perdida en tramo:

$$P_{p_{3-4}} = 3 * R_{L_{3-4}}(\Omega) * I_{L_{3-4}}^2 * 10^{-3} = 3 * 0.0457 * 112.89^2 * 10^{-3} = 1.75\text{kw}$$

Temperatura del cable en tramo:

$$t_{3-4}(^{\circ}\text{C}) = t_0 + (t_n - t_0) * \left(\frac{I_{oper-3-4}(A)}{I_n(A)} \right)^2 = 30 + (80 - 30) * \left(\frac{112.89(A)}{75(A)} \right)^2 \\ = 143.28^{\circ}\text{C}$$

El cable del tramo 3 – 4 no tiene capacidad de transmitir la potencia total en ETRAL SAC, la caída de tensión sería del 2.23% y la temperatura sería mayor a la máxima admisible de operación, $143.28^{\circ}\text{C} > 80^{\circ}\text{C}$

ANEXO N°9. Análisis de calidad de energía y distorsión armónica

De los resultados de medición y registro de datos:

Intensidad rms, $I_{rms} = 11.28 \text{ A}$

Intensidad fundamental $I_1 = 10.23 \text{ A}$

Intensidad residual (de armónicos), I_{res} :

$$I_{res} = \sqrt{I_{rms}^2 - I_{fundam}^2} = \sqrt{11.28^2 - 10.23^2} = 4.75 \text{ A}$$

Tensión de línea: 400 V

Factor de potencia = 0.67

Potencia activa P_1 : 5.23 kw

Ángulo de desfase Intensidad tensión, φ :

$$\varphi = \text{Ar cos}(0.67) = 47.932^\circ$$

Potencia reactiva Q :

$$Q_1 [\text{Kv} - \text{ar}]_1 [\text{kw}] \tan \varphi$$

$$\rightarrow Q_1 = 5.23 * \tan 47.932 = 5.794 \text{ Kvar}$$

Potencia aparente, sin distorsión armónica, S :

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{5.23^2 + 5.794^2} = 7.805 \text{ KVA}$$

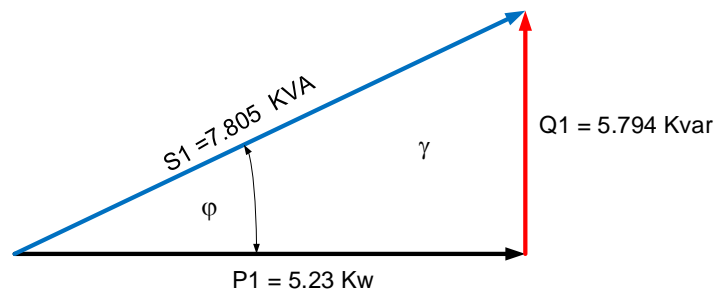


Figura 33: triángulo de potencias de ETRAL SAC, sin armónicos.

Potencia de distorsión armónica D :

$$D [\text{KVA}] = \frac{\sqrt{3} * U_1 (\text{V}) * I_{res} (\text{A})}{1000}$$

$$\rightarrow D [\text{KVA}] = \frac{\sqrt{3} * 400 \text{ V} * 4.75 \text{ A}}{1000} = 3.29$$

Potencia aparente, con distorsión armónica, S_2 :

$$S_2 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2 + D^2} = \sqrt{5.23^2 + 5.794^2 + 3.29^2} = 8.47 \text{ kVA}$$

Factor de potencia del circuito con distorsión armónica:

$$FP = \frac{P}{S_1} = \frac{5.23 \text{ kw}}{8.47 \text{ KVA}} = 0.62$$

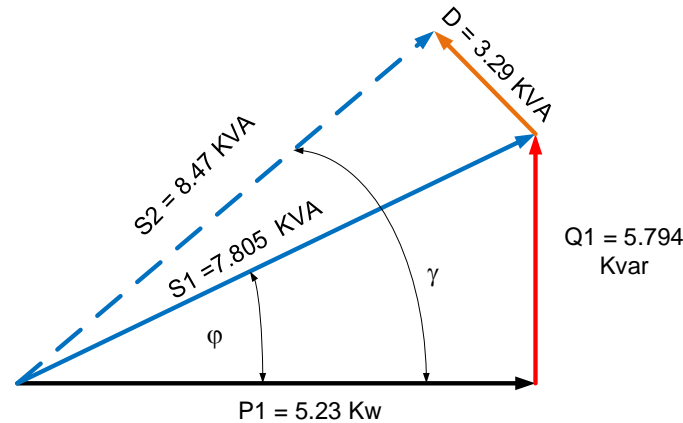


Figura 34: Potencias en ETRAL SAC, con armónicos.

Es decir, se debe instalar dispositivos para filtrar armónicos, con una potencia de 3.28 kvar para el tablero nr. 1

Determinar la propuesta de mejora de la calidad de energía eléctrica en la empresa.

Mejora del tablero de distribución principal

Intensidad de corriente estimada de cortocircuito

$$I_{cc} = \frac{U_c}{\sqrt{3} * Z_{cc}}$$

$U_c = 400 \text{ V}$,

Z_{cc} = impedancia de cortocircuito de la línea trifásica, en $m\Omega$, se considera que el cortocircuito se puede dar a 40 m del tablero, en la primera conexión trifásica, siendo la impedancia de línea, despreciando la reactancia inductiva, igual a:

$$Z_{cc} = \rho_{Al} * \frac{L_{cc}}{S_{cble}} = 0.0286 * \frac{40}{70} = 0.00654 \Omega = 16.34 \text{ m}\Omega$$

La distribución de las líneas trifásicas a las cargas monofásicas y trifásicas ya no se harán directamente de los bornes de los interruptores, sino desde barras de cobre, que serán dimensionados del siguiente modo:

Intensidad de cortocircuito del tablero principal:

$$\rightarrow I_{cc} = \frac{400 \text{ V} * 10^3}{\sqrt{3} * 16.34 \Omega} = 14.13 \text{ kA}$$

Entonces el interruptor automático de caja moldeada nuevo deberá tener las siguientes características:

$$U_n = 400 \text{ V}$$

$$I_n = 100 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 25 \text{ kA (redondeado al valor comercial inmediato superior)}$$

Tipo: Tetrapolar, con conexión de neutro.

Cálculos mecánicos del tablero de distribución principal

Efectos electrodinámicos.

Se determinan con la corriente de choque de cortocircuito:

$$\text{Corriente cortocircuito de choque} = I_{ch} = \sqrt{2} \cdot I_{cc}$$

$$\text{Entonces: } I_{ch} = 1.41 \cdot 14.13 = 19.92 \text{ KA}$$

Efectos electrodinámicos: Las barras de cobre desnudas para circuito de Baja

Tensión son de

$$S = 12 \times 2 \text{ mm} = 24 \text{ mm}^2,$$

$$I_n = 216 \text{ A para tres barras.}$$

Fuerza en barras (kg-f):

se tiene la expresión: $F = 2.04 \cdot I_{ch}^2 \cdot L/d$ (Kg-f)

F = Fuerza en Kg-f sobre las barras.

$$I_{ch} = \text{Corriente de choque} = 19.92 \text{ KA}$$

$$L = \text{Longitud entre apoyos de aisladores} = 0.30 \text{ m}$$

$$d = \text{separación entre barras} = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Entonces: } F = 2.04 \cdot (19.92)^2 \cdot 0.30/2.5 = 97.14 \text{ Kg-f}$$

Se utilizarán aisladores portabarra clase A (DIN 48100) que soportan 375 Kg-f de esfuerzo en el aislador y que cumple con el requerimiento solicitado.

Flexión de trabajo (FT):

a).- Momento flector máximo (M)

$$M = F \cdot L/8 = 97.14 \cdot 0.30/8 = 3.64 \text{ Kg-m}$$

b).- **Momento resistente en la barra (Wr) = $h \times b^2/6$**

$$h \text{ barra} = 0.2 \text{ cm, } b = 1.2 \text{ mm}$$

$$\text{Entonces: } W_r = 0.2 \cdot (1.2)^2/6 = 0.048 \text{ cm}^3$$

c).- **Esfuerzo de flexión de trabajo $\sigma_f = M/W_r$**

$$\sigma_f = 3.64/0.048 = 75.83 \text{ kg/cm}^2$$

El Cobre soporta 1,200 Kg/cm² >> 75.83 kg/cm², es satisfactorio.

Cálculo de resonancia de las barras

Cuando la frecuencia natural (f_n) y la frecuencia en barras están muy cerca del +/- 10% de la frecuencia de la red eléctrica o de un múltiplo natural de ella, se produce la resonancia, siendo necesario que la frecuencia natural debe estar fuera de los intervalos $54 < f_n < 66$, $108 < f_n < 132$ Hz

La frecuencia natural se calcula con: $F_n [Hz] = 112 * \sqrt{\frac{E * J}{G * L^2}}$ siendo:

L = Longitud de la barra entre apoyos = 20 cm

E = Módulo de elasticidad = $1.25 * (10^6)$ Kg/cm²

J = Momento de inercia = 2.66 (cm⁴)

G = Peso de la barra = 0.0223 Kg/cm

F_n = frecuencia natural de oscilación de la barra

Momento de inercia: $J = h * (b)^3 / 12$ (cm⁴) = $0.2 * (1.2)^3 / 12 = 0.0288$ (cm⁴)

$$\rightarrow F_n [Hz] = 112 * \sqrt{\frac{E * J}{G * L^2}} = 112 * \sqrt{\frac{1.25 * 10^6 * 0.0288}{0.0223 * 20^2}} = 355.76 Hz$$

La frecuencia natural de la barra $F_n = 355.76$ Hz se encuentra fuera de los rangos <54, 66> y <108, 132>, es decir soporta los requerimientos.

Elevación de temperatura: $\Delta T = K * (I_{cc})^2 * (t + \Delta t) / (A)^2$

K = Constante del cobre = 0.0068

A = sección de la barra = 24 mm²

I_{cc} = Corriente de cortocircuito = 14130 A

T = Tiempo de apertura del Dispositivo de protección = 20 ms = 0.02 s.

Incremento de tiempo de protección $\Delta t = (I_{ch} / I_{cc})^2 * t$ en s.

I_{ch} = Corriente de choque = 19920 A

T = Valor cortocircuito tripolar = 0.6

Entonces: $\Delta t = (19920 / 14130)^2 * 0.6 = 1.19$ segundos

Entonces: $\Delta T = 0.0068 * (14130)^2 * (0.02 + 1.19) / (200)^2 = 41.07$ °C

Considerando que la temperatura de trabajo antes de la falla era de 40 °C, entonces la temperatura final al mitigarse la falla será: $T_{final} = 40$ °C + 41.07 °C = 81.08 °C << 200 °C que soporta el cobre, por lo tanto, se cumple el requerimiento. Nota: Por iteración resulta que la barra debe ser de cobre, $5 * 40 = 200$ mm²

Compensación del Cosφ para el tablero de distribución nr 1:

Datos:

- Potencia nominal P1: 16.30 kw
- Potencia de cálculo P1-c: 10.07 kw
- Tensión de línea: 400 V
- Frecuencia de la red: 60 Hz.
- Factor de potencia inicial: 0.67

Angulo de desfase inicial, $\varphi_1: \varphi_1 = \arccos 0.67 = 47.93^\circ$

Factor de potencia final, proyectado: 0.975 (Para no pagar energía reactiva)

Angulo de desfase final proyectado, $\varphi_2: \varphi_2 = \arccos 0.975 = 12.84^\circ$

Potencia reactiva de cálculo inicial, Q1:

$$Q_1 [kvar] = [P_{1-c} \tan \varphi_1 \tan \varphi_2 \text{ var}]$$

Potencia reactiva de cálculo final, Q2:

$$Q_2 [kvar] = [P_1 \tan \varphi_2 \tan \varphi_1 \text{ var}]$$

Potencia del banco de condensadores trifásico:

$$Q_{c-trif} [kvar] = [Q_2 \text{ var}]$$

Potencia del condensador por fase: $Q_{c-f} = \frac{Q_{c-trif}}{3} = \frac{8.86}{3} = 2.953 \text{ kvar}$

Reducción de intensidad de corriente en cable de acometida a tablero

Intensidad de corriente inicial, sin compensación del $\cos\varphi$, I1:

$$I_1 [A] = \frac{P_{cál1}(w)}{\sqrt{3} * U_L * \cos\varphi_1} = \frac{10070w}{\sqrt{3} * 400 * 0.67} = 21.67A$$

Intensidad de corriente inicial, con compensación del $\cos\varphi$, I2:

$$I_2 [A] = \frac{P_{cál1}(w)}{\sqrt{3} * U_L * \cos\varphi_2} = \frac{10070w}{\sqrt{3} * 400 * 0.975} = 14.91A$$

Reducción de I en cable de acometida a tablero 1: 21.67-14.91 = 6.76

Reducción de armónicos de intensidad

El análisis de la data de armónicos una condición de resonancia sobre la quinta armónica. Para resolver esa situación crítica, se determinó que un filtro sobre la quinta armónica debe ser diseñado para una buena operación sobre la quinta armónica.

Considerando que existirá un banco de capacitores de 2950 VAr a 400 V, para el tablero nr. 1, se calculará el tamaño de la inductancia para que el banco pueda ser operar como un filtro de la 5 armónica en 400 V.

Las ecuaciones importantes son:

$$h^2 = \frac{X_c}{X_L}$$

$$X_c = \frac{U^2(V^2)}{Q_c(VAr)}$$

$$X_L = 2 * \pi * f * L$$

donde:

h = Armónica seleccionada: número 5 (THD > 22%)

X_c = Reactancia capacitiva del filtro

X_L = Reactancia inductiva del filtro

U = Voltaje nominal en volts del banco de capacitores

Q_c = Potencia en VAr del banco de capacitores

π = 3.1416

f = Frecuencia en Hz de la onda fundamental [60]

L = Inductancia en henries.

Combinando las ecuaciones 5.1 a 5.3 y despejando L, queda:

$$L = \frac{U^2}{h^2 * Q_c * 2 * \pi * f} = \frac{400^2}{5^2 * 2950 * 2 * 3.1416 * 60} = 0.2075mHenries$$

Solución propuesta con reactores inductivos en serie

Para reducir/eliminar el efecto nocivo de los armónicos se plantea reducir individualmente en cada tablero de distribución, por un aspecto económico, pues el costo de filtros activos de armónicos es mucho mayor que la variante recomendada, de reactor inductivo en serie, que es del orden de 10 a 1; lo que se desarrolla a continuación. La impedancia suministrada de un reactor dado es reducido a medida que se reduce la corriente de carga:

$$\% \text{ Impedancia}(z) = \frac{I_{cont} * 2\pi * f * L * \sqrt{3}}{U_{LL}^2} * 100.$$

Donde:

I_{CONT} = Corriente continua a través del reactor en Amperios RMS = 14.9 A

f = Frecuencia de la forma de onda de CA aplicada al reactor: 60 Hz

V_{LL} = Voltaje de línea a línea (fase a fase) aplicado al reactor: 400 V

L = Inductancia de los devanados del reactor en mili-henrys

$$\%Z = \frac{\sqrt{3} * I_L * X_L}{U_L^2} = \frac{14.9A * 2\pi * 60Hz * 0.2055H * \sqrt{3}}{400^2} * 100 = 1.25\%$$

Dimensionamiento de puesta a tierra

Para el caso de ETRAL SAC, se tiene en cuenta con equipos electrónicos en baja potencia, como son los equipos de cómputo, y los de control electrónico en las máquinas de soldar, además del equipo de control electrónico del torno CNC, la resistencia a tierra, en este caso, según la NTP debe ser $R_t \leq 5 \Omega$

Parámetros De Cálculo

- Resistencia para el Sistema de Puesta a Tierra.....5 Ω (máximo)
- Resistividad del Terreno según tabla, para terreno pedregoso.....(ρ)
100 $\Omega - m$
- Longitud del Electrodo de Cobre electrolítico (Lelect): 2.40 m
- Diámetro del Electrodo (19 mm) (delect): 0.016 m
- Profundidad del Pozo a Tierra (h): 2.40 m

Cálculo De La Resistencia De Puesta A Tierra

Para calcular la Resistencia de puesta a Tierra, se ha aplicado la siguiente ecuación:

$$R_T(\Omega) = \frac{\rho_{Terr}}{2\pi * L_{elect}} * Ln\left(\frac{4L_{elect}}{1.36 * d_{elect}}\right). \text{ En la cual:}$$

R_T : Resistencia de un electrodo en Ohms

ρ_{Terr} : Resistividad del Terreno en Ohms – m

Lelect: Longitud del electrodo en m

delect: Diámetro del electrodo de cobre en m

Por ser la resistividad del terreno un poco elevada, y por demandar baja resistencia a la conexión a tierra (5 Ω), se procede a lo siguiente:

Resistencia total necesaria a Tierra: $R_t = 5 \Omega$

Se necesitarán dos electrodos conectados en paralelo:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_t} \rightarrow R_T = \frac{1}{\frac{1}{R_t} + \frac{1}{R_t}} = \frac{1}{\frac{2}{R_t}} = \frac{R_t}{2} \rightarrow R_t = 2 * 5 = 10\Omega$$

Cada electrodo deberá tener $R_t = 10 \Omega$

Resistividad necesaria del terreno:

$$\rho_{Terr} = \frac{R_t * 2 * \pi * Lelect}{Ln\left(\frac{4 * Lelect}{1.36 * delect}\right)} = \frac{10 * 2\pi * 2.40}{Ln\left(\frac{4 * 2.40}{1.36 * 0.016}\right)} = 25.76\Omega - m$$

Configuración de equipo analizador de redes



Instalación del equipo



Desinstalación del equipo

ANEXO N°11. Datos del analizador de redes

THD V AN Med	THD V BN Med	THD V CN Med	THD V NG Med	Armónicos Tensión13 AN Med	Armónicos Tensión13 BN Med	Armónicos Tensión13 CN Med	Armónicos Tensión13 NG Med
4.75	4.54	4.18	42.33	0.29	0.59	0.34	6.33
Armónicos Tensión0 AN Med	Armónicos Tensión0 BN Med	Armónicos Tensión0 CN Med	Armónicos Tensión0 NG Med	Armónicos Tensión14 AN Med	Armónicos Tensión14 BN Med	Armónicos Tensión14 CN Med	Armónicos Tensión14 NG Med
0.13	0.12	0.12	2.77	0.03	0.03	0.02	0.42
Armónicos Tensión1 AN Med	Armónicos Tensión1 BN Med	Armónicos Tensión1 CN Med	Armónicos Tensión1 NG Med	Armónicos Tensión15 AN Med	Armónicos Tensión15 BN Med	Armónicos Tensión15 CN Med	Armónicos Tensión15 NG Med
100.00	100.00	100.00	100.00	0.41	0.44	0.20	5.88
Armónicos Tensión2 AN Med	Armónicos Tensión2 BN Med	Armónicos Tensión2 CN Med	Armónicos Tensión2 NG Med	Armónicos Tensión16 AN Med	Armónicos Tensión16 BN Med	Armónicos Tensión16 CN Med	Armónicos Tensión16 NG Med
0.14	0.15	0.15	1.35	0.03	0.03	0.02	0.38
Armónicos Tensión3 AN Med	Armónicos Tensión3 BN Med	Armónicos Tensión3 CN Med	Armónicos Tensión3 NG Med	Armónicos Tensión17 AN Med	Armónicos Tensión17 BN Med	Armónicos Tensión17 CN Med	Armónicos Tensión17 NG Med
3.47	3.41	3.25	33.94	0.30	0.25	0.20	3.49
Armónicos Tensión4 AN Med	Armónicos Tensión4 BN Med	Armónicos Tensión4 CN Med	Armónicos Tensión4 NG Med	Armónicos Tensión18 AN Med	Armónicos Tensión18 BN Med	Armónicos Tensión18 CN Med	Armónicos Tensión18 NG Med
0.07	0.08	0.08	0.84	0.03	0.03	0.02	0.35
Armónicos Tensión5 AN Med	Armónicos Tensión5 BN Med	Armónicos Tensión5 CN Med	Armónicos Tensión5 NG Med	Armónicos Tensión19 AN Med	Armónicos Tensión19 BN Med	Armónicos Tensión19 CN Med	Armónicos Tensión19 NG Med
2.72	3.12	3.03	11.76	0.16	0.17	0.12	2.52
Armónicos Tensión6 AN Med	Armónicos Tensión6 BN Med	Armónicos Tensión6 CN Med	Armónicos Tensión6 NG Med	Armónicos Tensión20 AN Med	Armónicos Tensión20 BN Med	Armónicos Tensión20 CN Med	Armónicos Tensión20 NG Med
0.05	0.04	0.05	0.59	0.03	0.02	0.02	0.29
Armónicos Tensión7 AN Med	Armónicos Tensión7 BN Med	Armónicos Tensión7 CN Med	Armónicos Tensión7 NG Med	Armónicos Tensión21 AN Med	Armónicos Tensión21 BN Med	Armónicos Tensión21 CN Med	Armónicos Tensión21 NG Med
0.71	0.84	0.72	10.69	0.19	0.11	0.09	1.97
Armónicos Tensión8 AN Med	Armónicos Tensión8 BN Med	Armónicos Tensión8 CN Med	Armónicos Tensión8 NG Med	Armónicos Tensión22 AN Med	Armónicos Tensión22 BN Med	Armónicos Tensión22 CN Med	Armónicos Tensión22 NG Med
0.03	0.04	0.04	0.53	0.03	0.02	0.02	0.26
Armónicos Tensión9 AN Med	Armónicos Tensión9 BN Med	Armónicos Tensión9 CN Med	Armónicos Tensión9 NG Med	Armónicos Tensión23 AN Med	Armónicos Tensión23 BN Med	Armónicos Tensión23 CN Med	Armónicos Tensión23 NG Med
1.01	1.21	0.79	9.09	0.11	0.11	0.09	1.42
Armónicos Tensión10 AN Med	Armónicos Tensión10 BN Med	Armónicos Tensión10 CN Med	Armónicos Tensión10 NG Med	Armónicos Tensión24 AN Med	Armónicos Tensión24 BN Med	Armónicos Tensión24 CN Med	Armónicos Tensión24 NG Med
0.03	0.04	0.03	0.45	0.03	0.02	0.01	0.27
Armónicos Tensión11 AN Med	Armónicos Tensión11 BN Med	Armónicos Tensión11 CN Med	Armónicos Tensión11 NG Med	Armónicos Tensión25 AN Med	Armónicos Tensión25 BN Med	Armónicos Tensión25 CN Med	Armónicos Tensión25 NG Med
0.55	0.49	0.42	6.30	0.13	0.09	0.08	1.62
Armónicos Tensión12 AN Med	Armónicos Tensión12 BN Med	Armónicos Tensión12 CN Med	Armónicos Tensión12 NG Med				
0.03	0.03	0.03	0.46				

Tasa de armónicos de tensión fase a neutro en ETRAL SAC

THD A A Min	THD A A Med	THD A A Max	Armónicos Corriente2 C Min	Armónicos Corriente2 C Med	Armónicos Corriente2 C Max	Armónicos Corriente6 A Min	Armónicos Corriente6 A Med	Armónicos Corriente6 A Max
19.27	41.42	94.85	0.27	31.59	29.27	0.26	22.52	12.65
THD A B Min	THD A B Med	THD A B Max	Armónicos Corriente2 N Min	Armónicos Corriente2 N Med	Armónicos Corriente2 N Max	Armónicos Corriente6 B Min	Armónicos Corriente6 B Med	Armónicos Corriente6 B Max
21.94	60.36	222.10	0.36	12.42	37.01	1.36	37.26	53.91
THD A C Min	THD A C Med	THD A C Max	Armónicos Corriente3 A Min	Armónicos Corriente3 A Med	Armónicos Corriente3 A Max	Armónicos Corriente6 C Min	Armónicos Corriente6 C Med	Armónicos Corriente6 C Max
20.53	35.17	84.73	3.94	31.11	32.96	0.10	30.65	13.49
THD A N Min	THD A N Med	THD A N Max	Armónicos Corriente3 B Min	Armónicos Corriente3 B Med	Armónicos Corriente3 B Max	Armónicos Corriente6 N Min	Armónicos Corriente6 N Med	Armónicos Corriente6 N Max
26.08	35.97	98.22	4.33	49.03	120.99	0.14	10.20	9.90
Armónicos Corriente0 A Min	Armónicos Corriente0 A Med	Armónicos Corriente0 A Max	Armónicos Corriente3 C Min	Armónicos Corriente3 C Med	Armónicos Corriente3 C Max	Armónicos Corriente7 A Min	Armónicos Corriente7 A Med	Armónicos Corriente7 A Max
3.74	112.35	246.88	12.36	46.11	46.38	9.02	40.70	49.91
Armónicos Corriente0 B Min	Armónicos Corriente0 B Med	Armónicos Corriente0 B Max	Armónicos Corriente3 N Min	Armónicos Corriente3 N Med	Armónicos Corriente3 N Max	Armónicos Corriente7 B Min	Armónicos Corriente7 B Med	Armónicos Corriente7 B Max
33.28	205.79	292.76	17.12	35.76	70.54	2.29	44.00	66.24
Armónicos Corriente0 C Min	Armónicos Corriente0 C Med	Armónicos Corriente0 C Max	Armónicos Corriente4 A Min	Armónicos Corriente4 A Med	Armónicos Corriente4 A Max	Armónicos Corriente7 C Min	Armónicos Corriente7 C Med	Armónicos Corriente7 C Max
1.08	51.11	170.67	0.42	23.38	15.67	3.22	39.80	34.40
Armónicos Corriente0 N Min	Armónicos Corriente0 N Med	Armónicos Corriente0 N Max	Armónicos Corriente4 B Min	Armónicos Corriente4 B Med	Armónicos Corriente4 B Max	Armónicos Corriente7 N Min	Armónicos Corriente7 N Med	Armónicos Corriente7 N Max
1.90	60.52	204.77	2.10	41.28	78.69	3.93	16.61	31.68
Armónicos Corriente1 A Min	Armónicos Corriente1 A Med	Armónicos Corriente1 A Max	Armónicos Corriente4 C Min	Armónicos Corriente4 C Med	Armónicos Corriente4 C Max	Armónicos Corriente8 A Min	Armónicos Corriente8 A Med	Armónicos Corriente8 A Max
100.00	114.32	100.00	0.11	30.81	16.92	0.18	22.02	9.02
Armónicos Corriente1 B Min	Armónicos Corriente1 B Med	Armónicos Corriente1 B Max	Armónicos Corriente4 N Min	Armónicos Corriente4 N Med	Armónicos Corriente4 N Max	Armónicos Corriente8 B Min	Armónicos Corriente8 B Med	Armónicos Corriente8 B Max
100.00	120.25	100.00	0.19	10.74	18.10	0.98	35.10	39.15
Armónicos Corriente1 C Min	Armónicos Corriente1 C Med	Armónicos Corriente1 C Max	Armónicos Corriente5 A Min	Armónicos Corriente5 A Med	Armónicos Corriente5 A Max	Armónicos Corriente8 C Min	Armónicos Corriente8 C Med	Armónicos Corriente8 C Max
100.00	120.74	100.00	6.85	39.60	48.33	0.08	30.46	9.88
Armónicos Corriente1 N Min	Armónicos Corriente1 N Med	Armónicos Corriente1 N Max	Armónicos Corriente5 B Min	Armónicos Corriente5 B Med	Armónicos Corriente5 B Max	Armónicos Corriente8 N Min	Armónicos Corriente8 N Med	Armónicos Corriente8 N Max
100.00	106.42	100.00	3.91	49.67	91.24	0.10	9.94	6.99
Armónicos Corriente2 A Min	Armónicos Corriente2 A Med	Armónicos Corriente2 A Max	Armónicos Corriente5 C Min	Armónicos Corriente5 C Med	Armónicos Corriente5 C Max	Armónicos Corriente9 A Min	Armónicos Corriente9 A Med	Armónicos Corriente9 A Max
0.78	25.94	28.63	10.94	49.40	45.97	2.33	25.72	16.10
Armónicos Corriente2 B Min	Armónicos Corriente2 B Med	Armónicos Corriente2 B Max	Armónicos Corriente5 N Min	Armónicos Corriente5 N Med	Armónicos Corriente5 N Max	Armónicos Corriente9 B Min	Armónicos Corriente9 B Med	Armónicos Corriente9 B Max
5.91	58.78	167.63	10.17	23.51	39.67	1.26	35.73	41.17

Armónicos de Intensidades de línea (%)

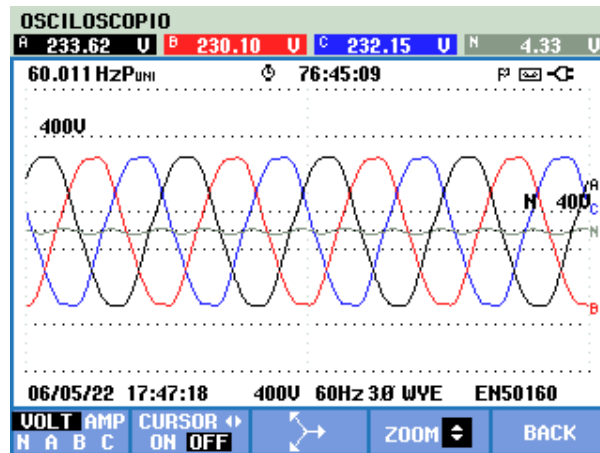
Armónicos Corriente9 C Min	Armónicos Corriente9 C Med	Armónicos Corriente9 C Max	Armónicos Corriente13 A Min	Armónicos Corriente13 A Med	Armónicos Corriente13 A Max	Armónicos Corriente16 C Min	Armónicos Corriente16 C Med	Armónicos Corriente16 C Max
4.61	36.35	20.72	2.58	27.07	19.98	0.04	30.17	4.41
Armónicos Corriente9 N Min	Armónicos Corriente9 N Med	Armónicos Corriente9 N Max	Armónicos Corriente13 B Min	Armónicos Corriente13 B Med	Armónicos Corriente13 B Max	Armónicos Corriente16 N Min	Armónicos Corriente16 N Med	Armónicos Corriente16 N Max
5.40	17.59	29.24	1.46	36.16	38.86	0.05	9.68	4.30
Armónicos Corriente10 A Min	Armónicos Corriente10 A Med	Armónicos Corriente10 A Max	Armónicos Corriente13 C Min	Armónicos Corriente13 C Med	Armónicos Corriente13 C Max	Armónicos Corriente17 A Min	Armónicos Corriente17 A Med	Armónicos Corriente17 A Max
0.15	21.72	6.66	2.45	34.63	19.27	2.72	26.43	15.90
Armónicos Corriente10 B Min	Armónicos Corriente10 B Med	Armónicos Corriente10 B Max	Armónicos Corriente13 N Min	Armónicos Corriente13 N Med	Armónicos Corriente13 N Max	Armónicos Corriente17 B Min	Armónicos Corriente17 B Med	Armónicos Corriente17 B Max
0.81	34.00	31.02	3.37	14.51	17.30	1.03	33.97	27.50
Armónicos Corriente10 C Min	Armónicos Corriente10 C Med	Armónicos Corriente10 C Max	Armónicos Corriente14 A Min	Armónicos Corriente14 A Med	Armónicos Corriente14 A Max	Armónicos Corriente17 C Min	Armónicos Corriente17 C Med	Armónicos Corriente17 C Max
0.06	30.35	7.39	0.11	21.42	4.77	1.19	32.71	13.43
Armónicos Corriente10 N Min	Armónicos Corriente10 N Med	Armónicos Corriente10 N Max	Armónicos Corriente14 B Min	Armónicos Corriente14 B Med	Armónicos Corriente14 B Max	Armónicos Corriente17 N Min	Armónicos Corriente17 N Med	Armónicos Corriente17 N Max
0.09	9.83	5.64	0.57	32.55	21.83	2.05	12.78	14.31
Armónicos Corriente11 A Min	Armónicos Corriente11 A Med	Armónicos Corriente11 A Max	Armónicos Corriente14 C Min	Armónicos Corriente14 C Med	Armónicos Corriente14 C Max	Armónicos Corriente18 N Min	Armónicos Corriente18 N Med	Armónicos Corriente18 N Max
6.51	34.29	34.27	0.04	30.21	5.33	0.05	9.67	4.39
Armónicos Corriente11 B Min	Armónicos Corriente11 B Med	Armónicos Corriente11 B Max	Armónicos Corriente14 N Min	Armónicos Corriente14 N Med	Armónicos Corriente14 N Max	Armónicos Corriente19 A Min	Armónicos Corriente19 A Med	Armónicos Corriente19 A Max
1.80	38.03	46.10	0.06	9.71	4.29	2.48	25.39	12.98
Armónicos Corriente11 C Min	Armónicos Corriente11 C Med	Armónicos Corriente11 C Max	Armónicos Corriente15 A Min	Armónicos Corriente15 A Med	Armónicos Corriente15 A Max	Armónicos Corriente19 B Min	Armónicos Corriente19 B Med	Armónicos Corriente19 B Max
0.90	33.95	21.30	3.92	27.60	18.16	0.91	33.21	23.62
Armónicos Corriente11 N Min	Armónicos Corriente11 N Med	Armónicos Corriente11 N Max	Armónicos Corriente15 B Min	Armónicos Corriente15 B Med	Armónicos Corriente15 B Max	Armónicos Corriente19 C Min	Armónicos Corriente19 C Med	Armónicos Corriente19 C Max
2.47	13.85	20.01	0.70	33.07	25.98	0.28	31.14	9.91
Armónicos Corriente12 A Min	Armónicos Corriente12 A Med	Armónicos Corriente12 A Max	Armónicos Corriente15 C Min	Armónicos Corriente15 C Med	Armónicos Corriente15 C Max	Armónicos Corriente19 N Min	Armónicos Corriente19 N Med	Armónicos Corriente19 N Max
0.12	21.53	5.86	0.34	31.05	10.05	0.86	11.34	12.95
Armónicos Corriente12 B Min	Armónicos Corriente12 B Med	Armónicos Corriente12 B Max	Armónicos Corriente15 N Min	Armónicos Corriente15 N Med	Armónicos Corriente15 N Max	Armónicos Corriente20 A Min	Armónicos Corriente20 A Med	Armónicos Corriente20 A Max
0.66	33.15	26.53	1.28	11.81	13.14	0.09	21.19	3.18
Armónicos Corriente12 C Min	Armónicos Corriente12 C Med	Armónicos Corriente12 C Max	Armónicos Corriente16 A Min	Armónicos Corriente16 A Med	Armónicos Corriente16 A Max	Armónicos Corriente20 B Min	Armónicos Corriente20 B Med	Armónicos Corriente20 B Max
0.05	30.27	6.61	0.10	21.32	4.03	0.41	31.56	15.39
Armónicos Corriente12 N Min	Armónicos Corriente12 N Med	Armónicos Corriente12 N Max	Armónicos Corriente16 B Min	Armónicos Corriente16 B Med	Armónicos Corriente16 B Max	Armónicos Corriente20 C Min	Armónicos Corriente20 C Med	Armónicos Corriente20 C Max
0.07	9.76	5.09	0.48	32.13	18.69	0.03	30.11	3.67

Armónicos de Intensidades de línea e individuales(%)

Armónicos Corriente20 N Min	Armónicos Corriente20 N Med	Armónicos Corriente20 N Max	Armónicos Corriente23 C Min	Armónicos Corriente23 C Med	Armónicos Corriente23 C Max
0.05	9.67	4.47	0.18	30.92	6.60
Armónicos Corriente21 A Min	Armónicos Corriente21 A Med	Armónicos Corriente21 A Max	Armónicos Corriente23 N Min	Armónicos Corriente23 N Med	Armónicos Corriente23 N Max
2.11	24.54	10.80	0.65	10.76	8.50
Armónicos Corriente21 B Min	Armónicos Corriente21 B Med	Armónicos Corriente21 B Max	Armónicos Corriente24 A Min	Armónicos Corriente24 A Med	Armónicos Corriente24 A Max
0.49	32.03	19.57	0.08	21.13	2.74
Armónicos Corriente21 C Min	Armónicos Corriente21 C Med	Armónicos Corriente21 C Max	Armónicos Corriente24 B Min	Armónicos Corriente24 B Med	Armónicos Corriente24 B Max
0.39	30.86	6.71	0.34	31.15	12.73
Armónicos Corriente21 N Min	Armónicos Corriente21 N Med	Armónicos Corriente21 N Max	Armónicos Corriente24 C Min	Armónicos Corriente24 C Med	Armónicos Corriente24 C Max
1.02	11.28	9.46	0.03	30.05	3.03
Armónicos Corriente22 A Min	Armónicos Corriente22 A Med	Armónicos Corriente22 A Max	Armónicos Corriente24 N Min	Armónicos Corriente24 N Med	Armónicos Corriente24 N Max
0.08	21.16	2.90	0.04	9.57	4.05
Armónicos Corriente22 B Min	Armónicos Corriente22 B Med	Armónicos Corriente22 B Max	Armónicos Corriente25 A Min	Armónicos Corriente25 A Med	Armónicos Corriente25 A Max
0.37	31.35	14.00	2.00	24.43	9.98
Armónicos Corriente22 C Min	Armónicos Corriente22 C Med	Armónicos Corriente22 C Max	Armónicos Corriente25 B Min	Armónicos Corriente25 B Med	Armónicos Corriente25 B Max
0.03	30.08	3.41	0.60	32.08	17.51
Armónicos Corriente22 N Min	Armónicos Corriente22 N Med	Armónicos Corriente22 N Max	Armónicos Corriente25 C Min	Armónicos Corriente25 C Med	Armónicos Corriente25 C Max
0.04	9.63	4.55	0.13	30.53	5.89
Armónicos Corriente23 A Min	Armónicos Corriente23 A Med	Armónicos Corriente23 A Max	Armónicos Corriente25 N Min	Armónicos Corriente25 N Med	Armónicos Corriente25 N Max
2.16	24.90	10.81	0.61	10.79	9.46
Armónicos Corriente23 B Min	Armónicos Corriente23 B Med	Armónicos Corriente23 B Max			
0.70	32.47	19.12			

Tasa de armónicos en corriente individuales hasta armónico 25

ANEXO N°12. Diagramas fasoriales y de osciloscopio de parámetros de ondas eléctricas de ETRAL SAC



Tensión de fase fundamental y desequilibrio en neutro con distorsión armónica

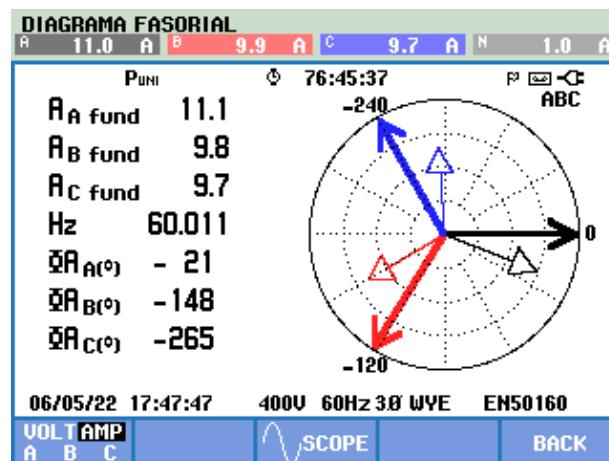
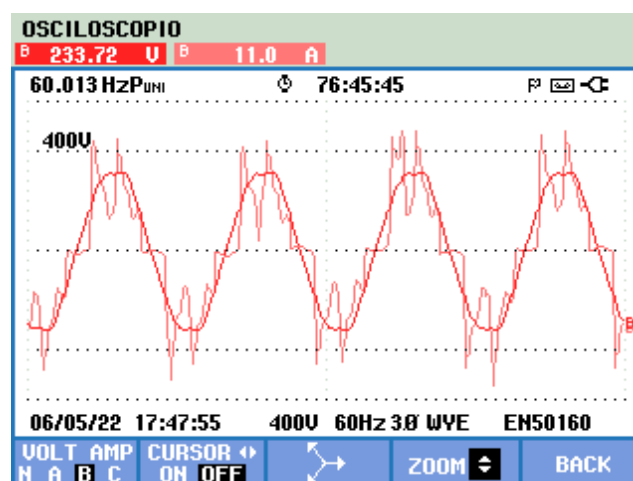
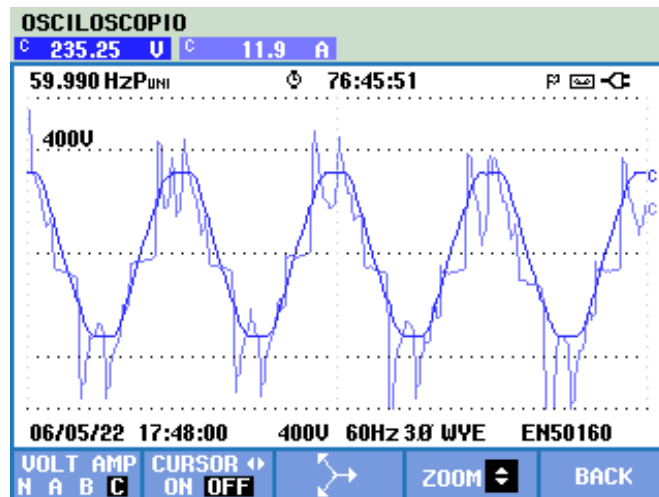


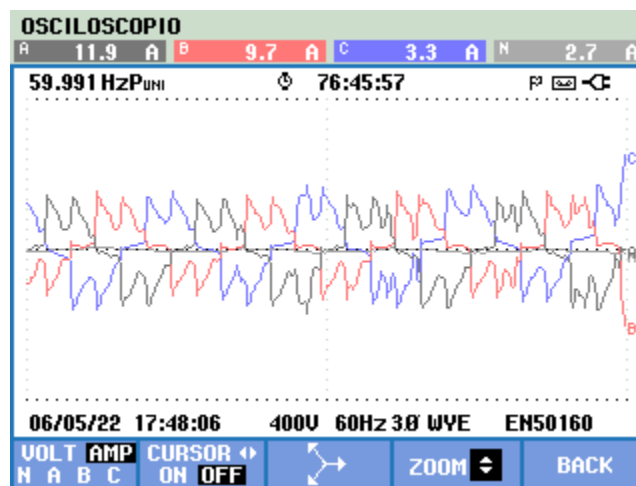
Diagrama fasorial de Intensidad de línea y en neutro



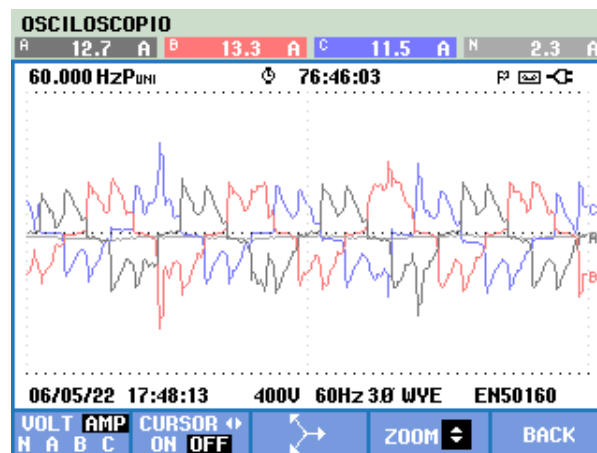
Tensión de fase y de línea rms . intensidad de línea en fase B a 60.013 Hz con distorsión armónica



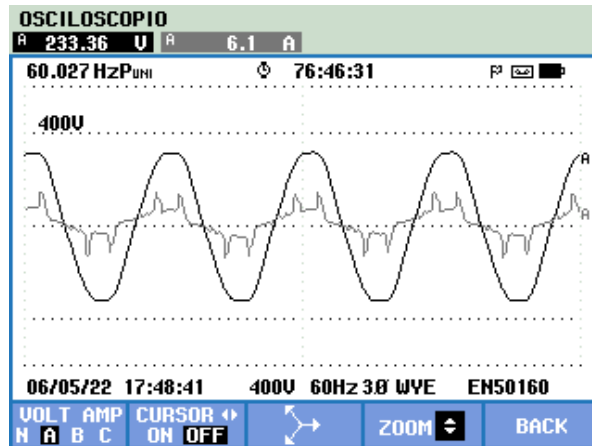
Tensión de fase, 235.25 V de línea, 400 V e intensidad rms en línea A, 11.9 A con distorsión armónica



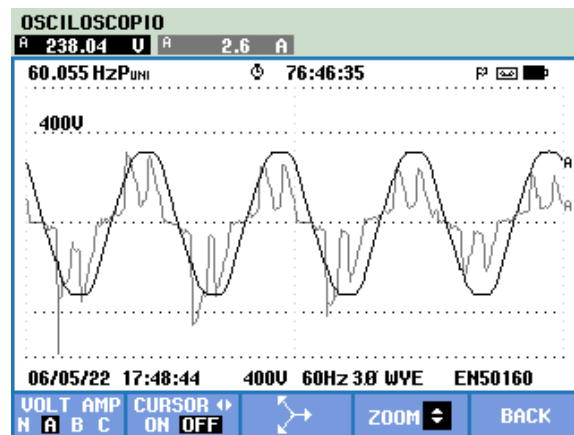
Intensidad de línea: Negro, fase A: 11.9 A, rojo, fase B: 9.7 A, azul, fase C: 3.3 A, gris, de neutro rms: 2.7 A a 59.99 Hz



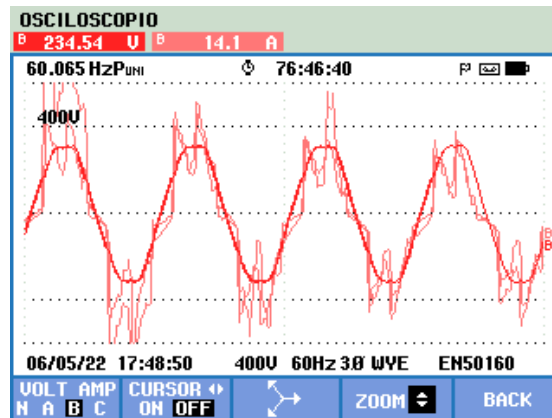
Intensidad de línea: Negro, fase A: 12.7 A, rojo, fase B: 13.3 A, azul, fase C: 11.5 A, gris, de neutro rms: 2.3 A a 60 Hz y tensión de línea de 400 V



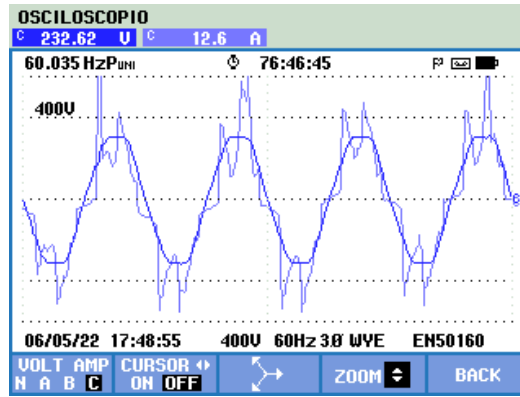
Tensión e intensidad de línea rms distorsionada



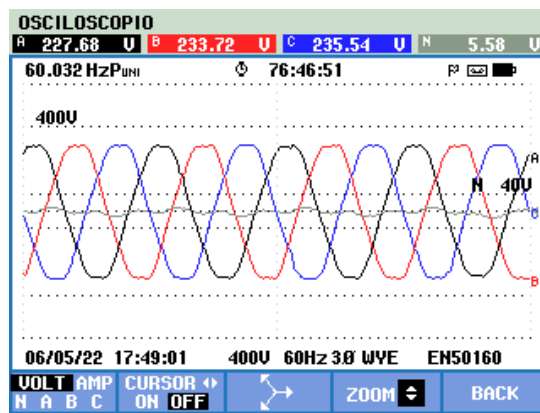
Tensión de fase AN y de línea A, rms distorsionada



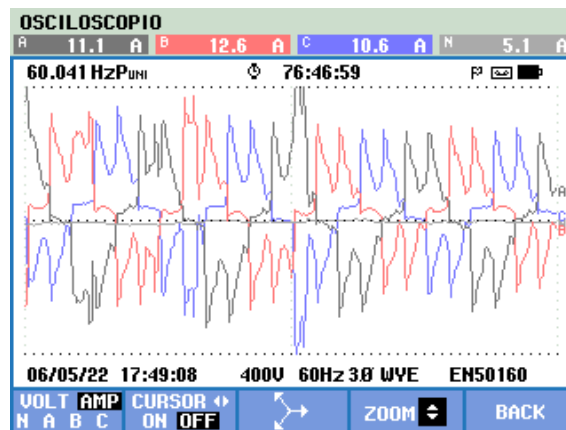
Tensión de fase BN y de línea B, rms distorsionada



Tensión de fase CN y de línea C, rms con distorsión armónica



Tensión de fase y de desequilibrio en neutro, rms sin distorsión



Intensidad de línea y de desequilibrio en neutro, rms distorsionada

ANEXO N°13. Parámetros eléctricos del cable CAAI

Tensión de servicio: 1KV

Temperatura de operación: 90°C

PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL CABLE CAAI

MATRÍCULA	DENOMINACIÓN CABLE	CONDUCTOR DE FASE				CONDUCTOR ADICIONAL (ALLUMBRADO)			
		RESIST OHMICA	REACT INDUCTIV	CAP. CORRI	FACTOR CAIDA	RESIST OHMICA	REACT INDUCTIV	CAP. CORRI	FACTOR CAIDA
		Rec 20°C Ohm/Km	XL (60 Hz) Ohm/Km	. A	TENSIÓN V/(A*KM)	Rec 20°C Ohm/Km	XL (60 Hz) Ohm/Km	. A	TENSIÓN V/(A*KM)
5023780	CAAI 1 x 16 + N25 mm²	1.91	0.1034	85	3.96				
5023782	CAAI 2 x 16 + N25 mm²	1.91	0.1034	85	3.96				
5023784	CAAI 2 x 25 + N25 mm²	1.20	0.0986	114	2.54				
5023786	CAAI 2 x 35 + N25 mm²	0.868	0.0956	14	1.860				
5023788	CAAI 2 x 50 + N35 mm²	0.641	0.0927	171	1.40				
5023804	CAAI 3 x 16 + N25 mm²	1.91	0.1149	85	3.44				
5023806	CAAI 3 x 25 + N25 mm²	1.20	0.1108	114	2.21				
5023808	CAAI 3 x 35 + N25 mm²	0.868	0.1071	141	1.62				
5023812	CAAI 3 x 70 + N50 mm²	0.443	0.1037	215	0.88				
5023792	CAAI 2 x 16 + 1 x 16 + N25 mm²	91	0.1034	85	3.96	1.91	0.1034	85	3.96
5023794	CAAI 2 x 25 + 1 x 16 + N25 mm²	1.20	0.0986	114	2.54	1.91	0.1034	85	3.96
5023796	CAAI 2 x 35 + 1 x 16 + N25 mm²	0.868	0.0956	141	1.860	1.91	0.1034	85	3.96
5023844	CAAI 3 x 16 + 1 x 16 + N25 mm²	1.91	0.1149	85	3.44	1.91	0.1034	85	3.96
5023846	CAAI 3 x 25 + 1 x 16 + N25 mm²	1.20	0.1108	114	2.21	1.91	0.1034	85	3.96
5023848	CAAI 3 x 35 + 1 x 16 + N25 mm²	0.868	0.1071	141	1.62	1.91	0.1034	85	3.96
5023820	CAAI 3 x 50 + 1 x 16 + N35 mm²	0.641	0.1032	171	1.22	1.91	0.1034	85	3.96

ANEXO N°14. Parámetros eléctricos del cable CAAI - S

PARÁMETROS ELÉCTRICOS DEL CABLE CAAI - S

MATRÍCULA	DENOMINACIÓN CABLE	CONDUCTOR DE FASE				CONDUCTOR ADICIONAL (ALLUMBRADO)			
		RESIST OHMICA	REACT INDUCTIV	CAP. CORRI	FACTOR CAIDA	RESIST OHMICA	REACT INDUCTIV	CAP. CORRI	FACTOR CAIDA
		Rec 20°C Ohm/Km	XL (60 Hz) Ohm/Km	30°C A	TENSIÓN V/(A*KM)	Rec 20°C Ohm/Km	XL (60 Hz) Ohm/Km	. A	TENSIÓN V/(A*KM)
5023702	CAAI -S 2x 16 mm²	1.91	0.1034	85	3.96				
5023704	CAAI -S 2x 25 mm²	1.20	0.0986	114	2.54				
5023706	CAAI -S 2x 35 mm²	0.868	0.0956	141	1.860				
5023708	CAAI -S 2x 50 mm²	0.641	0.0927	171	1.40				
5023710	CAAI -S 2x 70 mm²	0.443	0.0922	215	1.00				
5023720	CAAI -S 3x 16 mm²	1.91	0.1149	85	3.44				
5023722	CAAI -S 3x 25 mm²	1.20	0.1108	114	2.21				
5023724	CAAI -S 3x 35 mm²	0.868	0.1071	141	1.62				
5023726	CAAI -S 3x 50 mm²	0.641	0.1032	171	1.22				
5023728	CAAI -S 3x 70 mm²	0.443	0.1037	215	0.88				
5023742	CAAI -S 3x 25 + 1x 16 mm²	1.20	0.1108	114	2.21	1.91	0.1034	85	3.96
5023744	CAAI -S 3x 35 + 1x 16 mm²	0.868	0.1071	141	1.62	1.91	0.1034	85	3.96
5023746	CAAI -S 3x 50 + 1x 16 mm²	0.641	0.1032	171	1.22	1.91	0.1034	85	3.96
5023748	CAAI -S 3x 70 + 1x 16 mm²	0.443	0.1037	215	0.88	1.91	0.1034	85	3.96



Easypact CVS - CVS160F TM125D - Interruptor automático de caja moldeada - 4P/4d

LV516352

Principal

Gama de producto	Easypact CVS100...250
Tipo de producto o componente	Interruptor automático
Nombre corto del dispositivo	CVS160F
Aplicación del dispositivo	Para corriente > 0,1 A
Número de polos	4P
Descripción de polos protegidos	4R
Posición de neutro	Izquierda
Earth leakage protection (Vigi add on)	Sin
[In] Corriente nominal	125 A en 40 °C
Código de poder de corte	En > 50 A
Tipo de red	AC
[Icu] Breaking capacity	36 kA Icu en 440 V AC 50/60 Hz acorde a En > 50 A 36 kA Icu en 380/415 V AC 50/60 Hz acorde a En > 50 A 70 kA Icu en 220/240 V AC 50/60 Hz acorde a En > 50 A
Categoría de empleo	Categoría A
Unidad de control	TM-D
Tecnología de unidad de disparo	Térmico-magnético
Calibre de la unidad de disparo	125 A en 40 °C
Tipo de protección	Protección contra sobrecarga (térmica) Protección contra cortocircuitos (magnética)



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, SANCHEZ HUERTAS CARLOS ENRIQUE, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Análisis de los indicadores de calidad de energía Eléctrica de las Instalaciones de la empresa ETRAL SAC", cuyos autores son BUSTAMANTE ORTIZ EDGAR JAVIER, HUINGO VILLARREAL CARLOS EDISON, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 19.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 19 de Julio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
SANCHEZ HUERTAS CARLOS ENRIQUE DNI: 17857234 ORCID: 0000-0002-6754-8017	Firmado electrónicamente por: CSANCHEZH55 el 26-07-2022 09:49:34

Código documento Trilce: TRI - 0352110