

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TEMA:

**ANÁLISIS DE LA CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EMPACADORA DE
MARISCOS UBICADO EN LA PARROQUIA PASCUALES DEL CANTÓN
GUAYAQUIL.**

AUTOR:

Cajamarca Ordoñez, Erick Javier

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de

INGENIERO EN ELÉCTRICO – MECÁNICA

TUTOR:

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

Guayaquil, Ecuador

17 de septiembre del 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Cajamarca Ordoñez, Erick Javier**, como requerimiento para la obtención del Título de **Ingeniero en Eléctrico Mecánica**.

TUTOR

f. _____

Ing. Hidalgo Aguilar, Jaime Rafael

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____

Ing. Heras Sánchez, Miguel Armando, M. Sc.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Cajamarca Ordoñez, Erick Javier

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “**Análisis de la calidad de energía eléctrica en empacadora de mariscos ubicado en la parroquia pascuales del cantón Guayaquil**”, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico Mecánica, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. 

Cajamarca Ordoñez, Erick Javier



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, Cajamarca Ordoñez, Erick Javier

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación **“Análisis de la calidad de energía eléctrica en empacadora de mariscos ubicado en la parroquia pascuales del cantón Guayaquil”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

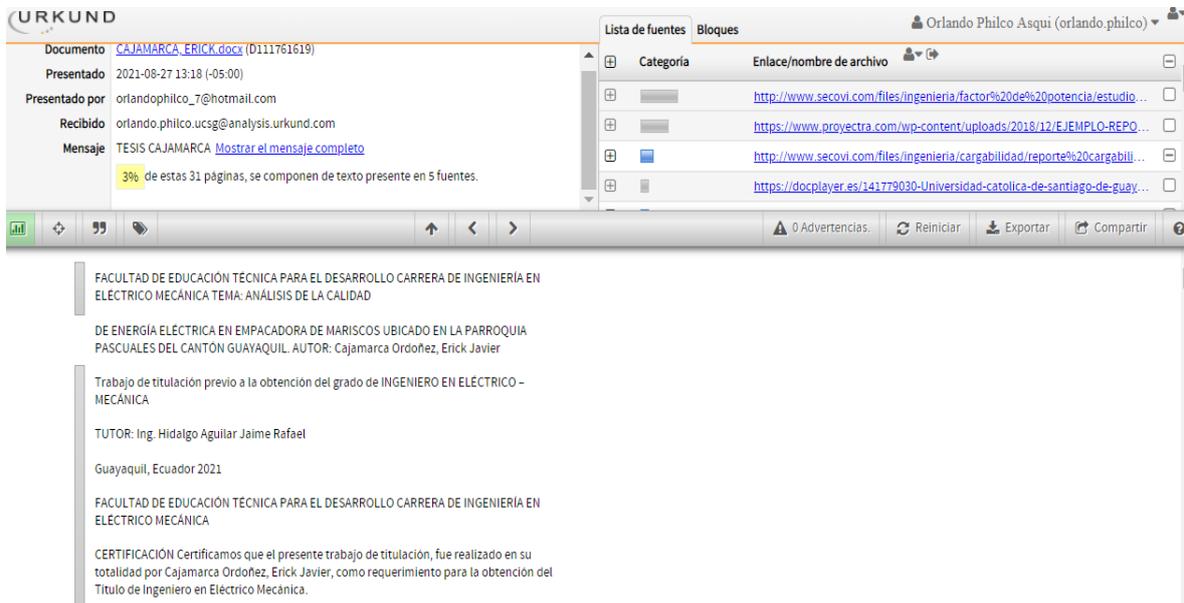
Guayaquil, a los 17 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. 

Cajamarca Ordoñez, Erick Javier

REPORTE URKUND



URKUND

Orlando Philco Asqui (orlando.philco)

Documento: CAJAMARCA_ERICK.docx (D111761619)

Presentado: 2021-08-27 13:18 (-05:00)

Presentado por: orlandophilco_7@hotmail.com

Recibido: orlando.philco.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje: TESIS CAJAMARCA [Mostrar el mensaje completo](#)

3% de estas 31 páginas, se componen de texto presente en 5 fuentes.

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	http://www.secovi.com/files/ingenieria/factor%20de%20potencia/estudio...
	https://www.proyectra.com/wp-content/uploads/2018/12/EJEMPLO-REPO...
	http://www.secovi.com/files/ingenieria/cargabilidad/reporte%20cargabili...
	https://docplayer.es/141779030-Universidad-catolica-de-santiago-de-guay...

0 Advertencias. Reiniciar. Exportar. Compartir

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA TEMA: ANÁLISIS DE LA CALIDAD

DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EMPACADORA DE MARISCOS UBICADO EN LA PARROQUIA PASCUALES DEL CANTÓN GUAYAQUIL. AUTOR: Cajamarca Ordoñez, Erick Javier

Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de INGENIERO EN ELÉCTRICO - MECÁNICA

TUTOR: Ing. Hidalgo Aguilar Jaime Rafael

Guayaquil, Ecuador 2021

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

CERTIFICACIÓN Certificamos que el presente trabajo de titulación, fue realizado en su totalidad por Cajamarca Ordoñez, Erick Javier, como requerimiento para la obtención del Título de Ingeniero en Eléctrico Mecánica.

Reporte Urkund del trabajo de titulación en ingeniería Eléctrico Mecánica denominado: **“Análisis de la calidad de energía eléctrica en empacadora de mariscos ubicado en la parroquia Pascuales del cantón Guayaquil.”** perteneciente al estudiante **Cajamarca Ordoñez, Erick Javier**. Una vez efectuado el análisis antiplagio el resultado indica 3% de coincidencias.

Atentamente,



Ing. Rafael Hidalgo Aguilar

Revisor

AGRADECIMIENTO

Primeramente, agradeciendo a Dios por darme la fuerza, la salud y el conocimiento para efectuar este trabajo de titulación.

Agradezco a mis padres por su gran apoyo y perseverancia en mí, para salir adelante con mis metas y poder cumplirlas.

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación se lo dedico a Dios, y a mis compañeros de trabajo ya que con todos ellos a mi lado pude tener esas fuerzas para alcanzar mis objetivos, y lograr de esa forma la titulación profesional.



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELÉCTRICO MECÁNICA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS

DECANO

f. _____

M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO

DIRECTOR DE CARRERA

f. _____

M. Sc. Philco Asqui, Luis Orlando

OPONENTE

ÍNDICE GENERAL

REPORTE URKUND	v
AGRADECIMIENTO.....	VI
DEDICATORIA.....	VII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE TABLAS.....	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT	XVI
CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.1 Introducción.....	2
1.2 Planteamiento del problema	3
1.3 Justificación	3
1.4 Objetivo General	3
1.5 Objetivos Específicos	4
1.6 Metodología de la Investigación	4
CAPÍTULO 2: INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES.....	5
2.1 Diseño de instalación eléctrica	5
2.2 Dispositivos de protección eléctrica.....	7
2.3 Calidad de energía eléctrica	10
2.3.1 Problema de calidad de la energía.....	12
2.4 Factor de potencia	13

2.4.1 Corrección del factor de potencia.....	15
2.5 Normas para calidad de energía eléctrica.....	20
2.6 Perturbaciones eléctricas	22
2.7 Armónicos	23
2.7.1 Efecto de los armónicos	25
2.7.2 Soluciones para los armónicos	27
2.7.3 Soluciones por armónicos	29
2.8 Límites de voltaje.	29
2.8.1 Armónicos de tensión.....	30
CAPÍTULO 3: ADQUISICIÓN DE DATOS	33
3.1 Técnicas de congelación de alimentos	33
3.2 Frío industrial con amoníaco.....	34
3.3 Mediciones de la energía en la planta	38
3.3.1 Metodología.....	38
CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA	51
4.1 Valores obtenidos y Normativas	51
4.2 Análisis de distorsión armónica de voltaje y corriente en TRA 1	51
4.3 Transitorios de Voltaje	54
4.4 Factor de Potencia en TRA 1	55
4.5 Análisis de distorsión armónica de voltaje y corriente en TF-2.....	56
4.6 Factor de Potencia de TF-2	59
CONCLUSIONES.....	60

RECOMENDACIONES	61
ANEXO 1: Equipo utilizado en la medición.....	62
BIBLIOGRFIA.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1 Orden de armónicos y THD	30
Tabla 2. 2 Referencial de armónicos de tensión.....	31
Tabla 2. 3 Valores de corriente de cortocircuito	32
Tabla 2. 4 Limites de corriente de distorsión armónica total.	32

Capítulo 4:

Tabla 4. 1 Valores de voltaje en la planta (valores máximos).....	51
Tabla 4. 2 Valores de voltaje en la planta (valores mínimos).....	52
Tabla 4. 3 Distorsión armónica de voltaje THDv	53
Tabla 4. 4 Distorsión armónica de corriente THDi.....	54
Tabla 4. 5 THDv Voltajes máximos.....	56
Tabla 4. 6 Porcentaje de THDv.....	58
Tabla 4. 7 Porcentajes de THDi.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Dispositivos de control en tablero eléctrico.....	5
Figura 2. 2 Conexión de dispositivos de protección	7
Figura 2. 3 Dispositivos de protección eléctrica	9
Figura 2. 4 Mediciones eléctricas para medir calidad de energía	13
Figura 2. 5 Triángulo de potencias	14
Figura 2. 6 Compensación del factor de potencia	15
Figura 2. 7 Corrección del F.P. en presencia de corrientes armónicas.....	16
Figura 2. 8 Cálculo de la potencia reactiva requerida	17
Figura 2. 9 Modo de compensación	18
Figura 2. 10 Representación de ondas con armónico	25
Figura 2. 11 Rotura en el devanado de un motor	26
Figura 2. 12 Controlador electrónico industrial	26
Figura 2. 13 Daños en equipos electrónicos sensibles	27
Figura 2. 14 Transformador dañado	27
Figura 2. 15 Estrategias de filtrado	29
Capítulo 3:	
Figura 3. 1 Mariscos conservados con técnicas de frío.....	34
Figura 3. 2 Compresores	36
Figura 3. 3 Instalaciones para túnel de frío vista posterior	36
Figura 3. 4 Túnel de frío.....	36
Figura 3. 5 Diagrama de sistema de congelación en empacadora de mariscos.....	37
Figura 3. 6 Esquema eléctrico de TRA 1 y cargas	39
Figura 3. 7 Perfil de Voltaje Máximo de Línea a Línea TRA 1	40
Figura 3. 8 Perfil de Voltaje Mínimo de Línea a Línea TRA 1	40

Figura 3. 9 Ondas de voltaje y corriente	41
Figura 3. 10 Eventos Transitorios de Voltaje.....	41
Figura 3. 11 Componente Armónico en la Señal de Voltaje (THDv) de TRA 1 .	42
Figura 3. 12 Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi) TRA 1	43
Figura 3. 13 Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (THDv) TRA 1.....	43
Figura 3. 14 Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (THDi) TRA 1	44
Figura 3. 15 Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (Individual).....	44
Figura 3. 16 Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (Individual)	45
Figura 3. 17 Perfil de Corriente Máxima de Línea del TRA 1.....	45
Figura 3. 18 Perfil de Potencia Real (kW)	46
Figura 3. 19 Perfil de Potencia Reactiva (kVAR).....	46
Figura 3. 20 Perfil de Potencia Aparente (kVA).....	47
Figura 3. 21 Perfil de Factor de Potencia (%)	47
Figura 3. 22 Cargas de TF-2.....	48
Figura 3. 23 Perfil de Voltaje Máximo de Línea a Línea en TF-2	49
Figura 3. 24 Espectro Armónico en la Señal de Voltaje (THDv)	49
Figura 3. 25 Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi).....	50
 Capítulo 4	
Figura 4. 1 Propuesta TRA 1 banco de capacitores y supresor de transitorios	55
Figura 4. 2 Propuesta de conexión TF-2 con supresor de transitorios	59

RESUMEN

El presente trabajo de titulación aborda la identificación de causas y efectos de las perturbaciones eléctricas, el objetivo general es analizar la calidad de la energía eléctrica en industria empacadora de marisco, Las plantas industriales e instalaciones con maquinaria eléctrica, debe evadir operaciones críticas para la seguridad, también pueden haber considerado la capacidad de recuperación para evitar puntos únicos de falla y brindar continuidad al sistema. Se aplican tres métodos que componen la metodología de investigación. Se emplea el método descriptivo para describir la operación de equipos y máquinas de frío de la planta, se emplea el método exploratorio para medir niveles de tensión, corriente o frecuencia en equipamiento y máquinas eléctricas de la planta. Se emplea el método comparativo para evaluar y proponer plan de mejoras para asegurar que una instalación sea lo suficientemente segura para permitir operaciones satisfactorias y que tenga la capacidad suficiente para las necesidades existentes o actuales, así como de ampliaciones a futuro.

PALABRAS CLAVES: MÁQUINAS ELÉCTRICAS, MEDICIONES ELÉCTRICAS, POTENCIA, PERTURBACIONES, CALIDAD DE ENERGÍA ELÉCTRICA, REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL

ABSTRACT

This degree work addresses the identification of causes and effects of electrical disturbances, the general objective is to analyze the quality of electrical energy in the seafood packing industry, Industrial plants and facilities with electrical machinery, must avoid operations critical for safety, they may also have considered resilience to avoid single points of failure and provide continuity to the system. Three methods are applied that make up the research methodology. The descriptive method is used to describe the operation of cold equipment and machines of the plant, the exploratory method is used to measure levels of voltage, current or frequency in equipment and electrical machines of the plant. The comparative method is used to evaluate and propose improvement plans to ensure that a facility is safe enough to allow satisfactory operations and that it has sufficient capacity for existing or current needs, as well as future extensions.

KEYWORDS: ELECTRICAL MACHINES, ELECTRICAL MEASUREMENTS, POWER, DISTURBANCES, QUALITY OF ELECTRICAL ENERGY, INDUSTRIAL REFRIGERATION

CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Introducción

La energía eléctrica permite que equipos y máquinas eléctrica puedan operar en beneficio de las personas, así en la parte residencial comercial e industrial es primordial contar con energía eléctrica libre de perturbaciones en la red. Las perturbaciones eléctricas presentan desviaciones de las condiciones adecuadas de voltaje, corriente o frecuencia. La presencia de manifestaciones adversas a la calidad de la energía eléctrica provoca una falla o una deficiente operación de los equipos o máquinas eléctricas.

La empresa de empaquetados de marisco Dash tiene 2 Túneles de congelación para 45.000 libras diarias. ✓Una cámara de mantenimiento congelado para 3000.000 libras y 3 contenedores 170.000 libras congeladas, lo cual le permite exportaciones a países de la región, cumpliendo la relevancia de exportar productos no petroleros. En cuanto a su proyección anual de ventas, esta puede ser impredecibles cuando la infraestructura eléctrica y el proceso de conservación del producto se afectan por la no operación de sus maquinarias. La planta pierde dinero por producto no conservado adecuadamente, la utilidad financiera de estas actividades se ve afectada.

Cada vez que la producción se interrumpe, la empresa pierde beneficios en productos que no se elaboran y no se comercializa. Las interrupciones en la cadena de frío pueden dañar parcialmente un producto dando lugar a que el material se deseche. Esto además afecta la imagen del producto.

Por aquello es vital optimizar los costes energéticos: Un factor de potencia bajo o picos excesivamente elevados de consumo pueden dar lugar a un incremento en la factura eléctrica. Así también el mantenimiento debe estar planificado en base a

criterios de objetivos de la empresa. El fallo prematuro de equipos e instalaciones pueden comprometer los recursos y aumentar los costes de mantenimiento de la instalación

1.2 Planteamiento del problema

En la planta empacadora de mariscos suelen presentarse problemas con dos de los cuatro cuartos de frío, en muchas ocasiones el o los motores se apagan y dejan de proveer la refrigeración adecuada para los productos de la empacadora. Hace meses atrás un chillers de 120 toneladas se paralizó y la iluminación de toda la planta estuvo fuera de servicio. El departamento de mantenimiento realiza revisiones en los tableros de control eléctrico en toda la planta, pero se requiere analizar la calidad de la energía eléctrica en la planta y en especial al proceso de refrigeración industrial.

Se plantea una pregunta de investigación:

¿Qué involucra una calidad de energía eléctrica deficiente?

1.3 Justificación

El análisis de la calidad de energía brindará información útil y precisa para comprobar parámetros de disponibilidad de la energía eléctrica, con aquello el uso adecuado de la energía, que evitaría fugas, esto último representaría un ahorro en las facturas por consumo eléctrico de la planta. Así mismo permitiría conceder ampliación o nuevas cargas en la planta. El objetivo primordial es efectuar una auditoría de las instalaciones eléctricas en la planta empacadora de mariscos ubicado en la parroquia Pascuales del cantón Guayaquil.

1.4 Objetivo General

Analizar las incidencias de perturbaciones eléctricas en un proceso industrial de empacado de mariscos.

1.5 Objetivos Específicos

- 1 Determinar las causas y los efectos de la baja calidad de energía eléctrica en instalaciones industriales.
2. Efectuar levantamiento de máquinas eléctricas en procesos de refrigeración industrial para mariscos.
3. Realizar mediciones de energía en banco de transformadores y máquinas de refrigeración.
4. Analizar resultados obtenidos y propuesta de plan de mejoras para empacadora de mariscos.

1.6 Metodología de la Investigación

Se aplican tres métodos:

- Método Descriptivo para representar la operación de equipos y máquinas de refrigeración industrial de la planta empacadora de mariscos.
- Método Exploratorio para medir y evaluar los niveles de tensión, corriente o frecuencia en equipamiento y máquinas eléctricas de la planta.
- Método Comparativo para evaluar en base a normas los resultados de mediciones y proponer plan de mejoras para asegurar que la instalación sea lo suficientemente segura para admitir operaciones satisfactorias y que tenga la capacidad suficiente para las necesidades existentes y a futuras de la planta

CAPÍTULO 2: INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES

Una instalación eléctrica debe proporcionar energía confiable. Para garantizar el suministro eléctrico, la gestión eficiente y continua de las operaciones, se requiere una instalación eléctrica de alta resistencia y seguridad. El equipo eléctrico es potencialmente peligroso y, en el desafortunado caso de falla o anomalía, las consecuencias pueden ser fatales tanto para las personas como para las propiedades. Por eso es importante adoptar un enfoque holístico en el que se integren el personal, los dispositivos y los sistemas de monitoreo.

Para garantizar la seguridad y eficiencia de las operaciones de la planta, es fundamental invertir en instalaciones eléctricas de calidad, de las que dependen la seguridad, la eficiencia y la continuidad de la operación. Véase en la figura 2.1 dispositivos de un tablero eléctrico.



Figura 2. 1 Dispositivos de control en tablero eléctrico

Fuente: (Tracer Software, 2016)

2.1 Diseño de instalación eléctrica

Un sistema de energía eléctrica es una red de componentes eléctricos desplegados para suministrar, transferir y utilizar energía eléctrica. Un sistema de energía eléctrica suministra energía a las cargas. Estas cargas van desde electrodomésticos hasta maquinaria industrial. En máquinas y/o dispositivos que se alimentan con corriente alterna necesitan, una cierta frecuencia y número de fases. Los

aparatos que se encuentran en entornos residenciales, por ejemplo, son monofásicos y funcionan a 60 Hertz, con un voltaje de corriente alterna entre 110 y 220 voltios.

El diseño de una instalación eléctrica consta de las siguientes fases:

- Análisis de la instalación y cargas a alimentar
- Dimensionamiento de transformadores y generadores
- Cálculo de carga y corrientes de cortocircuito
- Selección de dispositivos de protección
- Dimensionamiento del sistema de cableado
- Verificación de los límites de caída de tensión en las cargas finales
- Verificación de coordinación de protecciones

Un análisis exhaustivo de las cargas, potencia y necesidades específicas permitirá que el diseño de la instalación sea óptimo. Otra fase importante es el dimensionamiento del sistema de cableado. Los conductores suelen estar clasificados (calibre del conductor) para la corriente máxima que pueden transportar a un aumento de temperatura dado en las condiciones ambientales. Ya que a medida que aumenta el flujo de corriente a través de un conductor se calienta. El dimensionamiento inadecuado del cable puede afectar negativamente al sistema y generar costos inesperados de reemplazo.

En el diseño eléctrico comercial e industrial, los objetivos de los estudios son asegurar (la capacidad adecuada) del equipo y los conductores, y coordinar los dispositivos de protección para que se produzcan interrupciones mínimas cuando se solucione una falla. El envejecimiento de la infraestructura o la alteración del sistema eléctrico con el tiempo debido a peligros como el arco eléctrico pueden afectar negativamente su rendimiento y provocar una interrupción del suministro eléctrico. Es

importante proporcionar inspección, verificación de la efectividad del equipo, prueba de medidas preventivas para evitar peligros eléctricos, mantenimiento y eventual identificación y reemplazo de equipo eléctrico.



Figura 2. 2 Conexión de dispositivos de protección
Fuente: (Tracer Software, 2016)

Cuando se trata del ciclo de vida de las instalaciones eléctricas, (es importante) desde el diseño (hasta el mantenimiento) incluidas la producción y la inspección, la seguridad y la eficiencia energética son las principales prioridades. Dados los riesgos fatales asociados, es esencial invertir en tecnología eficiente y confiable.

La gestión eficiente de la energía está garantizada con un diseño optimizado, capaz de reducir los tiempos de inactividad y los gastos. La confiabilidad y disponibilidad de los sistemas de distribución eléctrica permanecerán en primera línea para los diseñadores eléctricos. Estas cualidades no solo determinan la calidad del suministro eléctrico, sino que también tienen un gran impacto en la seguridad de quienes operan estas instalaciones.

2.2 Dispositivos de protección eléctrica

La función principal de las protecciones eléctricas es desconectar la fuente de alimentación cuando se presentan condiciones de funcionamiento peligrosas. Los principales tipos de fallas eléctricas son los siguientes:

- Sobrecarga o sobrecorriente

- Cortocircuito
- Falla a tierra
- Fallo línea a línea
- Sobretensión transitoria o

Los disyuntores enchufables son quizás los dispositivos de protección eléctrica más conocidos, comúnmente utilizados en aplicaciones residenciales y comerciales ligeras (por debajo de 100 amperios), mientras que los protectores de circuito del motor y los relés de sobrecarga térmica están diseñados para las necesidades de protección de los motores eléctricos. Además de la configuración enchufable, existen dispositivos de protección diseñados para un montaje en riel DIN o para conexiones atornilladas.

Se produce una sobrecarga cuando un circuito eléctrico consume corriente por encima de su valor nominal durante un período excesivamente largo. Es importante tener en cuenta que la sobrecorriente de corta duración es común en algunos tipos de equipos.

Los disyuntores suelen utilizar un mecanismo de interrupción térmica para proteger los circuitos de sobrecargas y, al mismo tiempo, permiten picos de corriente de corta duración. El mecanismo de protección térmica utiliza un contacto metálico que se expande cuando se calienta con la corriente y está calibrado para permitir la corriente nominal del disyuntor pero no valores más altos. Sin embargo, dado que las corrientes de irrupción ocurren demasiado rápido, su efecto de calentamiento no es suficiente para expandir y desconectar el mecanismo de protección térmica. Por otro lado, una sobrecarga finalmente dispara el interruptor; a medida que aumenta la magnitud de la corriente, el contacto de protección térmica se expande más rápido y desconecta el circuito en menos tiempo. (Calvo, 2016)



Figura 2. 3 Dispositivos de protección eléctrica

Fuente: (Tracer Software, 2016)

El cortocircuito eléctrico es una de las fallas eléctricas más peligrosas que se pueden presentar en las instalaciones eléctricas. Asimismo, es un evento que se produce cuando dos conductores de distinta fase o polaridad se juntan haciendo contacto físico entre sí. Este contacto directo provoca que la resistencia del circuito baje hasta cero. Ello genera un aumento brusco de la intensidad de la corriente eléctrica, según la Ley de Ohm. (Grupo Navarro, 2020)

El aumento de la corriente es tan grande que si no se interrumpe el flujo eléctrico en cuestión de mili-segundos, se producirán temperaturas elevadas, derretimiento de aislante y fundición del conductor.

En este caso, la respuesta de la protección térmica es demasiado lenta, por lo que los mecanismos de protección que eliminan las fallas de cortocircuito se basan en la inducción electromagnética: la corriente intensa induce un fuerte campo magnético que desconecta el interruptor automático.

Una falla a tierra, también conocida como falla de línea a tierra, ocurre cuando un conductor vivo toca un elemento conductor que no es parte del circuito eléctrico. Esto también crea una corriente muy alta debido a la baja resistencia de contacto, activando el mecanismo de protección magnética del respectivo interruptor automático. Una falla de línea a línea ocurre cuando dos conductores activos a

diferente voltaje se tocan entre sí, lo que también causa una corriente de alta magnitud. En ambos casos, el mismo mecanismo de protección magnética responde y dispara el disyuntor.

Todas las fallas descritas anteriormente se caracterizan por una corriente excesiva. Cuando ocurre un pico de alto voltaje, la falla se llama transitoria o sobretensión. Las sobretensiones normalmente ocurren cuando se conectan equipos grandes y también pueden ser causadas por rayos. Dado que los disyuntores no están diseñados para proteger las instalaciones contra sobretensiones, debe utilizar un dispositivo de protección contra sobretensiones (SPD) o un supresor de sobretensiones transitorias (TVSS). Uno de los tipos más comunes de TVSS usa una resistencia variable (varistor) conectada entre los conductores activos y la tierra; su resistencia es alta en condiciones normales de operación, pero cae a un valor muy bajo en respuesta a picos de voltaje, descargando la falla a el suelo antes de que llegue a equipos sensibles. (InTech, 2019).

2.3 Calidad de energía eléctrica

La calidad de la energía eléctrica ha afectado cada vez más, tanto a los usuarios finales de la energía eléctrica como a las empresas de distribución eléctrica en todo el mundo.

El estándar IEC 61000-4-30 define el término “Calidad de Energía Eléctrica” como las características de la electricidad en un punto dado de la red eléctrica, evaluadas con relación a un conjunto de parámetros técnicos de referencia.

El estándar IEEE 1159/1995 define el término “Calidad de Energía Eléctrica” como la gran variedad de fenómenos electromagnéticos que caracterizan la tensión y la corriente en un instante dado y en un punto determinado de la red eléctrica.

Es vital preocuparse, por la calidad de la energía, especialmente ahora que tiene impactos económicos directos en los proveedores de equipos, las empresas de servicios públicos y los usuarios finales. Estudia las perturbaciones tanto de tensión como de corriente. Puede verse como la combinación de calidad de voltaje y calidad de corriente. Describe la frecuencia relativa y la gravedad de las desviaciones en la energía entrante suministrada a los equipos eléctricos de la forma de onda sinusoidal habitual, constante, de 60 Hz, de voltaje o corriente. Estas desviaciones pueden afectar la operación segura o confiable de equipos como computadoras.

Por lo tanto, si bien no tienen una base de medición estricta, términos como "mala calidad de la energía" generalmente significan que hay una desviación suficiente de las normas en la fuente de alimentación para causar un mal funcionamiento del equipo o una falla prematura. Por el contrario, "buena calidad de energía" significa que hay un bajo nivel de tales desviaciones o errores de operación. Debido a que la sensibilidad a tales desviaciones varía de un equipo a otro, lo que puede considerarse una mala calidad de energía para un dispositivo puede ser una calidad de energía perfectamente aceptable para otro. (Muñoz, 2021).

La mala calidad de la energía provoca un exceso de calor en equipos eléctricos como motores y transformadores, provoca un funcionamiento ineficiente debido al desperdicio de energía reactiva y puede dañar potencialmente el equipo, a menudo debido a cargas desequilibradas y altas corrientes neutras. Desde una perspectiva comercial, la mala calidad de la energía aumenta los costos debido a la energía reactiva ineficiente, aumenta los gastos de operación (OPEX) debido a los mayores costos de mantenimiento y reemplazo de los equipos dañados y reduce la capacidad del sistema.

La gran mayoría de los problemas de calidad de la energía en un edificio se originan dentro del mismo edificio. El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

(IEEE), varias agencias gubernamentales y otras organizaciones han estudiado estos problemas y efectos durante varios años. Como resultado, han emitido pautas de diseño y prácticas recomendadas que se sabe que reducen en gran medida, si no eliminan, la incidencia y la gravedad de los problemas relacionados con la calidad de la energía.

Aproximadamente el 20% de estas perturbaciones se originan en los sistemas de producción y distribución eléctrica, el 80% restante en las propias instalaciones del usuario, afectando a las características del suministro eléctrico, se distinguen por su magnitud y duración dando lugar a un suministro eléctrico fuera de límites pudiendo dañar las cargas eléctricas de forma que presenten un funcionamiento incorrecto. (TeraWatt, 2020)

2.3.1 Problema de calidad de la energía

Existe un problema de calidad de la energía eléctrica cuando sucede cualquier desviación de la tensión (voltaje), la corriente o la frecuencia que induzca la mala operación de los equipos de uso final y deteriore la economía o el bienestar de los usuarios; así mismo cuando alguna interrupción del flujo de energía eléctrica.

El efecto más importante que produce la pérdida de la calidad de la energía eléctrica es el mal funcionamiento o la avería de los equipos conectados a la red de distribución. Los equipos eléctricos y electrónicos como los computadores personales, autómatas programables, equipos de iluminación, equipos de electrónica de consumo, etc., pueden funcionar de forma incorrecta si la energía eléctrica suministrada se interrumpe solamente durante unas décimas de segundo o incluso centésimas de segundo. Este mal funcionamiento de los equipos puede originar problemas importantes en un entorno residencial y/o comercial, pero los efectos económicos que

pueden producir en los procesos industriales, como la parada o el daño de equipos, son de elevada magnitud.



Figura 2. 4 Mediciones eléctricas para medir calidad de energía

Fuente: (EP, 2020)

Los sistemas de energía eléctrica también pueden sufrir problemas que no son fallas estrictamente hablando, pero que también son perjudiciales para el rendimiento. Dos de los problemas principales son el factor de potencia bajo y los armónicos. El factor de potencia y la calidad de la energía son dos términos distintos. El factor de potencia le indica la eficacia con la que el consumidor utiliza la energía. El factor de potencia es la relación entre la potencia aparente y la potencia real. El factor de potencia es uno de los problemas de calidad.

2.4 Factor de potencia

El factor de potencia es un concepto muy abstracto, pero la siguiente es una forma sencilla de visualizarlo. Algunos tipos de equipos eléctricos consumen corriente de tal manera que no se consume realmente toda la energía extraída del suministro de voltaje. En estos casos, el término "potencia real" se utiliza para describir la potencia que se utiliza realmente, y el término "potencia reactiva" se utiliza para describir la parte que oscila entre el equipo y la fuente de alimentación sin ser utilizada. Algunas de las cargas más comunes asociadas con la energía reactiva son motores eléctricos, transformadores y balastos. El factor de potencia es la relación entre la potencia real

utilizada y la potencia aparente, el producto de multiplicación directa de voltaje y corriente. En la figura 2.5 se muestra el triángulo de potencias.

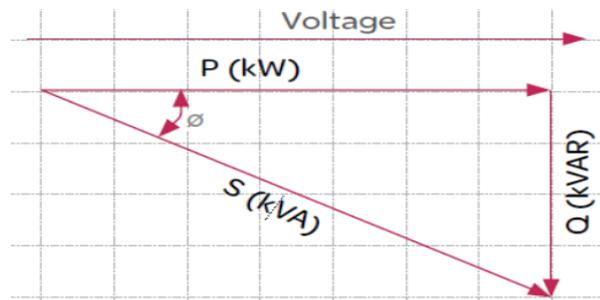


Figura 2. 5 Triángulo de potencias

Fuente; (Petroquimez, 2014)

Un factor de potencia deficiente (por ejemplo, menos del 92 %) hace que se requiera más corriente para la misma cantidad de trabajo por ejemplo que un motor monofásico consume 900 W de energía eléctrica mientras consume 5 amperios a 240 voltios.

- La potencia aparente es de 1200 voltios-amperios (240 V x 5 A).
- El factor de potencia es 0,75 (900 W / 1200 VA). También se puede informar como 75%.
- El valor máximo posible es 1,00 o 100%, donde se consume toda la potencia extraída de la fuente de tensión. Las cargas puramente resistivas como las lámparas incandescentes y los calentadores de resistencia se comportan de esta manera.

El factor de potencia bajo (el bajo) aumenta la corriente consumida por un edificio y esto crea una carga adicional para la red. Por lo tanto, las empresas de servicios públicos suelen penalizar a los usuarios que permiten que su factor de potencia caiga por debajo (0.92) de un valor especificado. El factor de potencia bajo se corrige instalando condensadores, que son similares a las baterías, pero diseñados para un ciclo mucho más rápido: la corriente oscilante que caracteriza la energía

reactiva es suministrada localmente por el condensador y no se extrae de la red eléctrica, lo que evita al usuario cargas adicionales.

2.4.1 Corrección del factor de potencia

La corrección del factor de potencia (PFC) tiene como objetivo mejorar el factor de potencia y, por lo tanto, la calidad de la energía. Reduce la carga en el sistema de distribución eléctrica, aumenta la eficiencia energética y reduce los costos de electricidad. También disminuye la probabilidad de inestabilidad y falla del equipo.

La corrección del factor de potencia se obtiene mediante la conexión de condensadores que producen energía reactiva (marcado en verde) en oposición a la energía absorbida por cargas como motores, localmente cerca de la carga. Esto mejora el factor de potencia desde el punto donde se conecta la fuente de energía reactiva, evitando la circulación innecesaria de corriente en la red. El esquema de la figura 2.6 (inferior) muestra la corrección de potencia en caso de motores.

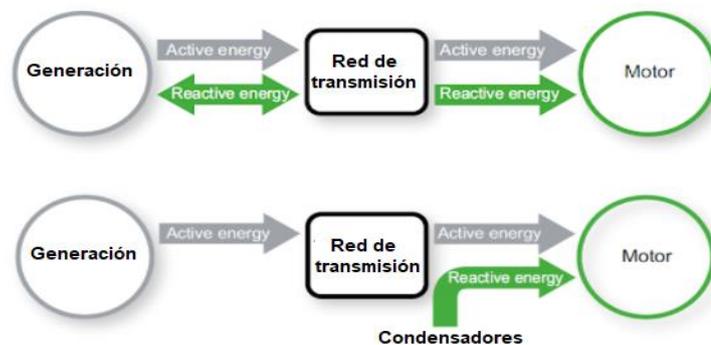


Figura 2. 6 Compensación del factor de potencia

Fuente: (Petroquimeiz, 2014)

Los capacitores o condensadores c.a en vez de consumir energía reactiva la producen, lo cual permite compensar el sistema eléctrico. Los condensadores generalmente se instalan en la red interna en cada pieza del equipo infractor, antes de los grupos de motores (antes de los centros de control de motores o paneles de distribución) o en los servicios principales. Cuando el factor de potencia es bajo, hay

un incremento de la facturación eléctrica por pérdidas en watts al tener mayor consumo de corriente, así como una penalización que depende de factor de potencia medido y energía consumida. La figura 2.7 muestra el uso de capacitores ante armónicos en cargas típica como el motor eléctrico trifásico.



Figura 2. 7 Corrección del F.P. en presencia de corrientes armónicas

Fuente: (Petroquimeiz, 2014)

Las plantas equipadas con cargas inductivas intermitentes muy grandes, como motores, compresores, etc., pueden requerir condensadores conmutados; es decir, los condensadores están conectados a motores individuales o grupos de motores. Por lo tanto, solo están en acción cuando la carga del motor está encendida. O bien, la capacidad se puede encender y apagar en la subestación, dependiendo del factor de potencia medido. La función de conmutación solo es necesaria si los condensadores necesarios son tan grandes que provocan un factor de potencia adelantado indeseable durante los momentos en que se apagan los motores.

2.4.1.1 Determinación del PFC requerido

La selección del equipo PFC debe realizarse de acuerdo con el siguiente proceso de cuatro pasos, por personas con las habilidades pertinentes:

Paso 1: Cálculo de la potencia reactiva requerida

El objetivo es determinar la potencia reactiva requerida (Q_c (kvar)) a instalar, con el fin de mejorar el factor de potencia (\cos reduce) y reducir la potencia aparente (S). Véase la figura 2.8

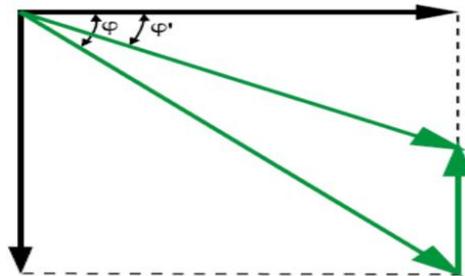


Figura 2. 8 Cálculo de la potencia reactiva requerida

Fuente: (BIRT LH, 2017)

Q_c se puede determinar a partir de la fórmula $Q_c = P (\tan \varphi - \tan \varphi')$, que se deduce del diagrama.

Q_c = potencia del banco de condensadores en kVAr

P = potencia activa de la carga en kW

$\tan \varphi$ = tangente del ángulo de desplazamiento de fase antes de la compensación

$\tan \varphi'$ = tangente del ángulo de desplazamiento de fase después de la compensación

Los parámetros φ y $\tan \varphi$ se pueden obtener a partir de los datos de facturación o de la medición directa en la instalación.

Paso 2: Selección del modo de compensación

La ubicación de los condensadores de baja tensión en una instalación puede ser central (una ubicación para toda la instalación), por sector (sección por sección), a nivel de carga o una combinación de los dos últimos. En principio, la compensación ideal se aplica en un punto de consumo y al nivel requerido en cada momento. En la práctica, los factores técnicos y económicos gobiernan la elección.

Véase en la figura 2.9 un esquema de compensación de F.P con condensadores.

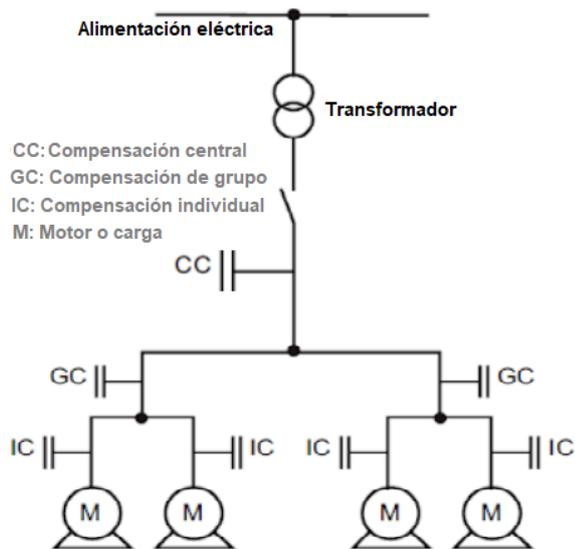


Figura 2. 9 Modo de compensación

Fuente: (Petroquimez, 2014)

La ubicación está determinada por:

- El objetivo general (evitar penalizaciones sobre la energía reactiva, aliviar transformadores o cables, evitar caídas y caídas de tensión)
- El modo de funcionamiento (cargas estables o fluctuantes)
- La influencia previsible de los condensadores en las características de la red
- El costo de instalación

Paso 3: Selección del tipo de compensación

Deben adoptarse diferentes tipos de compensación según los requisitos de desempeño y la complejidad del control:

- Fijo, mediante la conexión de una batería de condensadores de valor fijo
- Automático, mediante la conexión de un número diferente de pasos, lo que permite ajustar la energía reactiva al valor requerido
- Dinámico, para la compensación de cargas muy fluctuantes

Paso 4: Tolerancia para condiciones de funcionamiento y armónicos

Las condiciones de funcionamiento tienen un gran impacto en la esperanza de vida de los condensadores, por lo que se deben tener en cuenta los siguientes parámetros:

- Temperatura ambiente ($^{\circ}$ C)
- Sobrecorriente esperada relacionada con perturbaciones de voltaje, incluida la sobretensión máxima sostenida
- Número máximo de operaciones de conmutación por año.
- Algunas cargas (motores de velocidad variable, convertidores estáticos, máquinas de soldar, hornos de arco, lámparas fluorescentes, etc.) contaminan la red eléctrica reinyectando armónicos. Por tanto, también es necesario considerar los efectos de estos armónicos en los condensadores.

2.4.1.2 Beneficios de corrección (factor) de potencia

A continuación, se indican los siguientes beneficios:

Ahorro en el consumo de energía eléctrica: La corrección del factor de potencia elimina penalizaciones sobre la energía reactiva, disminuye la demanda de kVA y reduce las pérdidas de potencia generadas en los transformadores y conductores de la instalación.

Mayor potencia disponible: La instalación de equipos PFC en el lado de baja tensión aumenta la potencia disponible en el secundario de un transformador MT/BT. Un factor de potencia alto optimiza una instalación eléctrica al permitir un mejor uso de los componentes.

Tamaño de instalación reducido: La instalación de equipos PFC permite reducir la sección transversal del conductor, ya que la instalación compensada absorbe menos corriente para la misma potencia activa.

Caídas de voltaje reducidas: La instalación de condensadores permite reducir las caídas de tensión aguas arriba del punto donde está conectado el dispositivo PFC, evitando así la sobrecarga de la red y reduciendo los armónicos.

Un suministro eléctrico perfecto entregaría una forma de onda de voltaje sinusoidal de frecuencia constante con magnitud invariable. En el trabajo diario, las fuentes de alimentación se desvían de esta situación ideal porque las cargas del sistema varían y pueden ocurrir fenómenos como transitorios e interrupciones. Si la calidad de la energía de la red es buena, las cargas conectadas a ella funcionarán de manera satisfactoria y eficiente. Sin embargo, una calidad de energía insuficiente puede provocar fallas en la maquinaria, los sistemas de control eléctrico o las computadoras conectadas a la red de suministro eléctrico.

La verificación de la calidad de la energía y la resolución de problemas en las instalaciones eléctricas requiere realizar una serie de mediciones bastante diferentes. Las mediciones de la calidad de la energía caracterizan el grado en que un suministro práctico se asemeja a la situación ideal, en términos de contaminación armónica, potencia reactiva y desequilibrio de carga.

Esto implica mediciones en el suministro que incluyen frecuencia, interrupciones, parpadeo, voltaje armónico e inter armónico, variaciones de voltaje como caídas, sobretensión temporal o cambios rápidos y desequilibrio de voltaje.

2.5 Normas para calidad de energía eléctrica

Las normas especifican o definen las características de la tensión de alimentación de la electricidad por los sistemas de distribución pública para estas medidas. El estándar también incluye límites de cumplimiento. Actualmente existen recomendaciones que permiten mantener a los sistemas eléctricos dentro de los niveles

normados, como: conocer la naturaleza de los eventos, los parámetros bajo los cuales estos se produce, sus consecuencias a mediano y largo plazo y la forma en la cual estos pueden ser tratados con el fin de que no afecten a los sistemas. Las principales normas internacionales que están relacionadas a calidad de energía en su mayoría están dadas por la IEEE (The Institute of Electrical and Electronic Engineers). Por ejemplo: ANSI/IEEE C62.41-2002 (Guide For The Application Of Surge-Protective Devices For Low-Voltage (1000 Volts Or Less) Ac Power Circuits): Provee definiciones y formas de ondas para pruebas de laboratorio de supresores de transitorios de sobrevoltaje, así como define las categorías en las cuales se deben ubicar estos equipos y conocer el voltaje remanente que dejan pasar, entre otras definiciones.

IEEE 519-1992 (Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems): pretende establecer los principios para el diseño de sistemas eléctricos que incluyan cargas lineales y no lineales. En esta norma se encuentran descritas las formas de onda de tensión y corriente que pueden existir en todo sistema, y se establecen los principios de distorsiones de formas de onda para el diseño de sistemas. Este documento no cubre los efectos de interferencia en radiofrecuencia; sin embargo, incluye la interferencia electromagnética con los sistemas de comunicación.

Estas son algunas de las normas que se deben tomar en cuenta para conocer el estado de calidad de energía que se tiene en las instalaciones del usuario, con lo cual se puede diseñar e implementar un sistema que permita tener una calidad del suministro eléctrico aceptable para el correcto funcionamiento de los equipos. Una deficiente calidad del suministro de la energía eléctrica afecta, en mayor o menor grado, a otras tecnologías y procesos industriales, donde las pérdidas económicas que se generan por este concepto pueden llegar a ser importantes para el usuario. De igual

forma en las compañías de generación eléctrica, la deficiente calidad en el suministro provoca una operación ineficiente e impropia de los equipos, averías o incremento en los costos de operación en las redes eléctricas que significan grandes pérdidas económicas.

2.6 Perturbaciones eléctricas

La perturbación eléctrica es un fenómeno que se produce en la distribución eléctrica de baja tensión. Puede deberse a fallos en los centros de transformación y maniobras, fallos en las líneas o por condiciones atmosféricas. Por tanto, cuando hay una red puede estar sometida a múltiples cargas que a pesar de funcionar correctamente pueden alterar la onda de tensión. (Instrumentación digital, 2020)

Estas perturbaciones se manifiestan como ruidos provenientes de sistemas de transmisión de radio o TV, u operación de equipos de conmutación electrónico, fluctuaciones de voltaje debido al aumento o disminución de corta duración del mismo, interrupción del suministro eléctrico, a accidentes ocasionando por la operación de fusibles, corrientes armónicas, transientes de sobre voltaje.

Se puede establecer dos causas:

Causas internas: Aproximadamente el 80% de las perturbaciones eléctricas se originan en la propia instalación del usuario. Entre las causas potenciales se incluyen:

- Arranque y parada de grandes cargas,
- Cableado deficiente,
- Sobrecargas,
- Cortocircuitos
- Armónicos.

Causas externas: Alrededor del 20% de los problemas asociados a una calidad eléctrica deficiente se originan en los sistemas de producción y distribución eléctrica.

- Descargas atmosféricas (rayos)
- Switcheo en la red.
- Gran cantidad de usuarios conectados a la misma alimentación.
- Contactos incidentales entre dos líneas eléctricas. (fallos en los propios sistemas).

Los problemas de mala calidad y utilización de la energía son comunes en la mayoría de las fábricas y, en última instancia, causan fallas en la maquinaria y los componentes, así como la pérdida de producción mientras se reparan o reemplazan estas condiciones.

2.7 Armónicos

A medida que se conecta más dispositivos electrónicos a sistemas de energía, la "calidad" de la energía se vuelve más importante. La "calidad" se puede definir de muchas formas. Los voltajes estables y las formas de onda no distorsionadas son dos características que son muy deseables en los sistemas de energía. La conexión a tierra afecta la estabilidad del voltaje y, lo que es más importante, es fundamental para la seguridad personal. Los armónicos son un modelo matemático que se utiliza para analizar formas de onda distorsionadas, entre otros casos se analiza la corriente consumida por computadoras, balastos electrónicos, variadores de frecuencia y otros equipos que tienen fuentes de alimentación.

En sistemas trifásicos, las tres fases del sistema de energía están desfasadas 120°. La corriente en la fase B ocurre 120 grados (1/3 ciclo) después de la corriente en A. Del mismo modo, la corriente en la fase C ocurre 120° después de la corriente en la fase B. Debido a esto, corrientes de 60 Hertz (fundamentales) en realidad se cancelan

en el Neutro Si se ha equilibrado corrientes de 60 Hertz en los conductores trifásicos, la corriente del neutro será cero. Se puede demostrar matemáticamente que la corriente neutra nunca excederá el conductor de fase con mayor carga. Por lo tanto, la protección contra sobrecorriente en nuestros conductores de fase también protege el conductor neutro, aunque no se coloca un dispositivo de protección contra sobrecorriente en el conductor neutro.

Cuando hay corrientes armónicas, esta matemática se rompe. El tercer armónico de cada uno de los conductores trifásicos está exactamente en fase.

Cuando estas corrientes armónicas se juntan en el neutro, en lugar de cancelar, en realidad se suman y se puede tener más corriente en el conductor neutro que en los conductores de fase.

Estas corrientes armónicas crean calor. Este calor durante un período de tiempo aumentará la temperatura del conductor neutro. Este aumento de temperatura puede sobrecalentar los conductores circundantes y provocar fallas en el aislamiento. Estas corrientes también sobrecalentarán las fuentes del transformador que alimentan el sistema de energía. Este es el síntoma más obvio de problemas de armónicos; sobrecalentamiento de conductores neutros y transformadores. Otros efectos incluyen:

- Disparos no deseados de interruptores automáticos
- Mal funcionamiento de los sistemas UPS y los sistemas de generadores.
- Problemas de medición
- Mal funcionamiento de la computadora
- Problemas de sobretensión

Las cargas no lineales tales como: rectificadores, inversores, variadores de velocidad, hornos, etc., absorben de la red, corrientes periódicas no senoidales. Estas

corrientes están formadas por un componente fundamental de frecuencia 50 ó 60 Hz, más una serie de corrientes superpuestas de frecuencias, múltiplos de la fundamental y esto causará costes técnicos y económicos importantes. Véase la figura 2.10.

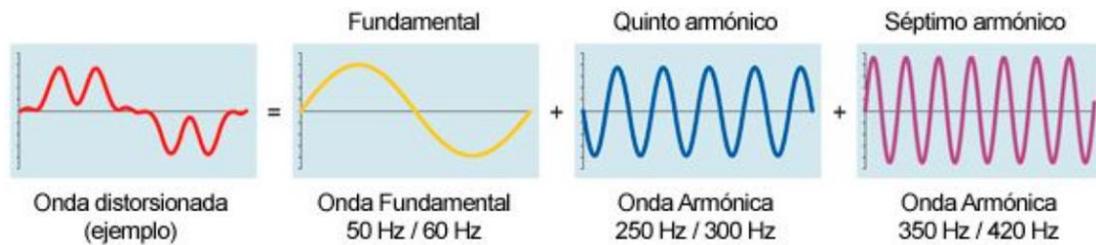


Figura 2. 10 Representación de ondas con armónico

Fuente (Circuitur, 2019)

El resultado es una deformación de la corriente, y como consecuencia de la tensión, conlleva una serie de efectos secundarios asociados.

2.7.1 Efecto de los armónicos

Los principales efectos de los armónicos de tensión y corriente en un sistema de potencia se pueden citar:

- La posibilidad de amplificación de algunos armónicos como consecuencia de resonancia serie y paralelo
- La reducción en el rendimiento de los sistemas de generación, transporte y utilización de la energía
- El envejecimiento del aislamiento de los componentes de la red y, como consecuencia, la reducción de la energía
- A continuación, se describe los efectos de armónicos en máquinas eléctricas rotatorias:

Rotura del motor y tiempo de inactividad: Los devanados dentro de un motor inductivo se degradan con el tiempo. Gran parte de la degradación se debe a la mala calidad de la energía. El aislamiento del devanado se quema y, en última

instancia, provoca cortocircuitos, lo que reduce la salida del motor y aumenta el calor interno hasta que falla. Todo esto no es un problema de garantía del motor, sino que se debe a una mala calidad de la energía que puede diagnosticarse y prevenirse. Véase la figura 2.11.



Figura 2. 11 Rotura en el devanado de un motor

Fuente. (Plastics Technology, 2020)

Controles/pantallas, pérdida de memoria y tiempo de inactividad: Los PLCs y microprocesadores controlan la mayoría de los equipos de producción en la actualidad. Además, estos dispositivos son ultrasensibles a las fluctuaciones de energía que pueden provocar una corriente y calor excesivo o una pérdida de programa. Muy poco de esto es culpa del propio controlador, sino que es el resultado de una mala calidad de la energía que puede diagnosticarse y prevenirse. Véase la figura 2.12 un controlador electrónico industrial.



Figura 2. 12 Controlador electrónico industrial

Fuente. (Circuitur, 2019)

Problemas con el factor de potencia: Los variadores de frecuencia o VFD pueden reducir el consumo de energía, pero a menudo dan como resultado un uso

deficiente de la energía, lo que genera multas por la empresa de servicio eléctrico. Véase la figura 2.13.



Figura 2. 13 Daños en equipos electrónicos sensibles

Fuente. (Circuitur, 2019)

Transformadores que fallan y tiempo de inactividad: Al igual que los devanados del motor, los componentes internos del transformador se deterioran con el tiempo y fallan debido a la fluctuación de potencia. Esto rara vez es culpa del propio transformador, sino de una mala calidad de la energía que puede diagnosticarse y prevenirse. Véase la figura 2.14.

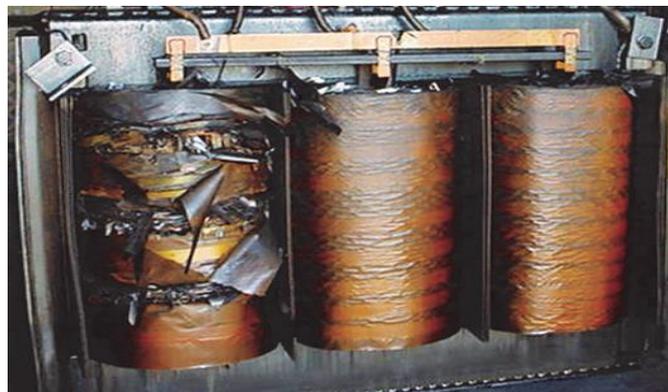


Figura 2. 14 Transformador dañado

Fuente. (Circuitur, 2019)

2.7.2 Soluciones para los armónicos

A continuación, se detallan las soluciones para los armónicos:

Conductores neutros de gran tamaño: En circuitos trifásicos con neutros compartidos, es común sobredimensionar el conductor neutro hasta en un 200%

cuando la carga servida consiste en cargas no lineales. En alimentadores que tienen una gran cantidad de carga no lineal, el conductor neutro del alimentador y la barra colectora del tablero también deben ser sobredimensionados.

Uso de conductores neutros separados: En los circuitos derivados trifásicos, otra filosofía es no combinar neutros, sino ejecutar conductores neutros separados para cada conductor de fase. Esto aumenta el uso de cobre en un 33%. Si bien esto elimina con éxito la adición de corrientes armónicas en los neutros del circuito derivado, el bus neutro del tablero de distribución y el conductor neutro del alimentador aún deben estar sobredimensionados.

Transformadores y generadores sobredimensionados: El sobredimensionamiento de los equipos para aumentar la capacidad térmica también debe usarse para transformadores y generadores que sirven a cargas que producen armónicos. El equipo más grande contiene más cobre.

Transformadores especiales: Hay varios tipos especiales de conexiones de transformadores que pueden eliminar armónicos. Por ejemplo, la conexión tradicional del transformador delta-estrella atraparán todos los armónicos triples (tercero, noveno, decimoquinto, vigésimo primero, etc.) en el delta. Se pueden utilizar conexiones de devanado especiales adicionales para cancelar otros armónicos en cargas equilibradas. Estos sistemas también utilizan más cobre. Estos transformadores especiales a menudo se especifican en salas de informática con cargas de producción de armónicos bien equilibradas, como mainframes de entrada múltiple o periféricos como dispositivos de almacenamientos de datos (discos, duros, servidores).

Filtración: Si bien muchos filtros no funcionan particularmente bien en este rango de frecuencia, los filtros de seguimiento electrónico especiales pueden funcionar

muy bien para eliminar los armónicos. Estos filtros son actualmente relativamente caros, pero deben considerarse para una eliminación completa de armónicos.

2.7.3 Soluciones por armónicos

Tras el diagnóstico y la evaluación de las perturbaciones en base a mediciones especializadas al tratamiento o solución técnica ideal sería la de filtrar directamente en las cargas distorsionantes (reactancia LR, filtro LCL, filtro EMI y FAR-H/Q), evitando la propagación de las corrientes armónicas hacia otras cargas e instalación, y una mayor caída de tensión armónica que provocara la distorsión de la onda de tensión. En otros casos, pasa por buscar una solución centralizada lo más próxima a las cargas (filtro activo AF/APF, TSA, filtro de bloqueo FB3T, filtro absorción/híbrido FAR-H/Q, filtro de rechazo FR). (Circutor, 2019). Véase en la figura 2.15 procedimientos a fallos comunes por armónicos.

Cuadro General	↔	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el nivel de THD(I)% que se genera hacia la red (punto de acoplamiento común) • Disminuir la desclasificación del transformador
Cuadros Secundarios	↔	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir el valor eficaz de la corriente en las líneas de la instalación sin pérdida de potencia • Reducción de pérdidas • Circulación de corrientes distorsionantes hacia otros equipos • Ligera atenuación de THD(I)%
Filtrado Individual	↔	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la corriente distorsionante y eficaz en el punto donde se genera • Reducción de las pérdidas en todo el sistema. • Circulación de corrientes distorsionantes hacia otros equipos • Mayor atenuación de THD(I)%

Figura 2. 15 Estrategias de filtrado

Fuente: (Circutor, 2019)

Aunque no existe un procedimiento único, sino que en cada caso pueden aportarse diferentes soluciones dependiendo del punto donde se instalen los filtros.

2.8 Límites de voltaje.

Los límites de valores eficaces rms de los voltajes armónicos individuales V_i' y los THD que se expresan en voltajes nominales de un punto de medición no deben superar los valores límites como son V_i' y THD' que se detallan en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Orden de armónicos y THD

Orden (n) de la Armónica y THD	Tolerancia IVi'I o ITHD'I (% respeto al voltaje nominal del punto de medición)	
	V>40kV (otros puntos)	V≤40kV (trafos de distribución)
Impares no múltiplos de 3		
5	2	6
7	2	5
11	1,5	3,5
13	1,5	3
17	1	2
19	1	1,5
23	0,7	1,5
25	0,7	1,5
>25	$0,1+0,6*25/n$	$0,2+1,3*25/n$
Impares múltiplos de 3		
3	1,5	5
9	1	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	0,5

Nota: IEEE 519-1992.

2.8.1 Armónicos de tensión.

Son ondas senoidales donde la frecuencia está dada por valores múltiplos de la frecuencia fundamental (60 Hz). La presente definición cubre armónicos de larga duración o estado estable, excluyendo fenómenos transitorios aislados.

El período de evaluación será de una (1) semana. En las condiciones normales de operación, se deben calcular los percentiles al 95 % de los valores de distorsión

armónica individual de tensión (Dv) y distorsión armónica total de tensión (THDv), para cada fase. Los percentiles calculados para cada fase, deben ser menor o igual a los valores de referencia. Véase la tabla 2.2

Tabla 2. 2 Referencial de armónicos de tensión

Rango de tensión (Voltaje en PCC)	Distorsión armónica individual (%)	Distorsión armónica total – THDv (%)
$V \leq 1,0 \text{ kV}$	5,0	8,0
$1 \text{ kV} < V \leq 69 \text{ kV}$	3,0	5,0
$69 \text{ kV} < V \leq 161 \text{ kV}$	1,5	2,5
$161 \text{ kV} < V$	1,0	1,5

Nota: IEEE 519-1992.

THDv: Los valores de Dv y THDv calculados para cada fase no deben sobrepasar los valores referenciales (ver tabla 2.2). De sus siglas THD corresponde a la tasa de distorsión total o tasa de distorsión total global. Es utilizada más regularmente para definir la importancia del contenido armónico de una señal alternativa.

En la tabla se detallan los valores establecidos de:

- Dv (Distorsión armónica individual de tensión)
- THDv (Distorsión armónica total de tensión) calculados para cada fase no deben sobrepasar los siguientes valores de referencia de acuerdo a la norma IEE 519-1992.

Armónicos de corriente. El período de evaluación será de una (1) semana. En condiciones normales de operación, los percentiles que se calculan a continuación para la distorsión individual de corriente (Dh) y la distorsión total de demanda (TDD), para cada fase, no deben sobrepasar los valores de referencia.

Se recomienda que la corriente de carga I_L sea calculada como el valor máximo de corriente rms de todas las fases agregada en intervalos de 10 min., durante un periodo de evaluación mínimo de una semana.

En la tabla 2.3 se muestra valores de corriente de corto circuito

Tabla 2. 3 Valores de corriente de cortocircuito

Potencia del transformador MT/BT (en kVA)	≤ 630	800	1000	1250	1600	2000
Tensión de cortocircuito u_{cc} (en %)	4	4,5	5	5,5	6	7
<i>Tensión de cortocircuito u_{cc} normalizada para los transformadores MT/BT de distribución pública.</i>						

Nota: IEEE 519-1992.

En la tabla 2.4 se muestran valores recomendados por la IEEE 519-1992. Para la corriente de distorsión armónica total.

Tabla 2. 4 Limites de corriente de distorsión armónica total.

Maximum harmonic current distortion in percent of I_L						
Individual harmonic order (odd harmonics)^{a, b}						
I_{sc}/I_L	$3 \leq h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h \leq 50$	TDD
< 20 ^c	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20 < 50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50 < 100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100 < 1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
> 1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Nota: IEEE 519-1992.

CAPÍTULO 3: ADQUISICIÓN DE DATOS

La planta empacadora y exportadora de mariscos mantiene equipamiento de frío industrial para la congelación con lo cual conserva el producto durante periodos de tiempo más duradero de su ciclo de preservación natural, con el congelamiento se salvaguarda el sabor y la mayoría de sus propiedades alimenticias del producto. Existen distintas técnicas de congelación para los alimentos o productos perecederos, adecuadas para distintos usos.

3.1 Técnicas de congelación de alimentos

Dentro de los tipos de congelación, se pueden clasificar por la velocidad a la que se congelan los alimentos y por el método. A cada velocidad de congelación le corresponde un tipo de técnica distinta que ayudará a llevar a cabo el proceso respetando las estructuras de los alimentos y asegurando que se mantiene la calidad nutricional y el sabor (Sarrifer, 2019).

Existen tres técnicas de congelado principales:

1. Por aire: Consiste en un flujo de aire frío a través del cual se extrae el calor al producto hasta llevarlo a la temperatura final. Este tipo de técnica se encuentra en muchas de las cámaras y los túneles de congelación, que utilizan circuitos refrigerados con CO₂, amoníaco o glicol para conseguir refrigerar las cámaras a la temperatura deseada. Este tipo de técnica se utiliza principalmente para la congelación lenta y media.

2. Por contacto: Se utiliza una superficie muy fría como placas con láminas de metal a temperatura muy baja que, a través del contacto con el producto consiguen eliminar su calor hasta congelarlo. Este tipo de técnica se utiliza mucho para congelar el marisco

y el pescado. Véase en la figura 3.1 algunos tipos de mariscos preservados en frío industrial.



Figura 3. 1 Mariscos conservados con técnicas de frío

Fuente: Autor

3. Criogenización: Este método es utilizado en la congelación rápida y, a través del uso de nitrógeno líquido o dióxido de carbono para conseguir la máxima cristalización en un tiempo nunca superior a 2 horas. Ni el nitrógeno ni el CO₂ son perjudiciales aplicados a los alimentos. El alimento se introduce o se rocía con estas sustancias y, una vez que se evapora se lleva el calor consigo. A este proceso se le llama también ultracongelación y, pese a que es el más rápido y eficaz es también el que presenta un coste más elevado (Sarrifer, 2019).

3.2 Frío industrial con amoníaco

A nivel industrial, lo más común es la aplicación de amoníaco (NH₃) como refrigerante ya que ofrece cuatro particularidades favorables sobre otros refrigerantes comúnmente utilizados.

- El amoníaco es compatible con el medio ambiente, no destruye la capa de ozono y no contribuye al calentamiento global de la tierra.
- Tiene propiedades termodinámicas superiores, por lo que los sistemas de refrigeración con amoníaco consumen menos energía eléctrica.

- El olor característico del amoníaco es su mayor cualidad de seguridad. A diferencia de otros refrigerantes industriales que no tienen olor, porque las fugas son detectadas fácil y rápidamente. El olor penetrante del amoníaco motiva a los individuos a abandonar el área donde se presente una fuga antes de que se acumule una concentración peligrosa.
- El costo del amoníaco es mucho menor que cualquier refrigerante sintético, de manera general cuesta de un 10 a un 20% menos en instalación y al ser una sustancia natural, no tiene una fecha límite en que se pueda producir o usar, a diferencia de otros refrigerantes sintéticos cuyo uso o producción está limitada a una cierta cantidad de años. (Bolaji & Huan, 2013)

Al establecer la temperatura del aire frío en -35°C , se requiere una temperatura de evaporación por debajo del aire a enfriar. Para garantizar una buena transferencia de energía se toma una diferencia de temperatura de 7°C , con ello se obtiene una temperatura de evaporación. Para el caso del freón, al ser la temperatura ambiente de 30°C en promedio y considerando una diferencia de temperaturas de 10°C , se obtiene una temperatura de condensación $+40^{\circ}\text{C}$. Para el caso del amoníaco se considerará una diferencia de temperaturas de $+5^{\circ}\text{C}$, por lo que obtenemos una temperatura de condensación de $+35^{\circ}\text{C}$. Una vez establecidas las temperaturas de evaporación y condensación, se procede a seleccionar el refrigerante a utilizar en el sistema de refrigeración. Se utiliza las temperaturas de evaporación y condensación de los refrigerantes para hallar las presiones de saturación (ASHRAE, 2009).

A continuación, en las figuras 3.2, 3.3 y 3.4 se aprecia equipamiento de frío industrial en la planta exportadora de mariscos. Entre ellos se muestra compresores, bombas y túnel de frío que emplea amoníaco como refrigerante.



Figura 3. 2 Compresores

Fuente: Autor



Figura 3. 3 Instalaciones para túnel de frío vista posterior

Fuente: Autor



Figura 3. 4 Túnel de frío

Fuente: Autor

En la figura 3.5 se muestra el diagrama de congelamiento en la planta empacadora de mariscos.

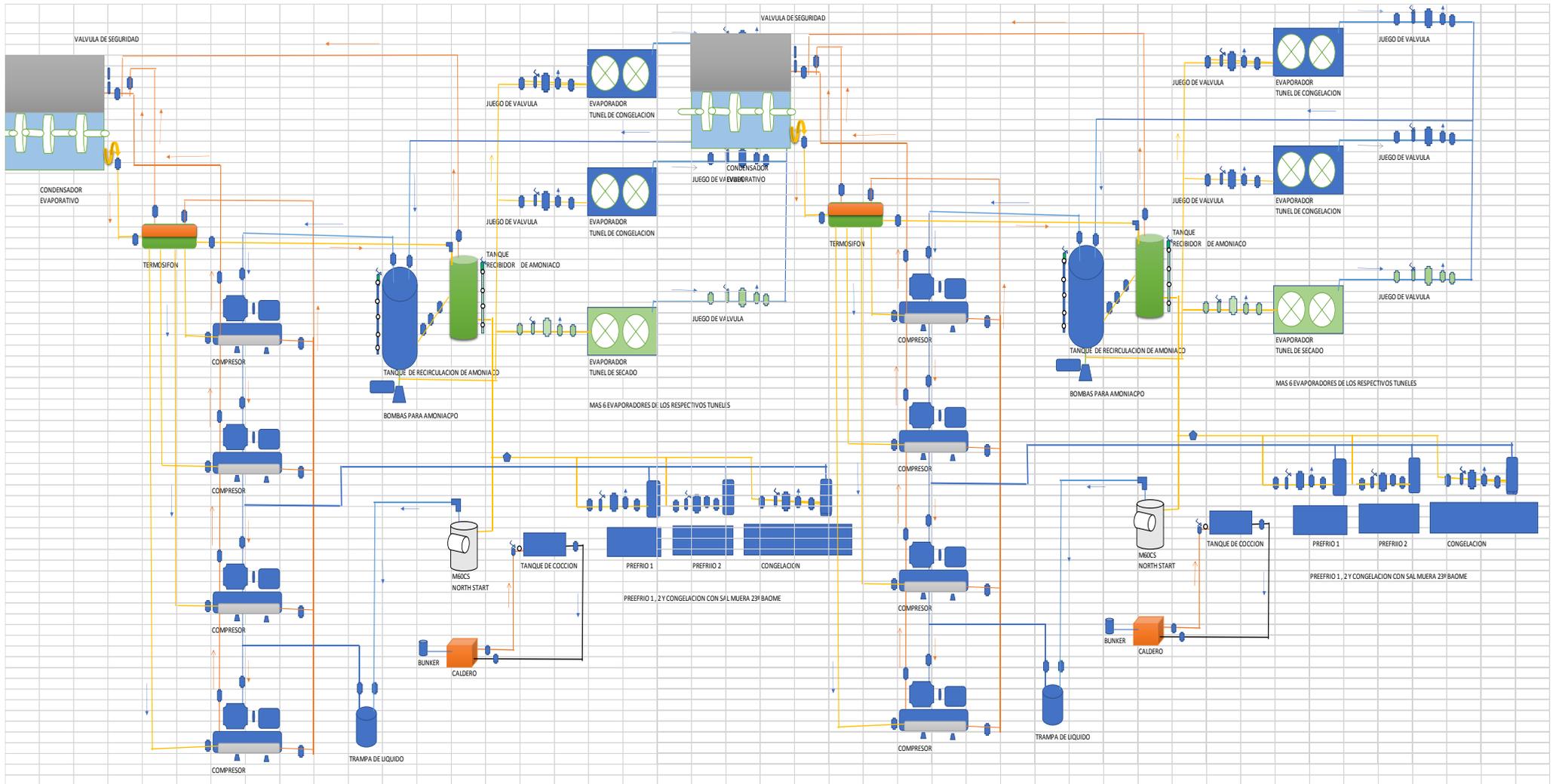


Figura 3. 5 Diagrama de sistema de congelación en empacadora de mariscos

Fuente: Autor

En la figura 3.5 se muestra el diagrama completo de frío industrial con dos etapas de congelación iguales. Es decir, en una etapa se tiene: cuatro compresores (tres conectan a evaporadores de túneles de frío) y bombas que envían el gas amoníaco a tres túneles de frío (pre-frío 1, pre-frío 2 y congelación). Se requiere de un sistema de bombeo de amoníaco debido al flujo de refrigerante por entregar y la caída de presión (longitud de tuberías) hasta los evaporadores.

3.3 Mediciones de la energía en la planta

Para la realización del presente estudio, se hizo uso de un equipo analizador de calidad de energía, marca Fluke 435 II con sensores de corriente de una capacidad de 2,500 amperes. Se efectúan mediciones en un sector determinado de la planta, es decir (repetido) en el área de la entrada del interruptor principal del transformador (TRA 1) del tablero principal y así también del tablero de distribución TF 2 que energizan cada uno de los túneles de frío.

3.3.1 Metodología

El equipo fue conectado en las terminales de entrada del interruptor principal del transformador, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición. El período de medición fue de 72 horas continuas en cada transformador, tomado muestras cada 10 segundos. Esto representa un muestreo total de 25,920 muestras para cada parámetro eléctrico registrado. Las 25,920 muestras registradas se almacenan en memoria y se procesan para obtener los perfiles de operación de cada parámetro eléctrico. De estos parámetros eléctricos se obtienen los valores máximos, mínimos y promedios para establecer los límites de operación del sistema eléctrico y son comparados con lo que recomiendan los estándares internacionales.

Además, se programó el equipo para detectar eventos de tipo transitorio en voltaje con variaciones por encima del 20% de voltaje pico, esto con la finalidad de evaluar si los arranques de cargas internas impactan en el voltaje de suministro, o en su defecto registrar los eventos que son generados externamente y son reflejados hacia este nodo. En la figura 3. 6 se muestra el esquema eléctrico del tablero principal con sus cargas, es decir Transformador 1 (500 KVA), y Tablero TF-2.

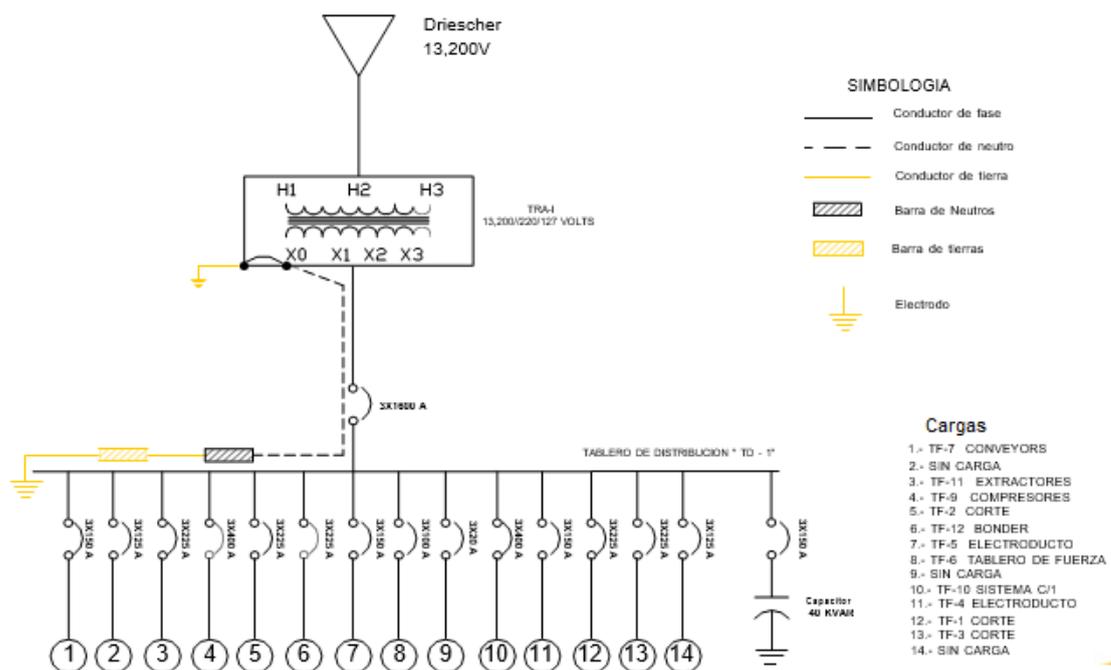


Figura 3. 6 Esquema eléctrico de TRA 1 y cargas

Fuente: Autor

En la figura 3.7 se muestra el perfil del voltaje máximo en un período de 72 horas. El comportamiento del voltaje promedio es de 221.62 Voltios, valor que se encuentra 0.74 % arriba del valor nominal de 220 Volts del Transformador “TRA- 1” de 500 kVA, La ventana de variación presenta un máximo de 229.91 Voltios (4.50% arriba del valor nominal). Los valores máximos se mostraron de manera instantánea, sin embargo, estos valores se localizan dentro del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-2005 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

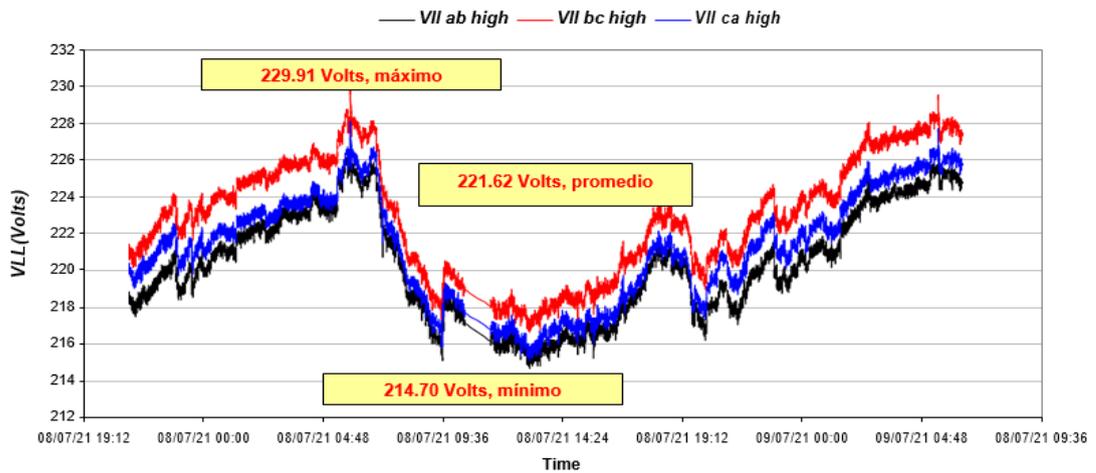


Figura 3. 7 Perfil de Voltaje Máximo de Línea a Línea TRA 1

Fuente: Autor

En la figura 3.8 se muestra el perfil del voltaje mínimo en un período de 72 horas. El desempeño del voltaje promedio es de 221.62 Volts, valor que se encuentra 0.74 % arriba del valor nominal de 220 Volts del Transformador TRA 1. La ventana de variación presenta un mínimo de 214.16 Volts (-2.65% abajo del valor nominal). Los valores mínimos se registraron de manera instantánea, sin embargo, estos valores se localizan dentro del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-2005 (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico.

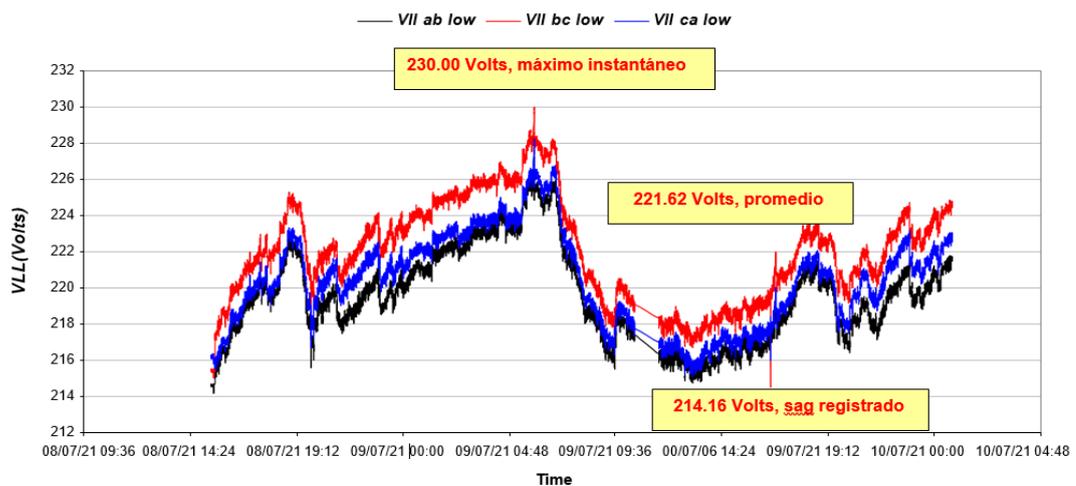


Figura 3. 8 Perfil de Voltaje Mínimo de Línea a Línea TRA 1

Fuente: Autor

En la figura 3.9 se muestran señales o formas de onda individuales (por fase), donde se visualiza distorsión armónica baja y un evento transitorio de voltaje registrado en las 3 fases. Este tipo de evento es el más perjudicial para cargas electrónicas. En las 72 horas se registraron 36 eventos.

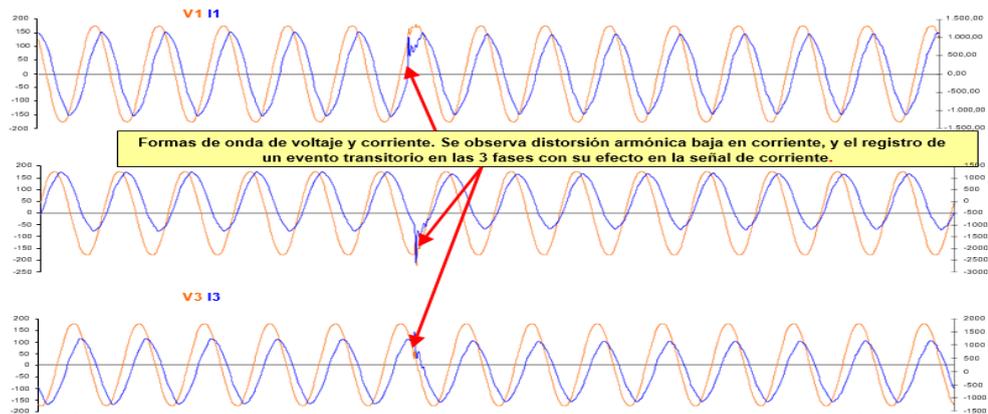


Figura 3. 9 Ondas de voltaje y corriente

Fuente: Autor

En la figura 3.10 se muestran los eventos transitorios más altos registrados. La valoración máxima fue de 376.1 V, con una permanencia de 39 msec., lo cual representa un 71% arriba del valor nominal de 220 V. Este tipo de evento se clasifica como “impulso” y es generado de manera externa, o interna por cargas instaladas en la industria empacadora.

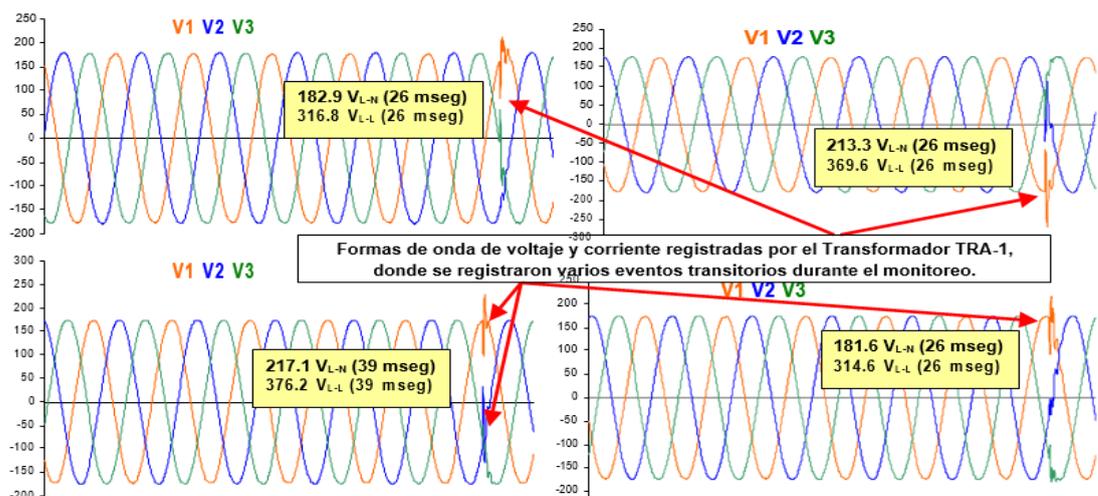


Figura 3. 10 Eventos Transitorios de Voltaje

Fuente; Autor

A través del software ETA se obtiene el espectro o componente de armónicas relativas a la fundamental de la señal en voltaje (THDv) del Transformador “TRA 1”. Se muestra un gráfico de barras con el porcentaje por componente individual armónico con la finalidad de visualizar las más significativas del sistema medido, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por la norma IEEE. 519-1992.

El valor total de THDv es de 1.86%, con una contribución individual principalmente de 5ª y 7ª armónica. Véase en la figura 3.11 el espectro de armónico en TRA 1.

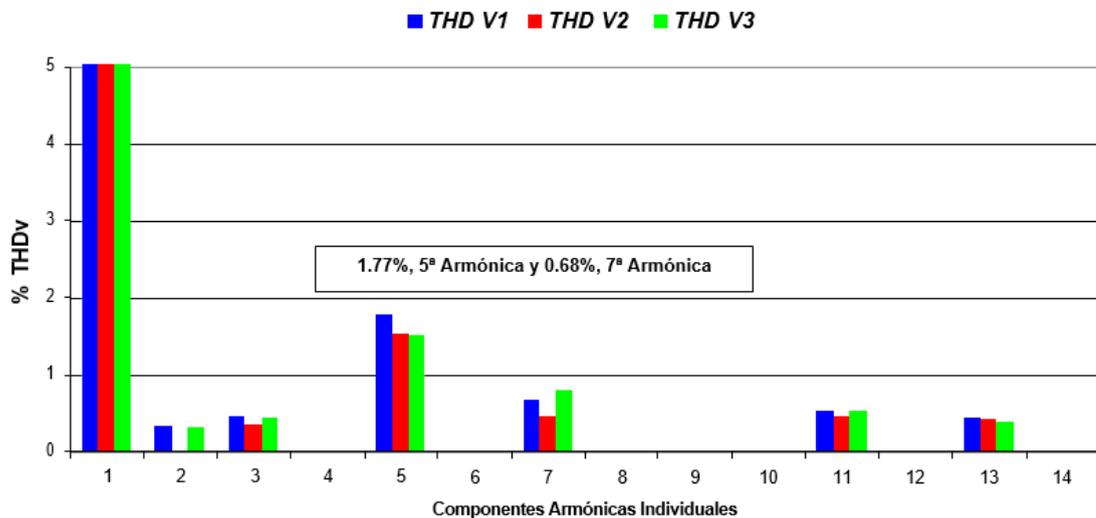


Figura 3. 11 Componente Armónico en la Señal de Voltaje (THDv) de TRA 1

Fuente: Autor

En la figura 3.12 se muestra el componente de armónico de la señal en corriente (THDi) del Transformador “TRA 1”. Se representa el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de visualizar los componentes más significativos del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por la norma IEEE 519-1992. El valor total de THDi es de 5.67%, con una contribución individual principalmente de 3ª y 5ª Armónicas.

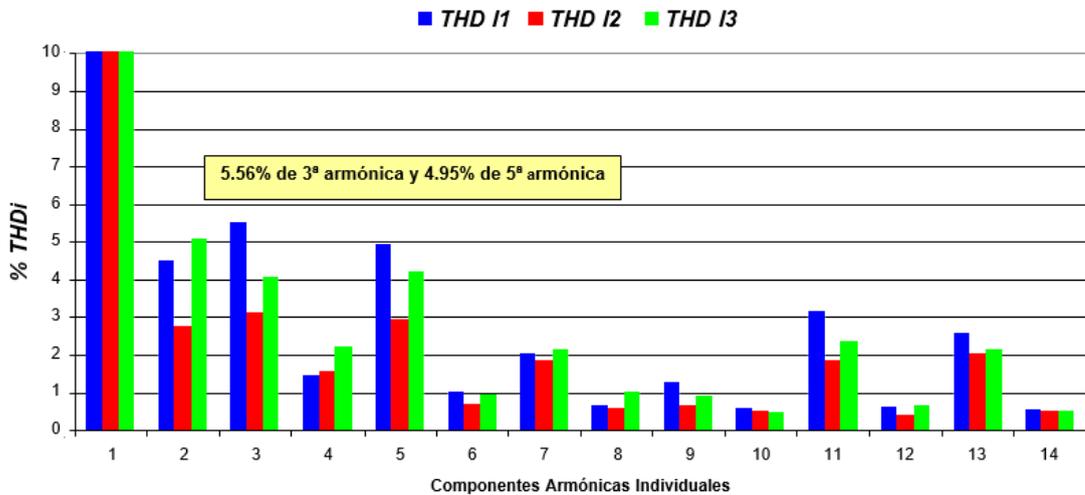


Figura 3. 12 Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi) TRA 1

Fuente: Autor

En la figura 3.13 se muestra el perfil de distorsión armónica en voltaje (THDv) en un período de 72 horas. Se registró una proporción promedio de 1.26% y un valor máximo de 1.87%, lo cual se localiza dentro del porcentaje recomendado por la Norma IEEE 519-1992.

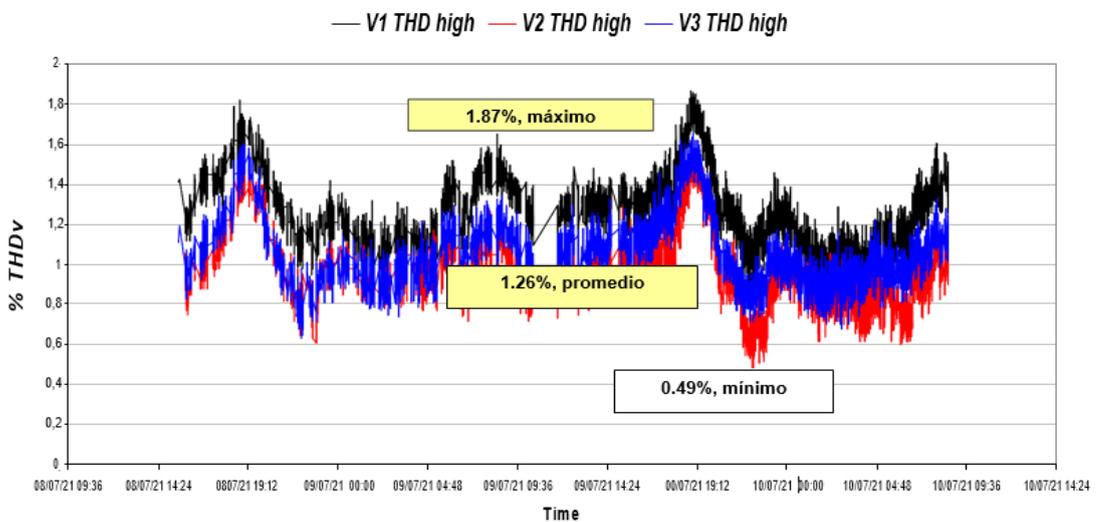


Figura 3. 13 Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (THDv) TRA 1

Fuente: Autor

En la figura 3.14 se muestra el perfil de distorsión armónica en corriente (THDi) en un período de 72 horas. Se registró un porcentaje máximo de 5.67% y un valor promedio de 3.96%, lo cual se localiza dentro del porcentaje recomendado por la norma IEEE 519-1992.

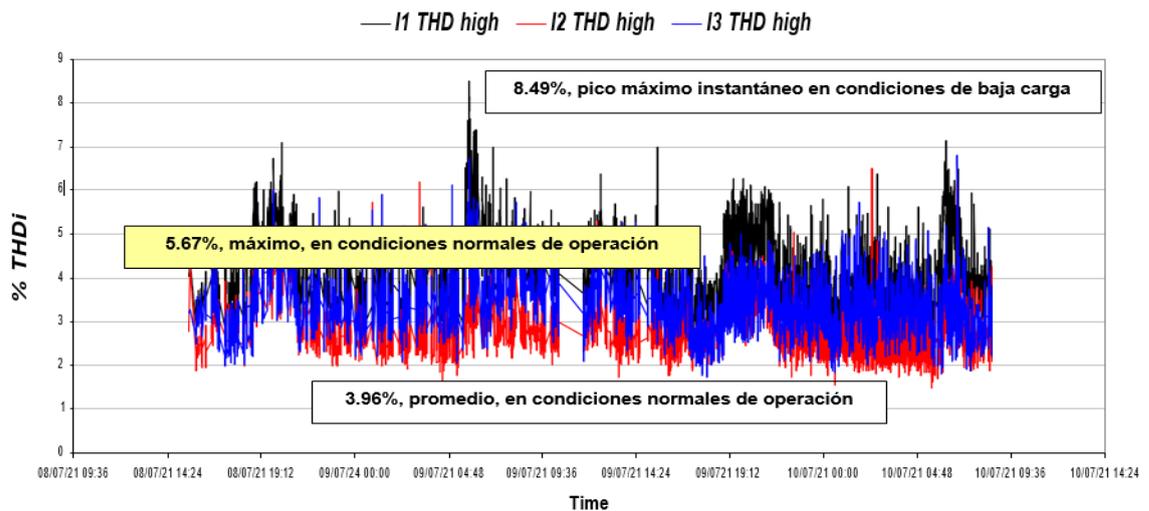


Figura 3. 14 Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (THDi) TRA 1

Fuente: Autor

En la figura 3.15 se muestra el perfil de distorsión armónica individual en voltaje en un período de 72 horas. Se obtuvo un porcentaje máximo de 1.77% de 5ª armónica y un valor máximo de 0.68% de 7ª armónica, los cuales se encuentran ajustadas a ponderaciones recomendadas por la norma IEEE 519-1992.

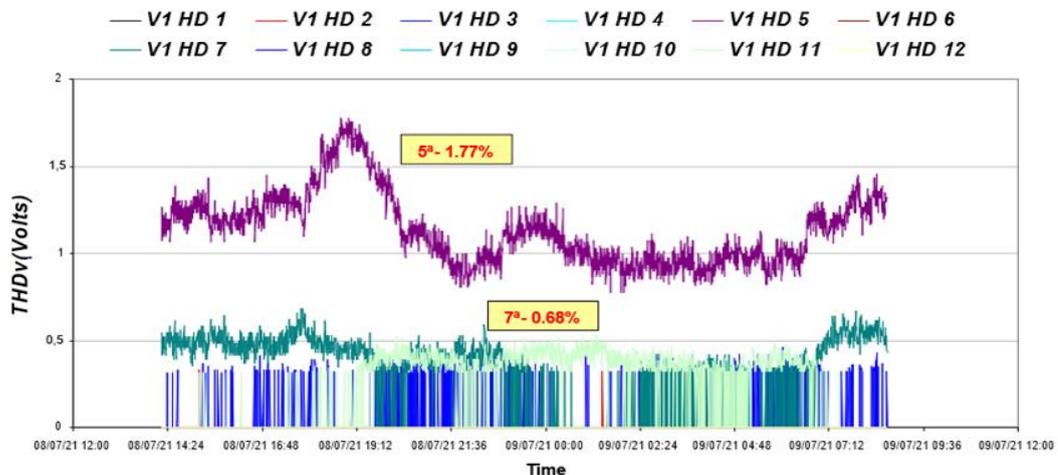


Figura 3. 15 Perfil de Distorsión Armónica en Voltaje (Individual)

Fuente: Autor

En la figura 3.16 se muestra el perfil de distorsión armónica individual en corriente en un período de 72 horas. Se obtuvo un porcentaje máximo de 5.56% de la 3ª armónica y un valor máximo de 4.95% de 7ª armónica, ambas se encuentran dentro del porcentaje recomendado por la norma respectiva.

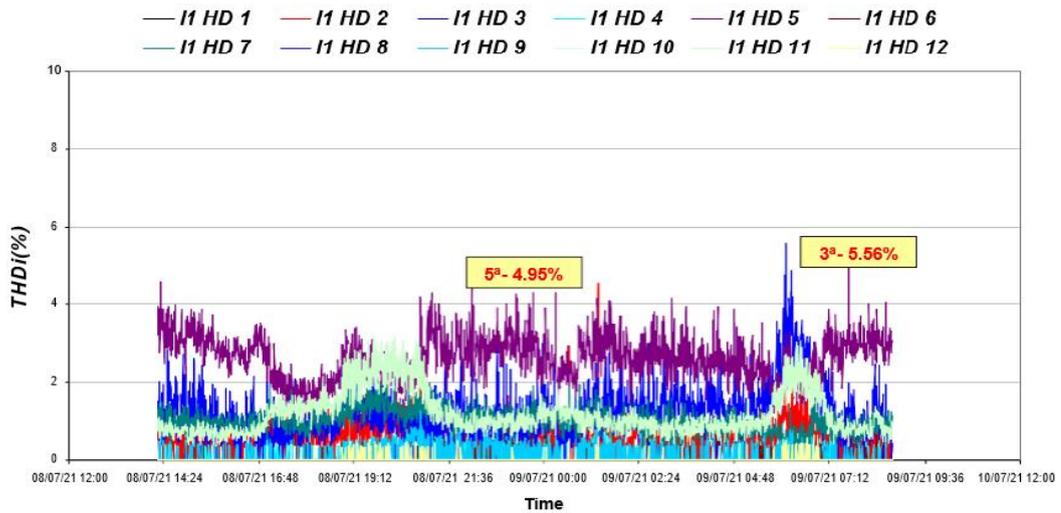


Figura 3. 16 Perfil de Distorsión Armónica en Corriente (Individual)

Fuente: Autor

En la figura 3.17 se muestra el perfil de corriente en un período de 72 horas. El valor de intensidad de corriente promedio durante el período normal de operación fue de 590.10 A., registrando un valor máximo en corriente de 948.12 A. En el período completo de monitoreo se registró una corriente mínima de 206.90 A.

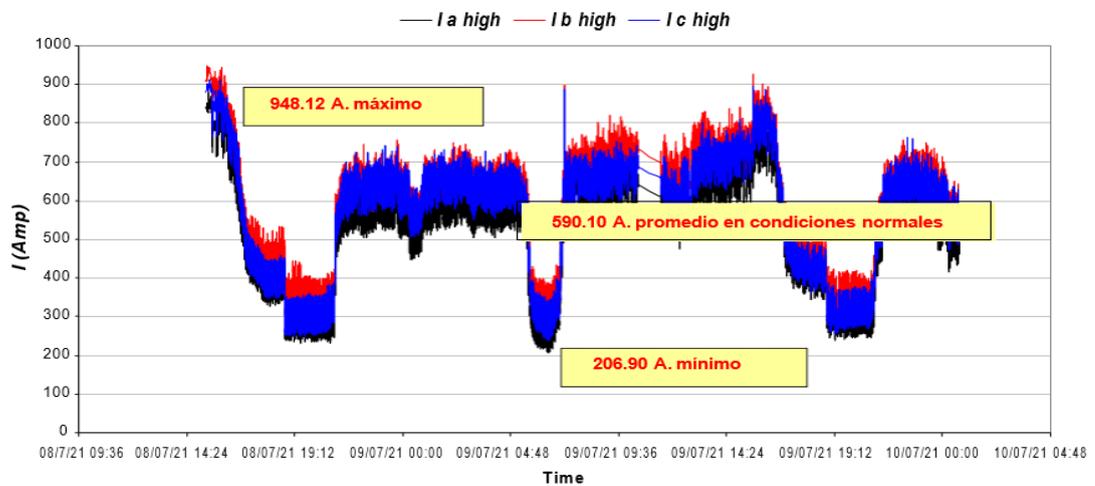


Figura 3. 17 Perfil de Corriente Máxima de Línea de TRA 1

Fuente: Autor

En la figura 3.18 se muestra la demanda de potencia real en kW durante el período de monitoreo de 72 horas. El valor de potencia real promedio durante el período de operación normal fue de 170.25 kW, obteniéndose un valor máximo de

249.26 kW. En el ciclo completo de operación se registró una potencia real mínima de 90.20 kW.

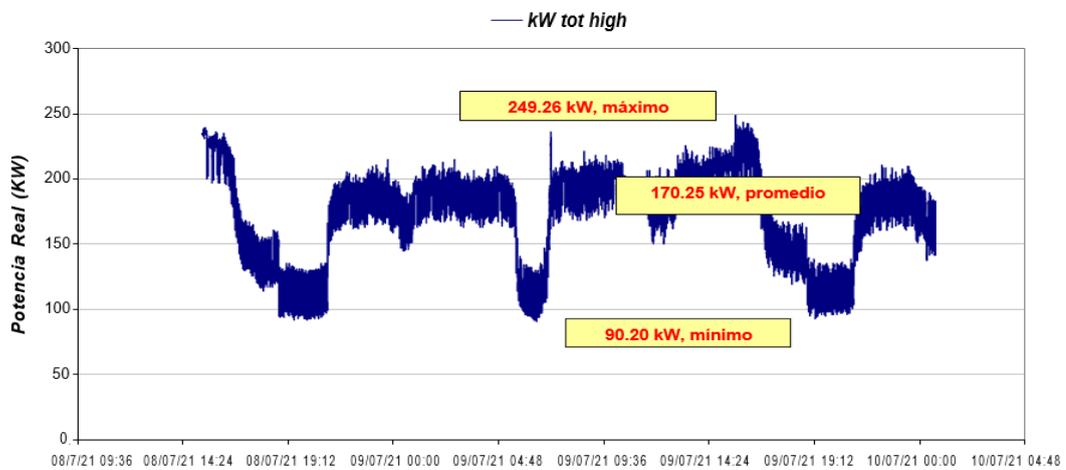


Figura 3. 18 Perfil de Potencia Real (kW)

Fuente: Autor

En la figura 3.19 se registra la demanda de potencia reactiva en kVAR durante el período de monitoreo de 72 horas. El valor de potencia reactiva promedio durante el período de operación normal fue de 124.04 kVAR, obteniéndose un valor máximo de 233.03 kVAR. En el ciclo completo de operación se obtuvo una potencia reactiva mínima de 28.51 kVAR.

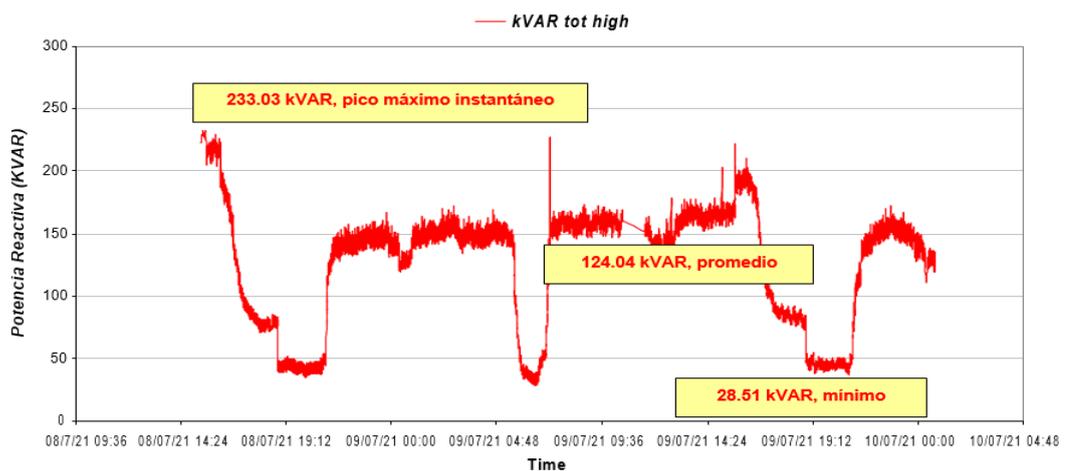


Figura 3. 19 Perfil de Potencia Reactiva (kVAR)

Fuente: Autor

En la figura 3.20 se muestra la demanda de potencia aparente en kVA durante el período de monitoreo de 72 horas. El valor de potencia aparente promedio durante

el período de operación normal fue de 211.67 kVA, registrando un valor máximo de 334.08 kVA. En el ciclo completo de operación se registró una potencia aparente mínima de 94.80 kVA.

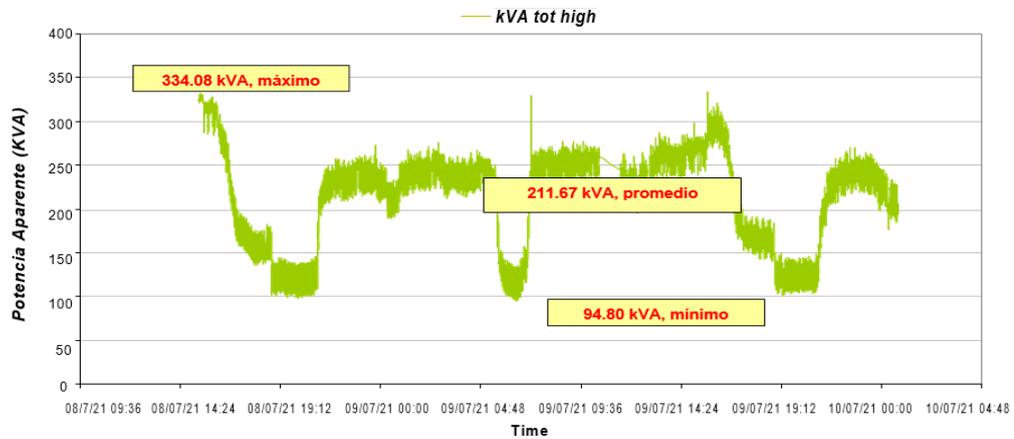


Figura 3. 20 Perfil de Potencia Aparente (kVA)

Fuente: Autor

En la figura 3.21 se muestra el comportamiento del factor de potencia durante el período de monitoreo de 72 horas. El valor del factor de potencia promedio durante el período de operación normal fue de 81.85% (inductivo), registrando un valor máximo instantáneo de 96.2% (inductivo). En el ciclo completo de operación se registró un factor de potencia mínimo de 68.07%.

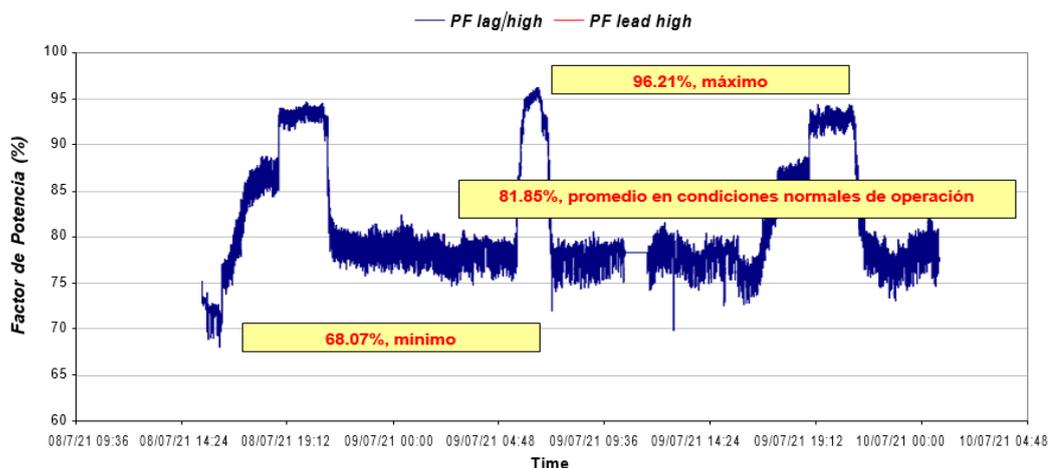


Figura 3. 21 Perfil de Factor de Potencia (%)

Fuente: Autor

A continuación, se detalla la metodología para levantamiento de datos o mediciones en el tablero TF-2. El equipo fue conectado en las terminales de entrada

del Tablero TF-2, tomando así el total de la carga conectada durante el período de medición. El período de medición fue de 39 horas continuas en cada transformador, tomado muestras cada 4 segundos, esto representa un muestreo total de 35,100 muestras para cada parámetro eléctrico registrado. Las 35,100 muestras registradas se almacenan en memoria y se procesan para obtener los perfiles de operación de cada parámetro eléctrico.

De cada parámetro eléctrico se obtienen los valores máximos, mínimos y promedios para establecer los límites de operación del sistema eléctrico y ser comparados con lo que recomiendan los estándares internacionales. En la figura 3.22 se muestra el esquema eléctrico del tablero de distribución TF-2.

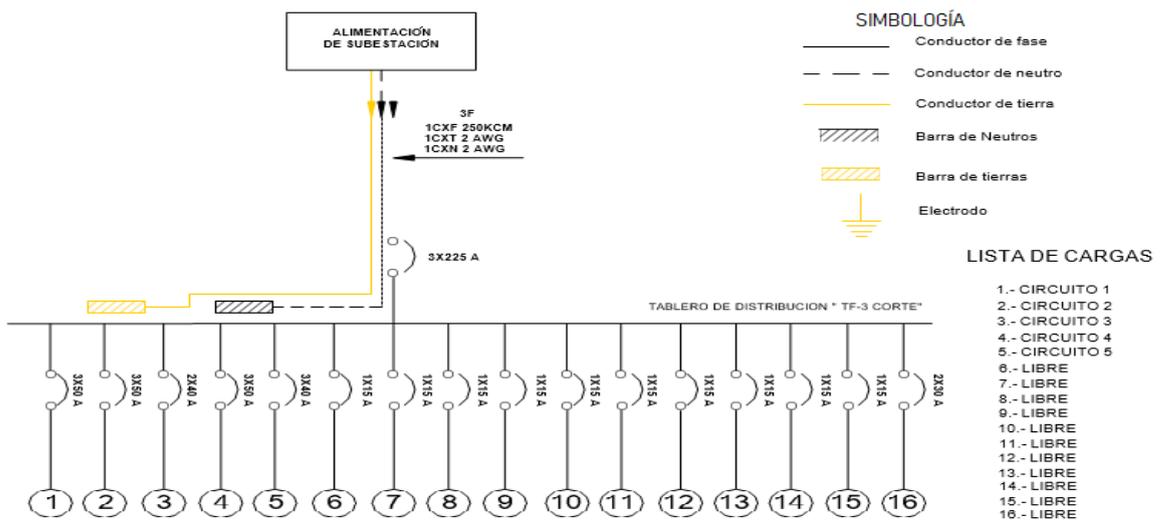


Figura 3. 22 Cargas de TF-2

Fuente: Autor

Según las mediciones efectuadas el comportamiento del voltaje promedio es de 220.26 V, valor que se encuentra 0.12% arriba del valor nominal de 220 V del Tablero TF-2. La ventana de variación presenta un máximo de 229.5 V (4.32% arriba del valor nominal) y un mínimo de 213.82 V (2.81% abajo del valor nominal). Los valores máximos se presentaron de manera instantánea y se encuentran dentro del rango recomendado por norma (variación no mayor al 5% del valor nominal), el cual está orientado a la operación de equipo electrónico crítico. Es importante indicar que el

voltaje nominal de las máquinas de frío es 210 Volts, y durante varios meses se mantuvo una alimentación de 200 Voltios a estas máquinas. En la figura 3.23 se muestra el perfil del voltaje en un período de 39 horas.

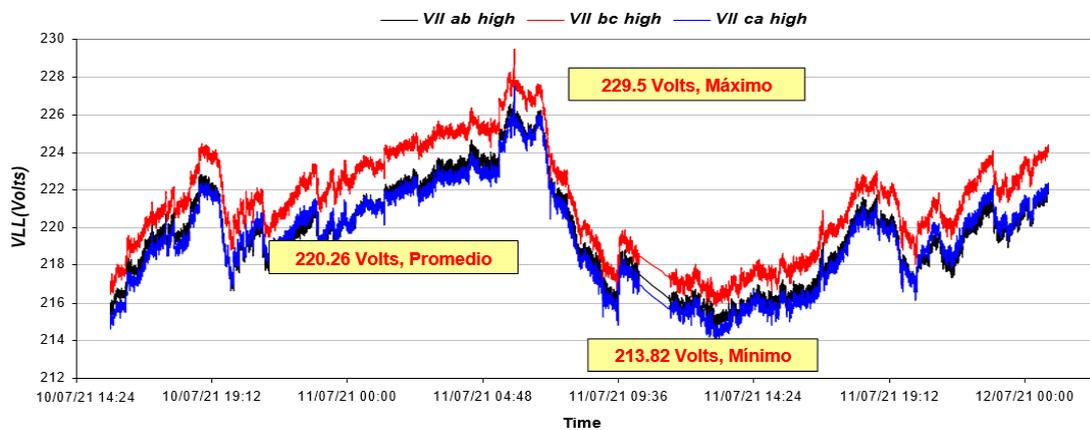


Figura 3. 23 Perfil de Voltaje Máximo de Línea a Línea en TF-2

Fuente: Autor

En la figura 3.24 se muestra el espectro armónico de la señal en voltaje (THDv) en el Tablero TF-2. Se presenta el porcentaje por componente individual armónica con la finalidad de observar las componentes más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por la norma IEEE 519-1992. El valor total de THDv es de 1.11%, con una contribución individual principalmente de 5ª y 7ª armónicas.

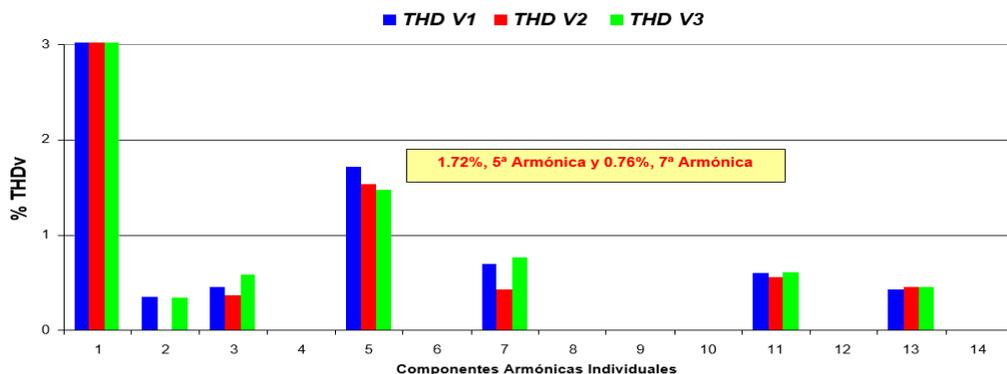


Figura 3. 24 Espectro Armónico en la Señal de Voltaje (THDv)

Fuente: Autor

En la figura 3.25 se muestra el espectro armónico de la señal en corriente (THDi) en el Tablero TF-2. Se presenta el porcentaje por componente individual

armónica con la finalidad de observar las más significativas del sistema, y validar que sus porcentajes individuales se encuentren dentro de los niveles recomendados por la norma IEEE 519-1992. El valor total de THDi es de 14.25%, con una contribución individual principalmente de 3^a, 5^a y 7^a armónica.

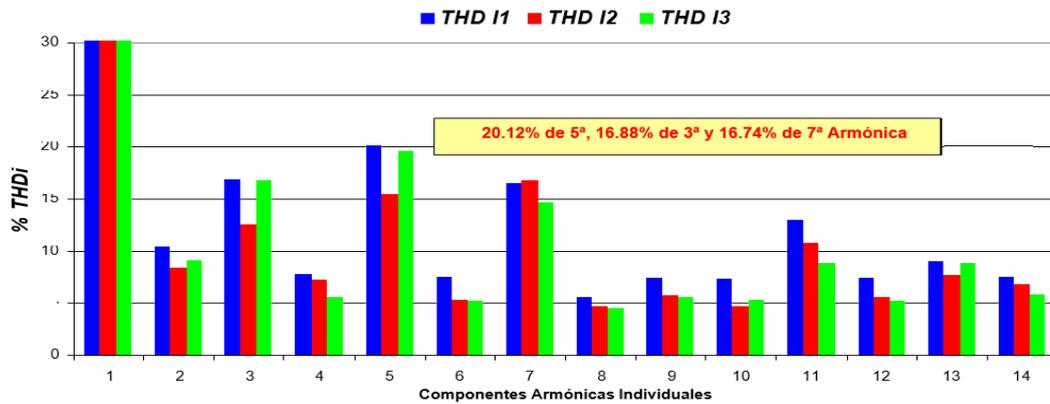


Figura 3. 25 Espectro Armónico en la Señal de Corriente (THDi)

Fuente: Autor

En el siguiente capítulo, se analizan los datos recabados distorsión armónica en voltaje, corriente, factor de potencia entre otros más. Así mismo se plantean propuestas tanto para el tablero principal como del de distribución.

CAPÍTULO 4: ANÁLISIS DE CALIDAD DE LA ENERGÍA

Después de la recopilación de datos en la planta en especial por el transformador “TRA 1” de 500 kVA durante un período de 72 horas. Del tablero de distribución TF-2 durante periodo de 39 horas. Los datos obtenidos son contrastados en base a dos normas IEEE.

4.1 Valores obtenidos y Normativas

Se analizaron los valores obtenidos en base a norma:

IEEE 1100-2005 que recomienda prácticas de diseño, instalación y mantenimiento para la energía eléctrica y la conexión de puesta a tierra (incluido el control de ruido relacionado con la energía y la señal) de equipos de procesamiento electrónico sensibles utilizados en aplicaciones comerciales e industriales.

IEEE 519 1992 que trata principalmente con armónicos y problemas de calidad de potencia puedan ser prevenidos. Su cumplimiento está siendo solicitado cada día más debido al crecimiento en la utilización de VDF y otras cargas no lineales. Además, esta norma define distorsión total e individual de voltaje y corriente. La filosofía adoptada fue restringir la inyección de corrientes armónicas de consumidores individuales para no causar niveles de distorsión de voltaje inaceptables.

4.2 Análisis de distorsión armónica de voltaje y corriente en TRA 1

En base a datos recabados se realizan tablas en base a la norma IEEE respectiva. En la tabla 4.1 se muestra valores de voltaje en acometida de la planta.

Tabla 4. 1 Valores de voltaje en la planta (valores máximos)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% variación Máximo Mínimo		IEEE1100-2005
V A-B	227.25	219.60	214.70	3.30	-2.41	Si cumple
V B-C	229.91	222.13	215.80	4.50	-1.91	Si cumple
V C-A	228.12	220.49	215.10	3.69	-2.23	Si cumple

Fuente: Autor.

Se considera que el voltaje promedio es de un valor de 221.42 Voltios. La ventana de variación presenta un máximo de 229.91 V. (4.50% arriba del valor nominal) y un mínimo de 214.16 Volts (- 2.65% abajo del valor nominal), permaneciendo dentro del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-2005 (variación no mayor al 5% del valor nominal). Este estándar está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico. Véase la tabla 4.2 valores de voltaje mínimos.

Tabla 4. 2 Valores de voltaje en la planta (valores mínimos)

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% variación Máximo Mínimo		IEEE 1100-2005
V A-B	227.25	219.60	214.16	3.30	-2.65	Si cumple
V B-C	230.00	222.13	214.53	4.55	-2.49	Si cumple
V C-A	228.18	220.49	215.08	3.72	-2.24	Si cumple

Fuente: Autor.

El TRA 1 se encuentra conectado al TAP 3 con una relación de transformación de 60.0 correspondiente a 13,200 Voltios – 220 Voltios, por lo tanto, se observa un voltaje promedio de media tensión de 13,229.4 Voltios y un voltaje máximo registrado de 13,749.6 Voltios. La demanda en corriente promedio fue de 590.10 A. durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de corriente de 948.12 A. (Fase B), de forma instantánea. Este comportamiento se presentó en el monitoreo, registrándose una diferencia máxima entre fases de 69.81 A. (Fase A).

La demanda en Potencia Real promedio fue de 170.25 kW durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de 249.26 kW, de forma instantánea.

La demanda en Potencia Reactiva promedio fue de 124.04 kVAR durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de 233.03 kVAR, de forma instantánea.

La demanda en Potencia Aparente promedio fue de 211.67 kVA en condiciones normales de operación, registrando un valor en demanda máxima promedio de 334.08 kVA. Este comportamiento se presentó en varias ocasiones durante el monitoreo y se observaron picos máximos de demanda instantánea. Por lo tanto, el porcentaje máximo de utilización fue de 66.81% y el promedio de 42.33%.

A continuación, se muestran los valores obtenidos de Distorsión Armónica Total (THD) de las señales de voltaje y corriente en sus porcentajes en forma individual y total, reflejo del tipo de carga instalada en el Transformador TRA-1. Se comparan estos valores con los valores de operación recomendados por la norma IEEE 519-1992 sobre Prácticas y Requerimientos Establecidos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Distribución. Véase en la tabla 4.3. valores de porcentaje de la Distorsión Armónica Total en voltaje (THDv)

Tabla 4. 3 Distorsión armónica de voltaje THDv

Armónicas			% THD VOLTAJE TOTAL		IEEE 519-1992
3 th	5 th	7 th	Máximo	Promedio	
0.46%	1.77%	0.68%	1.87%	1.26%	Si cumple

Fuente: Autor.

La armónica de voltaje de mayor importancia es la quinta con un valor del 1.77%, la cual se encuentra dentro de lo recomendado por el estándar como límite máximo de distorsión por componente armónica individual de voltaje (3% para este nivel de voltaje sobre la base de la norma IEEE 519-1992), y registra un THDV total de 1.87%, lo cual también se encuentra dentro del porcentaje recomendado como límite máximo de distorsión total de voltaje (5% para este nivel de voltaje).

La relación de corto circuito SCR (Short Circuit Ratio) se define como la relación de la máxima corriente de cortocircuito con la corriente máxima promedio consumido por el transformador. Basándose en esta relación, se toman los criterios de

límites permitidos en armónicas individuales, como también en su porcentaje límite total.

Para este transformador la corriente de cortocircuito (IS) es igual a 42,377.90 A. Y la corriente máxima promedio consumida por el transformador (IL) es de 948.12 A. Lo que nos da una relación de cortocircuito de 44.69. En las formas de onda y espectro armónico característico de corriente corresponden a THDi, la componente armónica de mayor contribución fue la tercera con un valor del 5.56% con respecto a la fundamental, por lo que se encuentra dentro de lo recomendado por el estándar (7% sobre la base de la SCR calculada en referencia a la IEEE 519-1992). De igual manera, se registró un THDI total de 5.67%, lo cual se encuentra dentro del porcentaje recomendado por el estándar (8% sobre la base de la SCR calculada). Véase la tabla 4.4.

Tabla 4. 4 Distorsión armónica de corriente THDi

SCR=IS/IL	h<11				IEEE	% THD Corriente Total		IEEE
	2 th	3 th	5 th	7 th	519-1992	Máximo	Promedio	519-1992
44.69	4.53%	5.56%	4.95%	2.07%	Si cumple	5.67%	3.96%	Si cumple

Fuente: Autor.

4.3 Transitorios de Voltaje

Durante el monitoreo se manifestaron varios eventos transitorios, con un valor máximo de 376.2 Voltios de línea-línea. Como efecto: pueden llegar a afectar la operación de la máquina, provocando errores de operación hasta dañar los componentes electrónicos de las tarjetas de control, o en su defecto se reduce la vida útil de los componentes al encontrarse constantemente expuestos a estos eventos.

Solución: Ya que este tablero es de distribución, se recomienda la instalación de un supresor de transitorios clase C en este tablero, para eliminar los posibles transitorios de voltaje.

4.4 Factor de Potencia en TRA 1

Se registró un valor promedio de 81.85%, con un valor mínimo de 68.07%. Para corregir el factor de potencia a un porcentaje de 100% se requiere una compensación de potencia reactiva de 200 kVAR. Cabe mencionar que el banco de capacitores actual se encuentra aportando 40 kVAR.

El principal problema que se puede tener al instalar un banco de capacitores en circuitos que alimentan cargas no lineales con el fin de compensar el factor de potencia, es la resonancia (serie o paralelo) con el transformador, ocasionando así un incremento en el tamaño de las armónicas, que traerán como consecuencia pérdidas dieléctricas, calentamiento y sobrevoltajes.

De acuerdo a cálculos, la frecuencia de resonancia del transformador es 477 Hz, correspondiente a la octava armónica, por lo que para corregir el factor de potencia y evitar la ocurrencia del problema de resonancia en paralelo se recomienda:

Instalación de un banco de capacitores automático de 200 kVAR en 240 Voltios para corregir el factor de potencia a 100%. Así como un supresor de transitorios.

En la figura 4.1 se muestra propuesta para TRA 1.

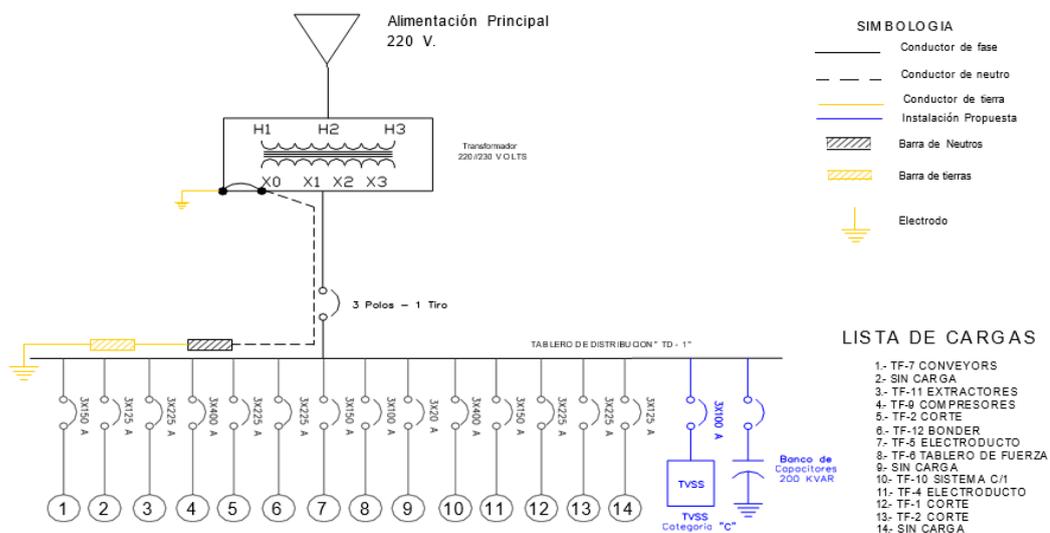


Figura 4. 1 Propuesta para TRA 1 con banco de capacitores y supresor de transitorios

Fuente: Autor

Elevar el factor de potencia general de la planta sería una propuesta en base al diagnóstico y cálculos previos. La implementación de banco de capacitores en TRA 1 podría elevar el factor de potencia general de la planta del promedio actual de 90% a 100%. Con la implementación del banco de capacitores propuesto se evitará su futuro daño y se prolongará su vida útil

4.5 Análisis de distorsión armónica de voltaje y corriente en TF-2

Se realizó el monitoreo en el Tablero TF-3 durante un período de 39 horas., con el objetivo de analizar los parámetros de calidad de energía provenientes de la compañía suministradora (voltaje nominal: 220 Volts). En la tabla 4.5 se muestran porcentajes de valores de voltaje máximos).

Tabla 4. 5 THDv Voltajes máximos

Voltaje	Máximo	Promedio	Mínimo	% de variación		IEEE 1100-1999
				Máximo	Mínimo	
V A-B	227.61	219.75	214.62	3.46	-2.44	Si cumple
V B-C	229.50	221.45	215.85	4.32	-1.89	Si cumple
V C-A	227.51	219.56	213.82	3.41	-2.81	Si cumple

Fuente: Autor

Se aprecia que el voltaje promedio es de un valor de 220.26 V, el cual se encuentra 0.12% arriba del valor nominal de 220 V de la subestación. La ventana de variación presenta un máximo de 229.50 V (4.32% arriba del valor nominal) y un mínimo de 213.82 V (2.81% abajo del valor nominal), quedando dentro del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-2005 (variación no mayor al 5% del valor nominal). Este estándar está enfocado a la operación de equipo electrónico crítico. Sin embargo, como ya se comentó, el voltaje de alimentación de las máquinas de frío debe ser de 210 V, por lo que la variación máxima de voltaje es realmente de 10.33% arriba del valor especificado para estas máquinas, lo cual está fuera del rango recomendado por el estándar IEEE 1100-2005. Se recomienda la instalación de un regulador de

voltaje de 75 kVA, 220 - 208/120 V, en configuración delta-estrella, con una tolerancia de variación a la entrada de + 10%, -20%, y una variación a la salida de $\pm 2.5\%$, con el beneficio agregado de generación de un nuevo neutro al convertirse en un circuito derivado separado.

La demanda en corriente promedio fue de 97.74 A. durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de corriente de 177.21 A. (Fase B), de forma instantánea. Este comportamiento se presentó en el monitoreo, registrándose una diferencia máxima entre fases de 24.36 A. (Fase A).

La demanda en Potencia Real promedio fue de 22.86 kW. Durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de 39.49 kW, de forma instantánea.

La demanda Potencia Reactiva promedio fue de 28.15 kVAr durante el período del monitoreo realizado, registrando un valor en demanda máxima de 49.05 kVAR, kVAr de forma instantánea. La demanda en Potencia Aparente promedio fue de 36.44 kVA en condiciones normales de operación, registrando un valor en demanda máxima promedio de 62.32 kVA, de forma instantánea. Durante el monitoreo se detectaron varios eventos transitorios, con un valor máximo de 372.5 Voltios de línea-línea.

Efecto: Errores de operación hasta dañar los componentes electrónicos de las tarjetas de control o, en su defecto, reducción de la vida útil de los componentes al encontrarse constantemente expuestos a dichos eventos.

Solución: Ya que este tablero es de distribución, se recomendará la instalación de un supresor de transitorios clase B.

A continuación, se muestran los valores obtenidos de Distorsión Armónica THD de las señales de voltaje y corriente en sus porcentajes en forma individual y

total, reflejo del tipo de carga instalada en el tablero TF-2. En las dos tablas siguientes se muestran los porcentajes de THD en Voltaje como Corriente, mostrado sus componentes individuales, así como el promedio total, y la comparación con los valores de operación recomendados por el estándar IEEE 519-1992 sobre Prácticas y Requerimientos Establecidos para el Control de Armónicos en Sistemas Eléctricos de Distribución. Véase la tabla 4.6

Tabla 4. 6 Porcentaje de THDv

Armónicas			% THD Voltaje Total		IEEE
5 th	7 th	11 th	Máximo	Promedio	519-1992
1.72%	0.76%	0.61%	1.81%	1.11%	Si cumple

Fuente: Autor

La armónica de voltaje de mayor importancia es la quinta con un valor del 1.72%, la cual se encuentra dentro de lo recomendado por el estándar de límite máximo de distorsión por componente armónica individual de voltaje (5% para este nivel de voltaje sobre la base al IEEE 519-1992), y registrando un THDv total de 1.81%, lo cual se encuentra dentro del porcentaje recomendado, de límite máximo de distorsión total de voltaje (5% para este nivel de voltaje). Véase la tabla 4.7 con THDi

Tabla 4. 7 Porcentajes de THDi

h<11				IEEE	% THD Corriente Total		IEEE
5 th	7 th	11 th	13 th	519-1992	Máximo	Promedio	519-1992
20.12%	16.8%	16.7%	12.9%	No cumple	31.81%	14.25%	No cumple

Fuente: Autor

La corriente armónica de mayor contribución es la quinta, con un valor del 20.12%, con respecto a la componente fundamental, la cual se encuentra fuera de lo recomendado por el estándar de límite máximos de distorsión por componente armónica individual de corriente en referencia la IEEE 519-1992, y registrando un THDI total de 31.81%, lo cual se encuentra fuera del 10% recomendado por el estándar de límite máximos de distorsión Total de corriente.

4.6 Factor de Potencia de TF-2

Se registró un valor promedio de 66.52%, con un valor mínimo de 51.78%. Se requieren 28 kVAR para compensar reactivamente hasta llegar al factor de potencia unitario. En la figura 4.2 se muestra el esquema de TF-2 con un supresor de transitorios.

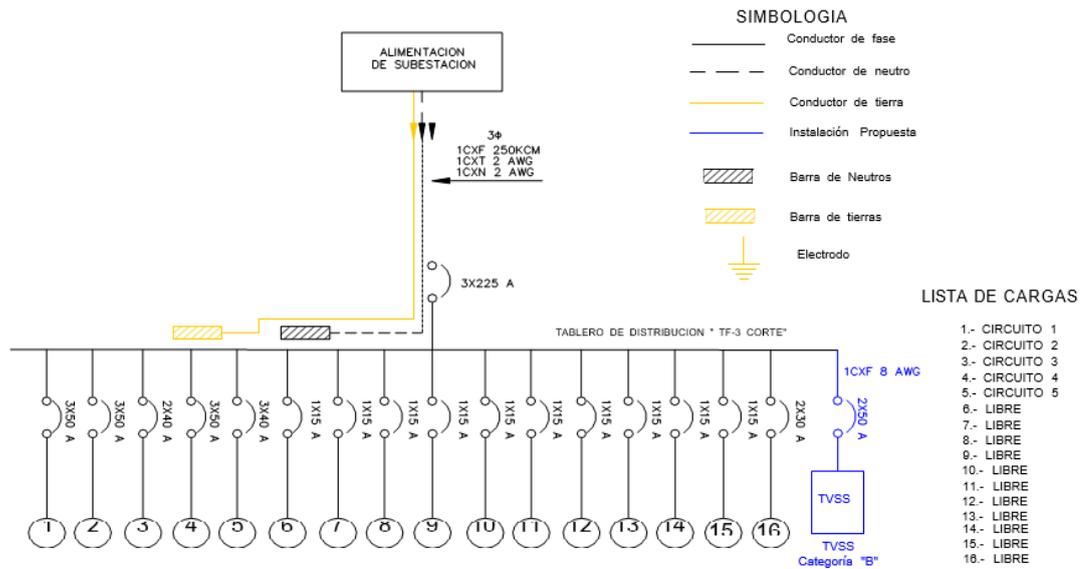


Figura 4. 2 Propuesta de conexión TF-2 con supresor de transitorios

Fuente: Autor

En color azul se conecta un equipo supresor de transitorios de 210/120 V.

CONCLUSIONES

El hardware principal es un equipo analizador de red trifásico Fluke 435 II, el software ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) permite visualizar y cuantificar los parámetros de calidad de energía provenientes de la compañía comercializadora de electricidad, de la carga o equipos consumidores etc.

Durante el estudio de calidad de energía se realizó la medición de eventos transitorios, registrándose eventos de magnitudes del orden de los 519 y 678 Volts pico a pico.

En el tablero de distribución TF-2 al alimentar a las máquinas de frío con valores de voltaje de 200 V (menos al 5 %) provoca degradación del aislamiento de los componentes de las tarjetas electrónicas. Para evitar este tipo de problema es muy importante cumplir con los requerimientos básicos de alimentación de las máquinas (210 V). La capacidad de potencia fue determinada en base al valor máximo de potencia aparente (kVA) registrado en este tablero, la cual fue de 62.32 kVA.

El tablero de distribución TF-2 aparte de contar con un supresor de transitorios necesitará de un regulador de voltaje de una capacidad de 75 kVA, de voltaje nominal 220 - 280/120 Volts, con rango de entrada de + 10%, - 20 %, y rangos de salida de \pm 2 %. Con un tiempo de corrección de voltaje menor a medio ciclo. Con figuración delta-estrella.

La comparación de valores obtenidos con normas técnicas IEEE permite proponer equipamiento para reducir la presencia de armónicos como así también la de conocer el porcentaje de factor de potencia. Alcanzar un factor de potencia al 100% es ideal para asegurar vida útil de equipos y máquinas de la planta.

RECOMENDACIONES

Instalación de equipos de protección contra estos eventos. Los eventos transitorios de voltaje se generan desde el interior de la planta y también son provenientes de la red de alimentación externa.

Para alimentar el tablero principal TRA-1, es necesario implementar un banco de capacitores automático de 200 kVAR en un voltaje nominal de 240 Volts, con 5 secciones automáticas. Así también un supresor de transitorios de 210/120 V, configuración estrella, 160,000 A de descarga, 7 modos de protección, sistema sine wave tracking para rastreo de transitorios, contador de eventos suprimidos, alarma audible, prueba de integridad por módulo, filtrado de ruido.

Se recomienda que el regulador de voltaje sea instalado para alimentar todo el tablero TF-3 (Tablero de corte), con la finalidad de suministrar un voltaje regulado a todas las máquinas de frío que se alimentan de este tablero.

En conjunto con la instalación del regulador de voltaje se deben de realizar correcciones a la instalación eléctrica para asegurar la correcta operación de los equipos, tal y como se indica en el apartado de estudio de tierras.

En base a la norma, NEC 2002 artículo 285 y en la recomendación del IEEE 1100-2005, instalar un sistema de supresión en cascada categorías C, B y A. Se recomienda la instalación de dispositivos Supresores de Picos Transitorios de Voltaje (TVSS) en los tableros principales, de las líneas de producción y en las 96 posiciones que alimentan carga sensible con la finalidad de brindar protección a equipo electrónico sensible.

ANEXO 1: Equipo utilizado en la medición.

Un equipo se clasifica como Clase A cuando cumple con la totalidad de la norma. Si hubiera algún punto que no lo cumple, o lo cumple bajo otros criterios, entonces se clasifica como Clase B.

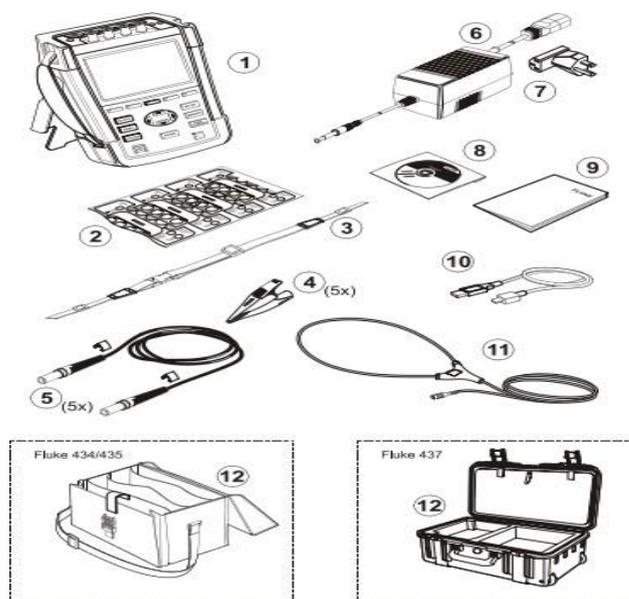
El analizador de redes ofrece un conjunto potente y completo de medidas para comprobar sistemas de distribución eléctrica. Algunos proporcionan una impresión general del rendimiento del sistema de alimentación eléctrica. Otros se utilizan para investigar detalles específicos. El Fluke 435-II cuenta con características adicionales tales como parpadeo, transitorios, onda de potencia, transmisión de señales, evento de onda, evento de rms y precisión de la entrada de tensión del 0,1%.



Analizador de redes

Componentes del equipo medición.

Las partes conformadas por el equipo son las siguientes.



: Componentes del Analizador Fluke 435-II

Descripciones de los equipos más importantes.

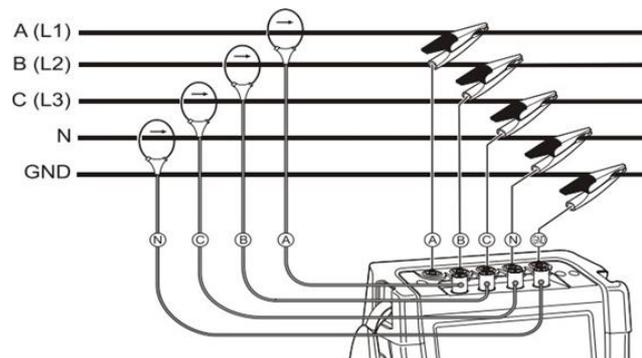
N.º	Descripción	
1	Analizador de calidad de la energía eléctrica Fluke 43x Serie II + correa lateral, juego de baterías BP290 (28 Wh) y tarjeta de memoria SD de 8 GB instalada	
2	Juego de etiquetas para tomas de entrada (Nuevo UE y Reino Unido, UE, China, Reino Unido, EE.UU., Canadá)	
3	Correa	
4	Pinzas de cocodrilo. Juego de 5	
5	Cables de prueba, 2,5 m + pinzas codificadas con colores. Juego de 5	
6	Adaptador de red	
7	Juego de adaptadores de enchufe de red (UE, EE.UU., Reino Unido, Australia/China, Suiza, Brasil, Italia) o cable de alimentación regional.	
8	Manual de instrucciones de seguridad (en varios idiomas)	
9	CD-ROM con manuales (en varios idiomas), software PowerLog y controladores USB	
10	Cable de interfaz USB para conexión al PC (USB A a miniUSB B)	
11	Sonda de corriente de CA 6.000 A flexible (no se incluye en la versión básica)	
	Fluke 434-II/435-II:	Fluke 437-II:
12	Estuche de transporte flexible C1740	Maletín rígido con ruedas C437-II

Descripción de las partes del analizador Fluke 435-II

Conexiones del analizador de redes.

Siempre que sea posible, compruebe el estado de los sistemas de alimentación antes de realizar las conexiones. Utilice siempre el EPP (equipo de protección personal) apropiado. Evite trabajar solo y trabaje teniendo en cuenta las advertencias indicadas por el fabricante en torno a la información de seguridad.

En un sistema trifásico, realice las conexiones como se muestra:



Conexión del analizador a un sistema de distribución trifásico.

Secuencia de la conexión del analizador de redes.

- Colocar las pinzas amperimétricas que están marcadas con una flecha, indica la polaridad de la señal correcta, estas van colocadas alrededor del conductor de fase A(L1), B(L2), C(L3) y N (Neutro).
- Para las conexiones de tensión, se comienza con la conexión a tierra y, después, en sucesión N(Neutro), A(L1), B(L2) y C(L3). Para poder alcanzar resultados precisos, se conectará siempre la entrada de conexión a tierra.
- Verificar por lo general 2 veces las conexiones para tener más seguridad.
- Comprobar que las pinzas amperimétricas estén fijas a si mismo que se encuentren completamente cerradas alrededor de los conductores.

La información visualizada en las pantallas de osciloscopio y diagramas fasoriales trifásicos pueden ser de suma utilidad para comprobar si los cables de tensión y las pinzas amperimétricas están conectados correctamente.

En el diagrama de vectores, las tensiones de fase y las corrientes A (L1), B (L2) y C (L3) deben aparecer en secuencia al sentido de las agujas del reloj como se muestra en el ejemplo de la figura.

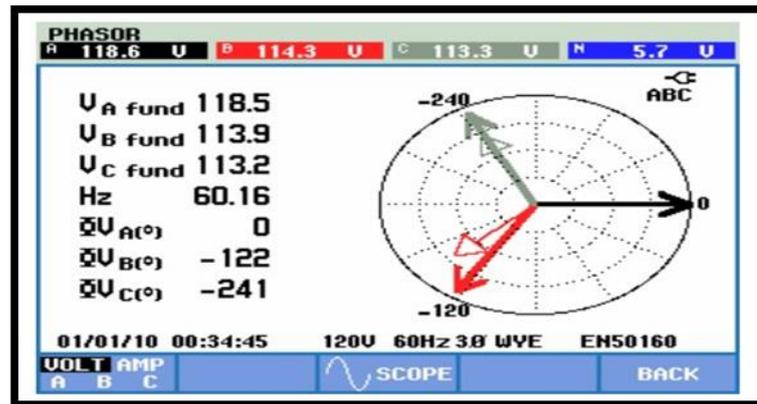


Diagrama vectorial de un analizador correctamente conectado.

En el instante del encendido del equipo, previo a la programación de fábrica, Se ajustarán los varios valores de acuerdo a la situación actual. Los ajustes generales están presentados en la siguiente tabla.

Ajuste	Valor predefinido
Idioma de la información	Inglés
Frecuencia nominal	60 Hz
Tensión nominal	120 V
Identificación de fase	A, B, C
Colores de fase A/L1-B/L2-C/L3-N-Puesta a tierra	Negro-Rojo-Azul-Gris-Verde
Fecha* + Formato de fecha	Mes/día/año
Hora*	00:00:00

Configuraciones generales del analizador de redes

Software para la simulación de banco de capacitores.

Para la simulación, comparación de datos y verificación del óptimo factor de potencia de la planta, se utilizó como herramienta importante ETAP (Electrical Power System Analysis & Operation Software) permite el análisis, simulaciones, monitoreos, controles, optimizaciones y automatización de sistemas eléctricos monofásicos, bifásicos o trifásicos. Posee una librería equipada con los elementos más actualizados

del mercado, necesarios para la elaboración de diagramas unifilares que se asemejen a la realidad de la problemática presentada.

El software ETAP ofrece el mejor y más completo conjunto de soluciones integradas para sistemas de energía que abarca desde el modelado hasta la operación.

Permite crear, configurar, personalizar y administrar los diferentes escenarios en los sistemas eléctricos para un análisis de ingeniería detallado y operaciones de sistemas de energía. Las herramientas permiten construir de forma rápida, sencilla y eficaz los variados diagramas AC -DC.

Este software fue escogido por la confiabilidad que posee y refleja en cada uno de los datos adquiridos.



FIGURA 19: ADQUISICIÓN DE DATOS EN ETAP [29].

BIBLIOGRAFIA

- ASHRAE. (2009). *ANSI/ASHRAE 111-2008, "Mediciones, Pruebas, Ajustes y Equilibrado de Instalaciones de Climatización en Edificios*. Obtenido de <https://spain-ashrae.org/disponible-en-espanol-norma-ansiashrae-111-2008/>
- BIRT LH. (2017). *Tipos de compensación*. Obtenido de https://ikastaroak.birt.eus/edu/argitalpen/backupa/20200331/1920k/es/IEA/E/E06/es_IEA_E06_Contenidos/website_1021_tipos_de_compensacin.html
- Bolaji, & Huan, Z. (2013). *Agotamiento de la capa de ozono y calentamiento global: caso para el uso de refrigerante natural: una revisión*. Obtenido de Elsevier: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032112005503?via%3Dihub>
- Calvo, J. (2016). *Manual básico de seguridad en instalaciones eléctricas de baja tensión*. Canarias, España: Dirección de General de Trabajo. Obtenido de Instituto Canario de Seguridad Laboral (ICASEL): https://srvsbniisphp-universitatpolit.netdna-ssl.com/cdn_propintegral/sites/default/files/noticia/44035/field_adjuntos/manualinstalacioneselectricasweb.pdf
- Circutor. (2019). *Técnicas de compensación y filtrado de perturbaciones armónicas*. Obtenido de <http://circutor.es/es/formacion/armonicos-electricos>
- Copper.org. (2021). *Dos problemas modernos de calidad de la energía: armónicos y conexión a tierra*. Obtenido de <https://www.copper.org/applications/electrical/pq/issues.html>

- EP. (2020). *Medir la calidad de la energía ¿Qué dispositivos debería utilizar y qué medir?* Obtenido de <https://electricistas.cl/medir-la-calidad-de-la-energia-dispositivos-a-utilizar/>
- Grupo Navarro. (2020). *Cortocircuito Eléctrico, el culpable de la mayoría de los incendios.* Obtenido de <https://gruponavarro.pe/electricidad-domiciliaria/cortocircuito-electrico/>
- Instrumentación digital. (2020). *Perturbaciones eléctricas.* Obtenido de <https://www.instrumentaciondigital.es/perturbacion-filtrado-de-perturbaciones/>
- InTech. (2019). *Seguridad en las Instalaciones Eléctricas.* Obtenido de <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/03/12/seguridad-en-las-instalaciones-electricas/>
- Muñoz, D. (2021). *Análisis de la calidad de energía eléctrica en fábrica de lubricantes.* Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/16221/1/T-UCSG-PRE-TEC-IEM-264.pdf>
- Petroquimez. (2014). *Corrección del Factor de Potencia en Presencia de Corrientes Armónicas.* Obtenido de <https://petroquimex.com/correccion-del-factor-de-potencia-en-presencia-de-corrientes-armonicas/>
- Plastics Technology. (2020). *Qué es la calidad de la energía.* Obtenido de <http://circuitor.es/es/formacion/armonicos-electricos>
- Sarrifer. (2019). *Tipos y técnicas de congelación de alimentos.* Obtenido de <http://sarrifer.es/tipos-y-tecnicas-de-congelacion-de-alimentos/>

TeraWatt. (2020). *¿Qué es la calidad eléctrica?* Obtenido de <https://terawattingenieria.com/que-es-la-calidad-electrica/>

Tracer Software. (2016). *LA SEGURIDAD EN LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS*. Obtenido de <https://www.trace-software.com/es/la-seguridad-en-las-instalaciones-electricas/>



DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Cajamarca Ordoñez, Erick Javier** con C.C: 0926578105 autor del Trabajo de Titulación: **Análisis de la calidad de energía eléctrica en empacadora de mariscos ubicado en la parroquia pascuales del cantón Guayaquil** previo a la obtención del título de **Ingeniero Eléctrico-Mecánica** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 17 de Septiembre de 2021

Cajamarca Ordoñez, Erick Javier

C.C: 0926578105



Presidencia
de la República
del Ecuador



Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes



SENESCYT
Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis de la calidad de energía eléctrica en empacadora de mariscos ubicado en la parroquia pascuales del cantón Guayaquil		
AUTOR(ES)	Cajamarca Ordoñez, Erick Javier		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Jaime Rafael Hidalgo Aguilar		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería Eléctrico-Mecánica		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Eléctrico-Mecánica		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	17 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	69
ÁREAS TEMÁTICAS:	Mediciones eléctricas, Factor de potencia, Calidad de energía		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Máquinas eléctricas, armónicos, potencia, perturbaciones, refrigeración industrial		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo de titulación aborda la identificación de causas y efectos de las perturbaciones eléctricas, el objetivo general es analizar la calidad de la energía eléctrica en industria empacadora de marisco, Las plantas industriales e instalaciones con maquinaria eléctrica, debe evadir operaciones críticas para la seguridad, también pueden haber considerado la capacidad de recuperación para evitar puntos únicos de falla y brindar continuidad al sistema. Se aplican tres métodos que componen la metodología de investigación. Se emplea el método descriptivo para describir la operación de equipos y máquinas de frío de la planta, se emplea el método exploratorio para medir niveles de tensión, corriente o frecuencia en equipamiento y máquinas eléctricas de la planta. Se emplea el método comparativo para evaluar y proponer plan de mejoras para asegurar que una instalación sea lo suficientemente segura para permitir operaciones satisfactorias y que tenga la capacidad suficiente para las necesidades existentes o actuales, así como de ampliaciones a futuro.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 0902822610	E-mail: erick_javier@hotmail.com.ar	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Orlando Philco Asqui		
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593-980960875		
	E-mail: luis.philco@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			