



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“Medición calidad energía del establecimiento penitenciario Bío Bío”

AUTORES:

Kevin Dilan Babileck Garcia
César Antonio Badilla Parra

SEMINARIO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO DE EJECUCIÓN EN
ELECTRICIDAD

CONCEPCIÓN – CHILE

2017



UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPTO. INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

“Medición calidad energía del establecimiento penitenciario Bío Bío”

AUTORES:

Babileck Garcia, Kevin Dilan.
Badilla Parra, César Antonio.

PROFESOR GUÍA:

Esparza Henríquez, Vladimir.

PROFESORES CORRECTORES:

Vera Lara, Raúl.

Salgado Díaz, Fabricio.

Dedicatoria

Sr. Kevin Babileck Garcia:

Dedicado a mis padres, German y Jacqueline, los cuales formaron de mí la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que incluyo este.

A mis hermanos Franco, Vanessa, Ricardo, Sergio, German y Gustavo que han estado en todo mi proceso de formación.

Sr. César Badilla Parra:

Dedico este seminario a mi familia, en especial a mis padres Ramón y Elizabeth ya que ellos me dieron una carrera para mi futuro, gracias por los regaños, por creer en mis capacidades y por enseñarme a crecer como persona. Agradezco también esto a mis dos hermanos Ramón y Javier que me brindaron su apoyo cuando los necesite nunca dude de ustedes. Esto lo logre también por ti hija mía Valentina tú eres mi motivación más grande para seguir a adelante.

Agradecimientos

De forma muy especial queremos agradecer al ingeniero a cargo de la empresa SODEXO, Javier Badilla quien nos abrió las puertas para desarrollar el proyecto de título y a Don Manuel Retamal, que jugó un rol importante facilitándonos las herramientas para poder realizar este seminario.

Además, mencionar amigos, profesores y profesor guía Vladimir Esparza, de los cuales nos llevamos las mejores enseñanzas y recuerdos.

Índice

Objetivos.....	8
Resumen.....	9
Introducción.....	10
CAPITULO 1:.....	11
ANTECEDENTES DEL CENTRO DE CUMPLIMIENTO PENITENCIARIO BÍO BÍO.	11
1.1 Reseña Histórica de Concepción.....	12
CAPÍTULO 2:.....	15
MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Tipos de carga.....	16
2.1.1 Cargas lineales.....	16
2.1.2 Cargas no lineales.....	17
2.2 Fenómenos electromagnéticos.....	18
2.2.1 Transitorios.....	18
2.2.2 Interrupciones.....	20
2.2.3 Bajada de tensión (SAG).....	22
2.2.4 Aumento de tensión (Swell).....	23
2.2.5 Distorsión de la forma de onda.....	24
2.2.6 Fluctuaciones de tensión.....	31
2.2.7 Variaciones de frecuencia.....	33
CAPÍTULO 3:.....	34
DESCRIPCIÓN DEL RECINTO PENITENCIARIO Y ANALIZADOR HIOKI 3196.....	34
3.1 Aspectos generales.....	35
3.2 Descripción de los elementos.....	37
3.2.1 Transformador de distribución de 1000 kVA.....	37
3.2.2 Transformador de distribución 750 kVA.....	38
3.2.3 Generador de emergencia.....	39
3.2.4 Banco de condensadores de 6 pasos.....	40
3.3 ¿Qué es un analizador de calidad energética?.....	42
3.4 Analizador Hioki 3196.....	42
3.4.1 Conexiones.....	42
3.4.2 Conectividad.....	43
3.4.3 PQA-HIVIEW PRO 9624-50.....	43

CAPÍTULO 4:	45
ANÁLISIS DE MEDICIONES DE LA RED ELÉCTRICA DEL CENTRO PENITENCIARIO BÍO BÍO.	45
4.1 Programación de la medición.	46
4.1.1 Duración del monitoreo.	46
4.1.2 Instalación del equipo.	46
4.1.3 Configuración del instrumento.	46
4.1.4 Descarga de datos del analizador.	47
4.2 Reporte de los datos obtenidos.	48
4.2.1 Voltaje rms por fase	48
4.2.2 Corriente rms por fase.	50
4.2.3 Frecuencia del sistema.	52
4.2.4 Potencia activa (P).	53
4.2.5 Potencia aparente (S).	54
4.2.6 Potencia reactiva (Q).	54
4.2.7 Factor de potencia (FP).	55
4.2.8 Armónicos de voltaje.	56
4.2.9 Armónicos de corriente.	60
4.2.10 Espectro de armónicos de voltaje, corriente y potencia activa.	65
4.2.11 Inter-armónicos de corriente	67
4.2.12 Flickers.	69
4.2.13 Demanda	71
4.2.14 Consumo	72
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	73
Bibliografía	76
ANEXO 1	77
Tablas de límites de armónicos de tensión y de corriente	77
ANEXO 2	81
Especificaciones técnicas analizador HIOKI 3196	82

Objetivos.

Objetivo general.

Realizar estudio de la red eléctrica del centro penitenciario Bío Bío estableciendo el estado actual de su calidad de energía, si es necesario, corregir deficiencias en el sistema con la finalidad de obtener una calidad de energía de acuerdo a las normas nacionales e internacionales vigentes.

Objetivos específicos.

- Estudiar la instalación del recinto.
- Estudiar el equipo analizador junto a su programa.
- Establecer el estado real de la calidad de energía en las instalaciones eléctrica de la Penitenciaría.
- Realizar mejoras cuando la situación lo amerite (ejemplos. mejorar el factor de potencia, armónicos, SAG, SWELLS y flickers.)

Resumen

El presente seminario muestra la medición de la calidad de la energía eléctrica en el establecimiento penitenciario Bío Bío, ubicado en la ciudad de Concepción, VIII Región, Chile.

Debido a las remodelaciones que se realizan en la actualidad en el centro de cumplimiento penitenciario Bío Bío, donde en un futuro se implementará paneles fotovoltaicos en las techumbres del recinto y además del cambio de las luminarias exteriores de halógenas a led, el recinto se ve en la necesidad de realizar un monitoreo de parámetros eléctricos esenciales para evaluar el estado actual en la que se encuentra la instalación.

Este estudio se realiza con un analizador industrial de la marca "HIOKI", modelo 3196, el cual permite averiguar el estado de la Calidad de Energía del recinto, donde se comparan y analizan los resultados obtenidos de esta medición con la norma Chilena vigente (Norma técnica de calidad y servicio, además de los decretos supremos estipulados por el SEC), donde se obtuvo que el recinto consta de una instalación bajo los regímenes permitidos tanto en variaciones de voltaje, frecuencia, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, variaciones corriente y factor de potencia, salvo en algunas ocasiones donde se presentaron problemas típicos ocasionados por perturbaciones eléctricas tales como los armónicos de corriente, flicker y el factor de potencia.

Introducción

El presente proyecto, tiene como objetivo mejorar la calidad de energía del centro de cumplimiento penitenciario Bío Bío. Se llevará a cabo estudiando la red eléctrica del establecimiento con el analizador industrial de la marca "HIOKI", modelo 3196, que cumple con las características que se requieren para este tipo de mediciones. Para esto será necesario conocer más a fondo las diferentes características y funciones del analizador a utilizar, al igual que conocimientos previos para comprender el análisis.

Para lo anterior, este trabajo se encuentra desglosado de la siguiente forma:

El **capítulo 1** Hace mención a la reseña histórica de Concepción y del Recinto penitenciario Bío Bío.

En el **capítulo 2** Se encuentra el marco teórico, el cual es la base donde se sustentará el análisis de este trabajo.

En el **capítulo 3** Se describen las características eléctricas del recinto, además del analizador utilizado para realizar las mediciones con su respectivo programa.

En el **capítulo 4** Se realiza el análisis de los gráficos y datos obtenidos del estudio de calidad de energía.

En el **capítulo 5** se redactan las conclusiones obtenidas y las recomendaciones para mejorar la calidad de energía.

CAPITULO 1:

ANTECEDENTES DEL CENTRO DE CUMPLIMIENTO PENITENCIARIO BÍO BÍO.

1.1 Reseña Histórica de Concepción.

Concepción es una comuna y ciudad chilena perteneciente al área metropolitana de el gran Concepción, y es la capital de la región del Bío Bío. El núcleo urbano de Concepción ejerce un significativo impacto en el comercio nacional al ser parte de la región con más industrialización del país.

Limita al norte de Hualpén, Talcahuano y Penco; al sur con Chiguayante y Hualqui; al este con la comuna de Florida y al oeste con el río Biobío y las comunas de San Pedro de la Paz, Coronel y Lota. Antiguamente se localizaba en la Bahía de Concepción, en el territorio que actualmente ocupa la localidad de Penco, su gentilicio, “penquista”, deriva de su primera ubicación. La ciudad es marcada geográficamente al encontrarse a los pies de la Cordillera de las Costa.

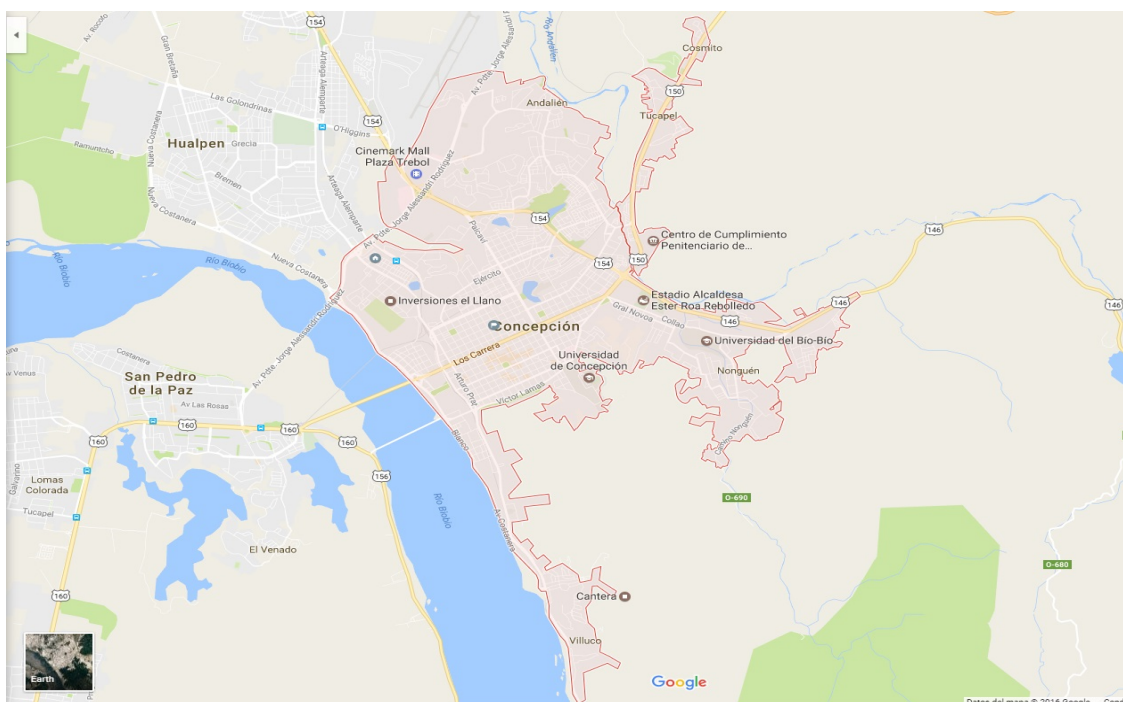


Figura 2.1: “Ubicación de Concepción, en la región del Bio Bio.”

1.2 Reseña Histórica del centro de cumplimiento penitenciario Bío Bío.

En el año 1985 se da inicio a la construcción de la cárcel “El manzano” (llamado así por el nombre del fundo comprado para su edificación) ubicado en camino a Penco #450 y con una superficie de 37.000 m^2 , este llegaría a reemplazar el antiguo penal ubicado en Chacabuco 70, donde actualmente se emplaza un supermercado.

Su inauguración vendría cuatro años después en el año 1989 en el gobierno del ex presidente Augusto Pinochet, contaba con una capacidad para albergar a 1200 reos el cual era un 28,9% de la población penal regional.



Figura 1.5: *“Imagen satelital del Centro de cumplimiento Penitenciario Bío Bío.”*

En el año 2007, por motivos de hacinamiento, se inicia la construcción del “Centro de penitenciario Bío Bío” o más conocido como “El manzano II”. Esta cárcel, de un principio vendría siendo la ampliación del antiguo penitenciario, a diferencia que tendría una administración de carácter concesionado por la empresa SODEXO, la cual se encargaría de todo lo relacionado con la mantención del centro, como lo es la mantención de la infraestructura, servicios de alimentación y suministro eléctrico.

Por consecuente el año 2010, a tan solo meses de la entrega de la nueva cárcel, se produjo el terremoto que afectó al gran Concepción, en donde El manzano es el principal perjudicado con serios daños en su infraestructura. Por otro lado, el centro penitenciario resulta con daños de menor gravedad debido a que aún se encontraba desequipada, es así como el año 2011 comienza a funcionar con normalidad.

CAPÍTULO 2:

MARCO TEÓRICO.

2.1 Tipos de carga

2.1.1 Cargas lineales

Las cargas lineales se caracterizan por no variar su valor óhmico en el ciclo de voltaje, es decir, la corriente incrementa y disminuye proporcionalmente respecto al voltaje aplicado [1].

En la figura 2.1 se puede observar las formas de onda de la corriente respecto a un voltaje sinusoidal, en donde:

- **I_r** : Corriente de un circuito resistivo, en donde la corriente está en fase con el voltaje.
- **I_c** : Corriente de un circuito capacitivo, en donde la corriente adelanta al voltaje.
- **I_L** : Corriente de un circuito inductivo, en donde la corriente atrasa al voltaje.

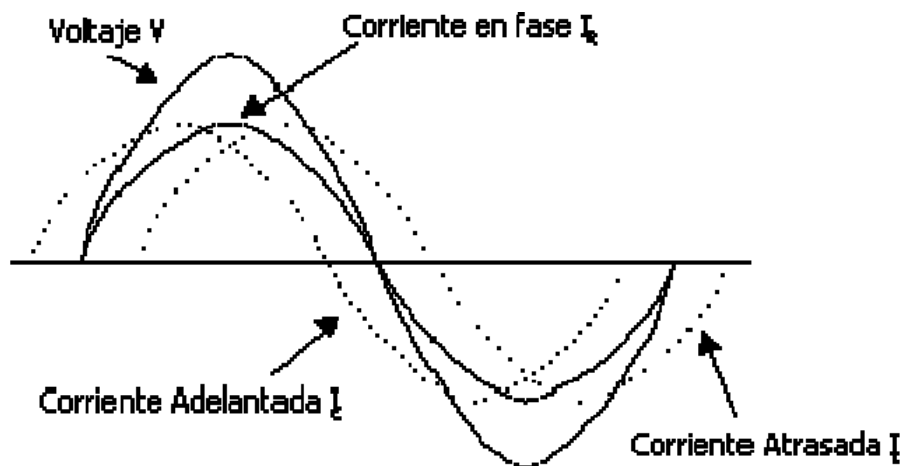


Figura 2.1: “**Formas de onda de voltaje y corrientes en una carga lineal.**”

Con cargas lineales, sea una resistencia, una inductancia, un capacitor, o bien, la combinación de estas tres, la relación entre voltaje y corriente es lineal, esto quiere decir que una señal de voltaje aplicado a cualquiera de estos circuitos, la corriente siempre obedecerá a la ley de Ohm, la cual establece que:

$$V(t) = I(t) \times R \quad (2.1)$$

Dónde:

V (t): Voltaje, en volts

I (t): Corriente, en amperes

R: Resistencia, en ohm.

Y con esto la relación entre volts y amperes es una línea recta, esta relación es mostrada en la figura 2.2, en donde se observa la proporcionalidad directa entre ambos.

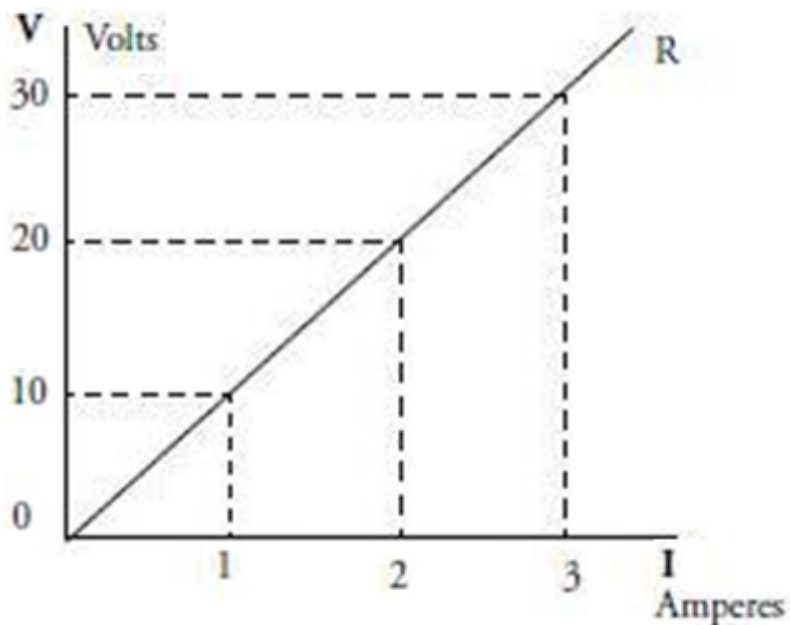


Figura 2.2: ***“Curva del comportamiento de una carga lineal.”***

2.1.2 Cargas no lineales.

Una carga no lineal es aquella que produce corrientes de forma diferentes a las sinusoidales, cuyo paso por la impedancia provoca una caída del voltaje no sinusoidal lo cual produce una deformación del voltaje en terminales [1].

2.2 Fenómenos electromagnéticos.

En la actualidad el uso de cargas no lineales en la electrónica de potencia como la fabricación de dispositivos modernos, que nos han brindado comodidad en la vida cotidiana, a su vez, ha traído fenómenos eléctricos que contribuyen a la contaminación de las redes eléctricas.

2.2.1 Transitorios.

Los transitorios son eventos indeseables en el sistema que son de naturaleza momentánea, este tipo de perturbación es la más perjudicial para la instalación, se dividen en:

2.2.1.1 Transitorio impulsivo

Los transitorios impulsivos son eventos repentinos que suelen ocurrir en cosa de nanosegundos, son eventos que elevan la tensión y/o los niveles de corriente con una polaridad unidireccional [2].

Un ejemplo de un transitorio impulsivo positivo causado por un evento de descarga atmosférica se observa en la figura 2.3.

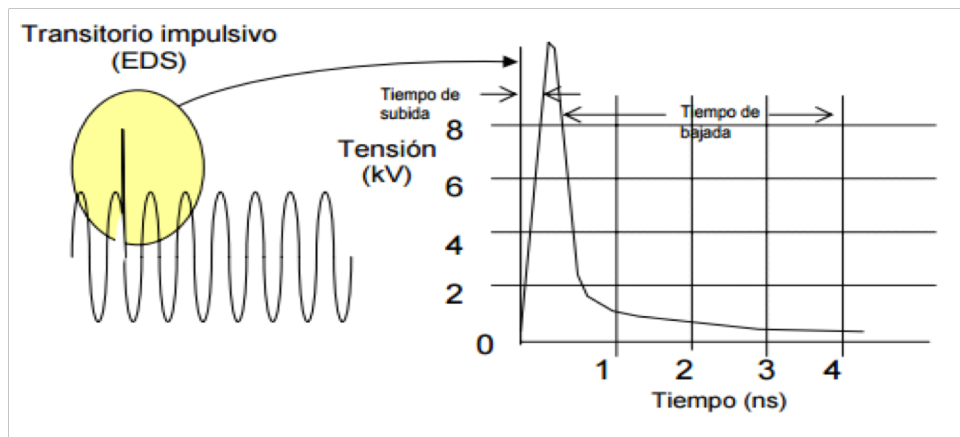


Figura 2.3: “Forma de onda de un transitorio impulsivo positivo.”

Las principales causas de este fenómeno son los rayos, las puestas a tierra deficientes, las descargas electroestáticas (ESD) y encendido de cargas inductivas. Los resultados van desde las pérdidas de datos hasta el daño permanente en equipos electrónicos.

Los métodos de protección más viables contra los transitorios impulsivos consisten en la eliminación la ESD potencial, y el uso de dispositivos de supresión de sobretensiones (popularmente conocidos como de supresores de sobretensión transitoria: TVSS, o Dispositivo de protección contra sobretensiones: SPD).

2.2.1.2 Transitorio oscilatorio

Un transitorio oscilatorio consiste en variaciones de tensión y corriente de una señal cuyos valores instantáneos cambian de polaridad rápidamente, tanto en los límites positivo como negativo de la señal. En otras palabras, hace que la señal de suministro produzca un aumento de tensión y luego una disminución de ella de forma alternada en cosa de nanosegundos [2].

El principal problema de los transitorios oscilatorios ocurre cuando se conmuta una carga inductiva o capacitiva, como un motor o un banco de condensadores que se conecta de forma automática al sistema.

En la figura 2.4 se observa un transitorio oscilatorio típico de baja frecuencia debido a la conexión de los bancos de condensadores.

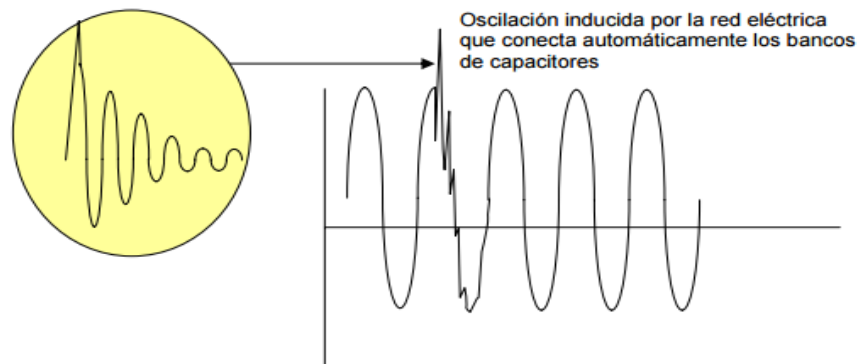


Figura 2.4: ***“Forma de onda de un transitorio oscilatorio.”***

Uno de los problemas asociados a la conexión de capacitores y su transitorio oscilatorio es el disparo de controladores de velocidad automática. El transitorio lento provoca una elevación de tensión (la tensión que controla a la activación del ASD) que hace que el mecanismo dispare fuera de línea y genere una sobretensión.

Las soluciones más comunes para el disparo de capacitores es la instalación de reactores de línea que amortiguan el transitorio oscilatorio a un nivel manejable y por otro lado es el interruptor de cruce por cero (figura 2.5) que consiste en el cierre de un interruptor cuando el voltaje sinusoidal desciende y alcanza el nivel cero (antes de cambiar de polaridad a negativa).

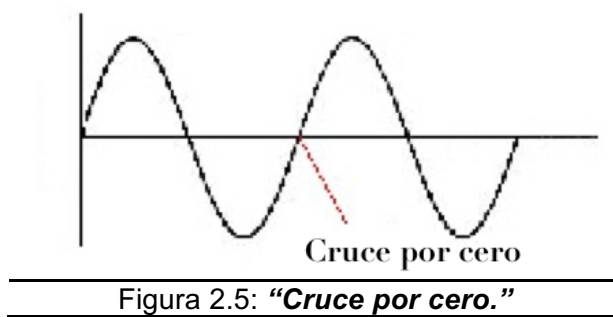


Figura 2.5: "**Cruce por cero.**"

2.2.2 Interrupciones

Una interrupción (figura 2.6) se define como la pérdida total de tensión o corriente por un periodo de tiempo y según su duración se puede clasificar como instantánea, momentánea, temporal o sostenida [2].

1. **Instantánea:** 0,5 a 30 ciclos
2. **Momentánea:** 30 ciclos a 2 segundos
3. **Temporal:** 2 segundo a 2 minutos
4. **Sostenida:** mayor a 2 minutos



Figura 2.6: ***“Interrupción momentánea.”***

Las causas de las interrupciones generalmente son el resultado de algún tipo de daño a la red eléctrica, como condiciones atmosféricas destructivas (caída de rayos, vientos fuertes, gran cantidad de nieve en las líneas.), aves, accidentes de tránsito, las ramas de árboles que hacen contacto con las líneas, la activación indeseada de los sistemas de protecciones.

Una interrupción ya sea instantánea, momentánea, temporal o sostenida, puede causar trastornos, daño y tiempos de inactividad que va desde el usuario hogareño hasta el cliente industrial. Un usuario de computadora probablemente puede sufrir la pérdida de información de datos valiosos a consecuencia de estas interrupciones, así como muchos procesos industriales cuentan con el movimiento constante de ciertos componentes mecánicos, que frente a estos eventos generan un daño a los equipos y la destrucción del producto, así como el costo asociado a la inactividad, limpieza y nueva puesta en marcha.

Cuando se corta el suministro eléctrico, los dispositivos de energía alternativa más comunes empleados son los sistemas de energía interrumpibles (UPS), los moto generadores, y el uso de técnicas de diseño de sistemas que aprovechan los sistemas redundantes y el almacenamiento de energía.

Un ejemplo de esto se observa en las computadoras portátiles, al enchufarlas recibe energía de la toma corriente de pared y parte de esta energía pasa a la batería interna de la computadora para cargarla. Cuando se desenchufa el computador, la batería instantáneamente se encarga de suministrarle energía continua al computador.

2.2.3 Bajada de tensión (SAG)

Una caída de tensión (figura 2.7) es una reducción del valor eficaz de la tensión al orden de 0,1 a 0,9 [pu] con una duración entre 0,5 ciclos a 1 minuto [2].

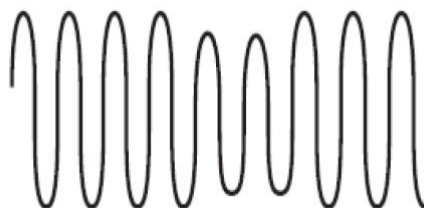


Figura 2.7: “Bajada de tensión (SAG).”

La bajada de tensión generalmente es asociado a fallas del sistema, posición incorrecta de los taps en transformadores, o como también son el resultado de encender cargas con altas demandas de corriente de arranque, como los grandes motores de una planta industrial, los que llegan a consumir siete veces su corriente nominal, o más, al momento del arranque.

Aunque la solución más eficaz sea agregar un circuito dedicado para cargas con grandes corrientes de arranque, a su vez no es lo más práctico y económico, es por eso que se han ideado soluciones alternativas de suministro de corriente que no sobrecargan al resto de la red eléctrica en el arranque de motores, como los son los partidores a tensión reducida, ya sea con autotransformadores o configuraciones estrella/delta. Más recientemente, se utilizan los mecanismos de velocidad regulable que varían la velocidad de un motor de acuerdo a la carga y soluciona el problema de arranque de estos.

2.2.3.1 Subtensión

La subtensión (figura 2.8) es definida como una reducción del valor eficaz de la tensión de 0,8 a 0,9 [pu] por un periodo superior a 1 minuto y pueden generar sobrecalentamiento de motores, lo que concluye a la falla de cargas no lineales como fuentes de alimentación de computadores [2].

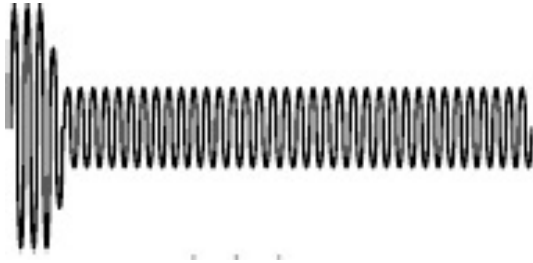


Figura 2.8: **“Subtensión”**

2.2.4 Aumento de tensión (Swell)

La subida de tensión (figura 2.9) es un aumento del valor eficaz de tensión en el orden de 1,1 a 1,8 [pu] con una duración entre 0,5 ciclos a 1 minuto [2].

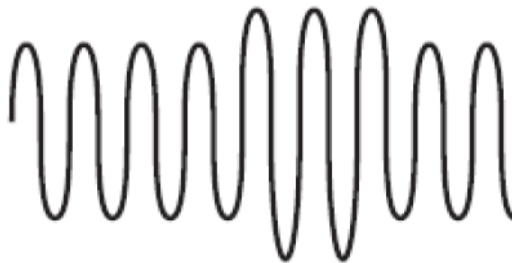


Figura 2.9: **“Aumento de tensión (SWELL)”**

Los casos más comunes de aumento de tensión son la entrada de banco de condensadores, las conexiones neutras de alta impedancia, las reducciones repentinas de grandes cargas y una falla monofásica sobre el sistema [2].

El resultado puede ser errores de datos, parpadeo de luces, daño a semiconductores en equipos electrónicos y la degradación del aislamiento. Los acondicionadores de línea de suministro, los sistemas UPS y los transformadores de aislamiento son soluciones comunes.

2.2.4.1 Sobretensión

Las sobretensiones (figura 2.10) son caracterizadas por el aumento del valor eficaz de la tensión de 1,1 a 1,2 [pu] durante un tiempo superior a 1 minuto, estas son comunes donde los valores de referencia de los taps del transformador de suministros están mal configurados y se han reducido las cargas. En otras palabras, la sobretensión es un aumento de la tensión de forma constante [2].

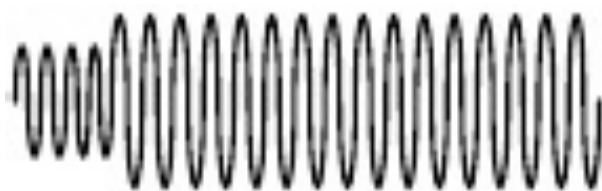


Figura 2.10: “**Sobretensión.**”

2.2.5 Distorsión de la forma de onda

La distorsión de la forma de onda es una deformación, en régimen permanente, de la forma de onda de corriente o tensión en relación a la señal sinusoidal pura.

Existen cinco tipos principales de distorsión de forma de onda:

1. **Desplazamiento por Corriente Continua**
2. **Armónicas**
3. **Interarmónica**
4. **Corte intermitente**
5. **Ruido**

2.2.5.1 Desplazamiento por corriente continua

La corriente continua (CC) puede inducirse a un sistema de distribución de corriente alterna (CA), a consecuencia de la falla de rectificadores de CA a CC [3].

La CC puede trasponer el sistema de suministro de CA y agregar corriente indeseada a dispositivos que ya están funcionando a su nivel nominal. El resultado de este fenómeno (figura 2.11) se ve reflejado en el sobrecalentamiento y la saturación de transformadores, lo que repercute en que el transformador es incapaz de entregar toda su potencia a la carga, y la subsiguiente distorsión de onda puede crear una mayor inestabilidad en los equipos electrónicos.

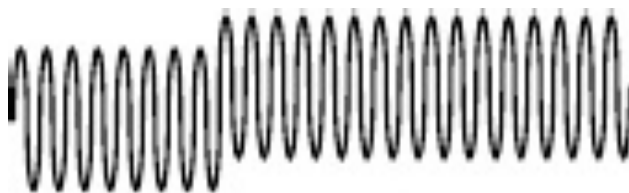


Figura 2.11: “*Desplazamiento por Corriente continua.*”

2.2.5.2 Armónicas

Las armónicas son ondas de corrientes y/o voltajes no sinusoidales presentes en un sistema eléctrico a una frecuencia múltiplo de la onda fundamental [4]. Un análisis matemático de Fourier de ondas distorsionadas por cargas no lineales muestra que ellas están compuestas de la onda seno fundamental, además de una o más ondas con una frecuencia que es un múltiplo entero de la frecuencia fundamental (por ejemplo, 150 Hz es la tercera armónica de una frecuencia fundamental de 50 Hz; $3 \times 50 = 150$).

La forma de onda resultante a causa del tercer, quinto y séptimo armónico se puede observar en la figura 2.12.

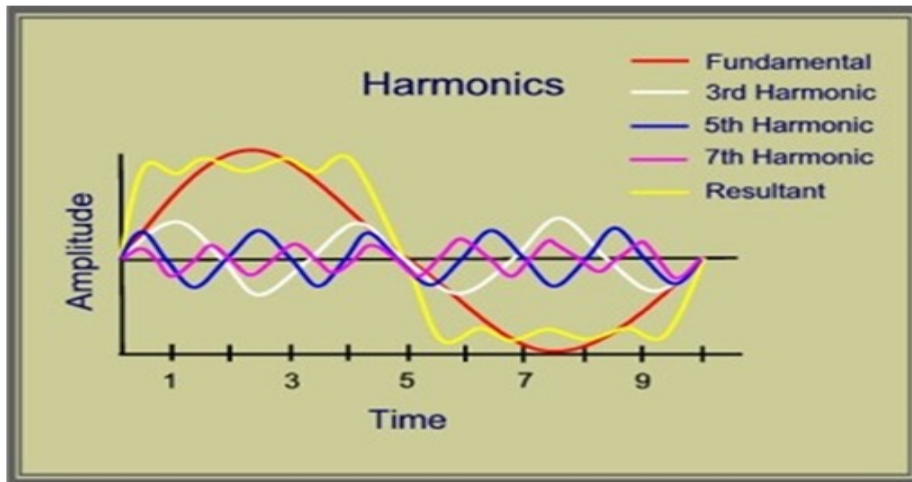


Figura 2.12: “*Distorsión de la forma de onda fundamental a causa de armónicos*”.

Algunas de las causas más comunes de presencias de armónicos en la red son:

- Fuentes de alimentación de funcionamiento conmutado (SMPS).
- Motores de velocidad variable
- Grandes unidades de UPS

Existen diferentes indicadores que permiten cuantificar y evaluar la distorsión armónica, las más conocidas son:

- Factor de potencia
- Potencia de distorsión
- Espectro de frecuencia
- Tasa de distorsión armónica

2.2.5.2.1 Factor de potencia

El factor de potencia se define como el cociente entre la potencia activa y la potencia aparente [4].

$$FP = \frac{P}{S} \quad (2.2)$$

Dónde:

FP: factor de potencia.

P: Potencia activa.

S: Potencia aparente.

En electricidad, habitualmente se confunde el factor de potencia con el coseno de phi (cos φ). El cos de phi afecta al factor de potencia debido a que mientras mayor sea el desfase entre voltaje y corriente, más potencia se está desperdiciando y por ende el cos de phi será distinto de uno, sin embargo, la distorsión de la señal principal debido a la presencia de armónicos no tiene nada que ver con el desfase, y también influye en el factor de potencia

2.2.5.2.2 Potencia activa

La potencia Activa (P) de una señal distorsionada por presencia de armónicos es la suma de las potencias activas correspondientes a las tensiones e intensidades del mismo orden.

La expresión anterior puede ser escrita matemáticamente como:

$$P = V \times I \times \cos \varphi \quad (2.3)$$

Dónde:

φ = El ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

2.2.5.2.3 Potencia reactiva

La potencia reactiva (Q) se define únicamente para la fundamental y está dada por la ecuación:

$$Q = V \times I \times \sin \varphi \quad (2.4)$$

Dónde:

φ = El ángulo de desfase entre la tensión y la corriente.

2.2.5.2.4 Distorsión armónica total

La distorsión armónica total (THD) es habitualmente utilizada para definir la importancia del contenido armónico presente en una señal. Esta es la relación entre el contenido armónico de la señal (componentes armónicas) y la señal fundamental u original, su valor se ubica entre 0% e infinito. En general una señal con muy baja distorsión armónica se refiere a un $THD < 3\%$ y con alta distorsión armónica es un $THD > 20\%$.

Para una señal de armónicos de tensión, la expresión está definida por:

$$THD_V = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + V_5^2 \dots}}{V_1} \times 100\% \quad (2.5)$$

Cuando se trata de armónicos de corriente, la expresión se convierte en:

$$THD_I = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 \dots}}{I_1} \times 100\% \quad (2.6)$$

Esta ecuación es equivalente a la mostrada a continuación, la cual es más fácil de utilizar una vez que se conoce el valor eficaz total.

$$THD_I = \sqrt{\left(\frac{I_{RMS}}{I_1}\right)^2 - 1} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dónde:

I_{rms} = Valor eficaz de la corriente.

2.2.5.2.5 Distorsión total de demanda

Es la relación entre la corriente armónica y la demanda máxima de la corriente de carga. Cuando se efectúan mediciones relacionadas con armónicas en los sistemas eléctricos, es común encontrar niveles de THD altos en condiciones de baja carga que no afectan la operación de los equipos ya que la energía distorsionante que fluye es también baja. Para evaluar adecuadamente estas condiciones se define el TDD que es el parámetro de referencia que establece los límites aceptables de distorsión en corriente.

$$TDD = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + I_4^2 + I_5^2 \dots}}{I_{Dem\ max}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dónde:

$I_{Dem\ max}$ = Demanda máxima de la corriente fundamental de carga.

2.2.5.3 Interarmónica

Los interarmónicos son tensiones o corrientes cuya frecuencia es un múltiplo no entero de la frecuencia fundamental de suministro o, dicho de otra forma, cuya frecuencia esta intercalada entre los armónicos [4]. Este fenómeno es provocado por variaciones bruscas de corrientes que originan fluctuaciones en la tensión. Entre las fuentes generadoras de interarmónicos podemos encontrar dispositivos productores de arco eléctrico, convertidores estáticos de frecuencia, motores de inducción y ciclo convertidores.

El efecto más notable de las interarmónicas es el parpadeo en los monitores de computadoras y luces incandescentes, además de causar interferencia en las comunicaciones.

Las soluciones más comunes para atenuar la presencia de interarmónicos en la red son:

- Filtros pasivos
- Sistemas de ups

2.2.5.4 Corto-Circuito

El corte es un disturbio de la tensión en donde la corriente es conmutada de una fase a otra, ocurriendo un corto circuito entre las dos fases [2]. Este fenómeno es causado por convertidores trifásicos, como lo son los controles de velocidad variable, soldadoras de arco, entre otros, durante el funcionamiento normal.

Las consecuencias usuales del corto circuito van desde el paro total del sistema, los problemas de transmisión de datos o la pérdida de estos. Una solución común es un sistema UPS.

2.2.5.5 Ruido

El ruido es una tensión o corriente sobrepuesta en la tensión del sistema de energía eléctrica principal o forma de onda de la corriente, de alta frecuencia y amplitud baja que alteran la señal principal de suministro [3].

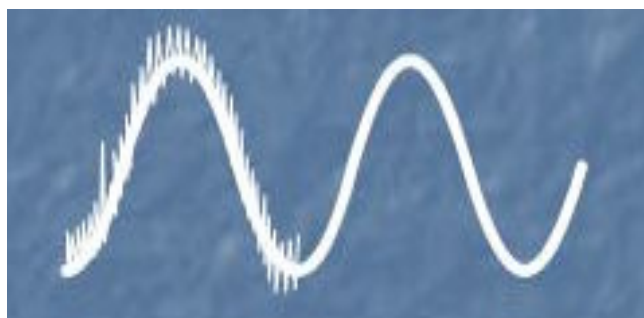


Figura 2.12: ***“Onda sinusoidal con presencia de ruido.”***

El ruido puede ser generado por dispositivos electrónicos, como lo son:

- Los transmisores radiales
- Circuitos de control
- Soldadoras al arco
- Fuente de alimentación para conexiones

La EMI (interferencia electromagnética) y la RFI (interferencia de radiofrecuencia) pueden crear corrientes y tensiones inducidas en los sistemas que transportan datos como los radios y televisores. Provocando el daño o la pérdida total de datos, dado que estos viajan en formato digital (unos y ceros representados por la tensión o falla de tensión), el exceso de tensión por sobre los niveles nominales de los datos pueden dar la apariencia de datos que no corresponden o viceversa. Un ejemplo claro de contaminación por ruido es cuando la línea de datos está próxima a la línea de alimentación, lo que aumenta considerablemente la posibilidad de ruido.

Existen muchos métodos para controlar el ruido, y algunas veces es necesario utilizar más de una técnica a la vez para lograr una menor contaminación. Algunos de los métodos más utilizados son:

- Instalar filtros pasivos para aislar el ruido
- Aislar la carga mediante una UPS
- Instalar transformadores de aislamiento blindado y con puesta a tierra.
- Blindar cables

2.2.6 Fluctuaciones de tensión (Flickers)

Una fluctuación de tensión es una variación sistemática de la forma de onda de tensión o una serie aumentos y disminuciones simultáneos, de pequeñas dimensiones, las cuales normalmente exceden el limite especificado de 95 a 105 [pu.] [4].

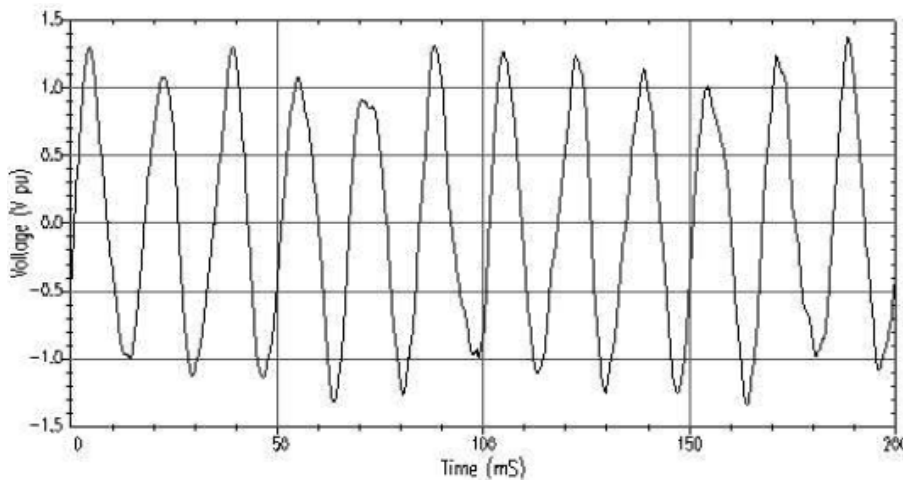


Figura 2.13: **“Onda de espectro de fluctuación de tensión.”**

El flicker (del inglés: flicker = parpadear, titilar) es un fenómeno de origen fisiológico visual, como su nombre lo indica es la variación de la luminosidad de las lámparas provocado por fluctuaciones de tensión en la red. El criterio de medición permite conocer el nivel de sensación que experimentaría un observador medio en el punto de la red en el que se conecte el medidor. El “flickermetro” proporciona sus medidas en unidades de perceptibilidad [Perceptivity Units]. El límite de admisión es igual a 1.

$$Plt = \frac{1}{12} \cdot \sqrt[3]{\sum Pst_i^3} \quad (2.9)$$

En donde:

- **Pst:** Evalúa la severidad del flicker en períodos cortos de tiempo con intervalos de observación de 10 minutos y se calcula de acuerdo a la siguiente expresión:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 \times P_{0,1} + 0,0525 \times P_1 + 0,0657 \times P_3 + 0,28 \times P_{10} + 0,08 \times P_{50}} \quad (2.10)$$

Esta expresión tiene implícita la clasificación de la señal de tensión en una función de distribución acumulada con el objeto de determinar los parámetros $P_{0,1}$, P_1 , P_3 , P_{10} y P_{50} que corresponden a los niveles de la señal de tensión que están excedidos el 0,1%, 1%, 3%, 10% y 50% del tiempo, respectivamente.

- **Plt:** Evalúa la severidad del flicker a largo plazo, con intervalos de observación de 2 horas.

Los niveles de compatibilidad de la severidad del flicker en baja y media tensión es de:

$$pl_t = 1[\text{pu.}] \quad \text{y} \quad pst = 0,8[\text{pu.}].$$

Las fluctuaciones de voltaje pueden originarse en la generación, pero más frecuentemente son producidas en los equipos o cargas conectadas al sistema eléctrico. Los principales generadores de fluctuaciones de voltaje son:

- Hornos del arco.
- Máquinas soldadoras.
- Alternadores (generadores eólicos e impulsados por combustión interna).
- Motores.

Entre las soluciones más eficaces y comunes se encuentran:

- Reactancias controladas para hornos eléctricos.
- Instalación de acondicionadores de línea de alimentación.
- Dispositivos UPS.

2.2.7 Variaciones de frecuencia.

La variación de frecuencia no es común en sistemas eléctricos estables, especialmente en sistemas eléctricos de potencia [3]. Este fenómeno, como su nombre lo indica, es la variación de la frecuencia de la forma de onda principal de tensión y puede llegar a ocurrir debido a la interconexión de los centros de generación aislada de tensión como lo pueden ser redes eléctricas rurales aisladas que obtienen energía a partir de generadores de combustión interna, generadores eólicos, plataformas de explotación petrolera y paneles fotovoltaicos.

El gran problema de que existan variaciones de frecuencia en un sistema eléctrico se ve reflejado en motores o dispositivos sensibles que dependan del ciclado de tensión del suministro. Estas variaciones provocan que los motores funcionen más rápido o más lento debido a que la velocidad de un motor depende de la frecuencia de entrada, lo que haría que el motor funcione ineficazmente y/o provocaría más calor y acortamiento del tiempo de vida útil de este.

Para corregir este problema, se puede lograr con:

- Reguladores de tensión.
- Reactancias controladas, Conjunto motor-generator.
- Partidores suaves de motores.

CAPÍTULO 3:

DESCRIPCIÓN DEL RECINTO PENITENCIARIO Y ANALIZADOR HIOKI 3196

3.1 Aspectos generales

El recinto penitenciario desde el punto de vista eléctrico, se encuentra conectado a través de una línea aérea de 15 kV, proporcionada por la Compañía General de Electricidad. (C.G.E). La línea aérea pasa por un reconector de M.T de 15 kV, el reconector se encuentra montado en un poste ubicado en las afueras del recinto, al igual que el equipo de medida de M.T de 15 kV. Desde el poste mencionado llega a una celda remonte clase 15 kV mediante canalización subterránea, donde se subdivide a la celda desconectador fusible 15 kV, clase 200 (A), del trafo N°1 y a la celda desconectador fusible 15 kV, clase 200 (A), del trafo N°2.

En la figura 3.1, se puede observar el diagrama unilineal del establecimiento, que muestra el tablero general de alumbrado, fuerza y computación de emergencia (T.G.A.F y Comp) en el cual se señala el punto donde se instaló el analizador (conectado al secundario del T/C de 1200/5 A).

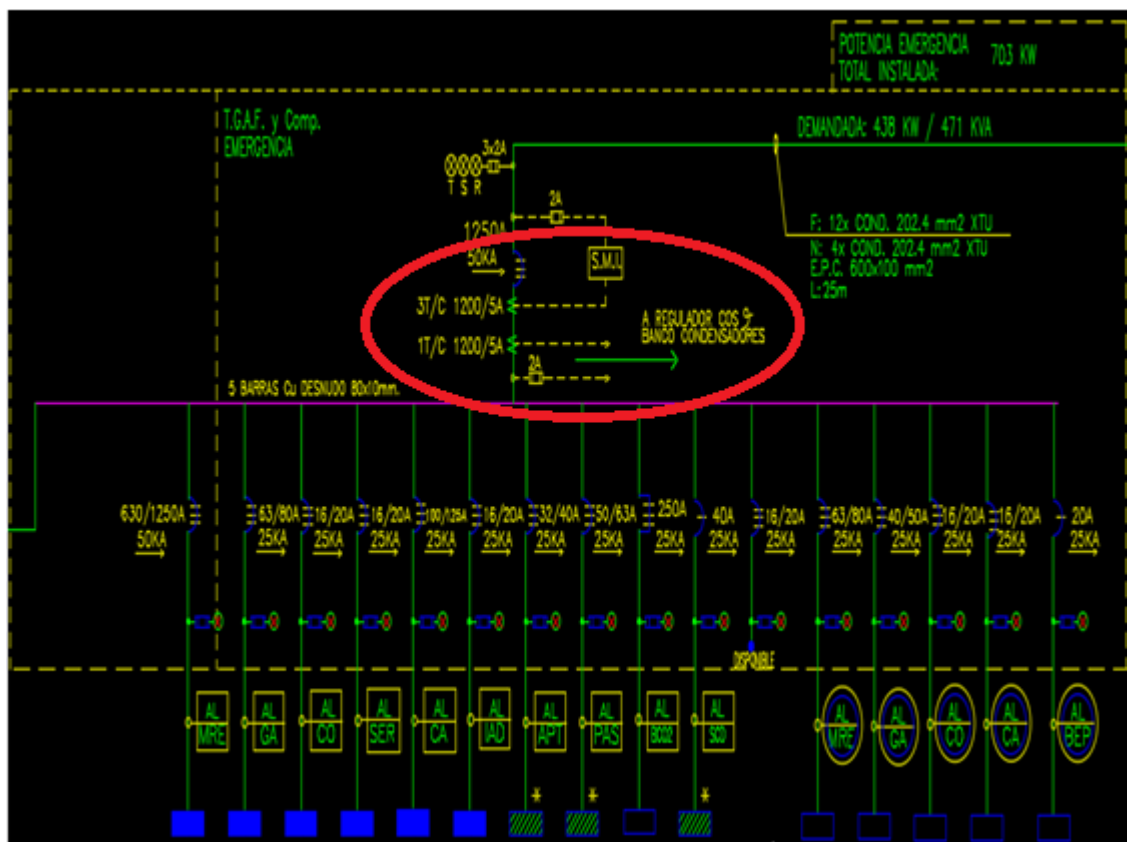


Figura 3.1: “Diagrama unilineal T.G.A.F y Computación”

En la figura 3.2, se observa el cuadro de carga del tablero general de alumbrado y fuerza y computación.

ALIMENTADOR	MODULO RECLUSION	GUARDIA ARMADA	COCINA	CONTROL ACCESO	BOMBA ESTAN. PETROLEO
TABLERO	T.D.Comp.	T.D.Comp.	T.D.Comp.	T.D.Comp.	T.D.F.
POT. INSTALADA KW	23,1	13,8	0,45	0,0	30
DEMANDA MAX KW	11,3	8,8	0,29	0,58	20
DEMANDA A	20	16	1	1	30,5
CORRIENTE DISEÑO A	41	25	1	2	45,6
DISTANCIA MTS	170	120	65	155	20
TIPO CONDUCTOR	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX
CONDUCTOR ACTIVO	3x1 AWG	3x4awg	3x12 AWG	3x12 AWG	3x8 AWG
NEUTRO	1x1 AWG	1x4 AWG	1x12 AWG	1x12 AWG	1x10 AWG
CONDUCTOR DE PROTECCION	1 AWG	4 AWG	12 AWG	12 AWG	1X10 AWG
CANALIZACION	ESCALERILLA	ESCALERILLA	ESCALERILLA	CONDUIT	ESCALERILLA/CAG
SECCION	400 MM	400 MM	400 MM	25 MM	400 MM / 1"φ
REGULACION %	1,8	1,4	0,2	0,7	1,8

Figura 3.2: “Cuadro de cargas de T.G.A.F y Computación.”

En la figura 3.3, se observa el diagrama unilíneal del tablero general de alumbrado, fuerza normal (T.G.A. y F normal)

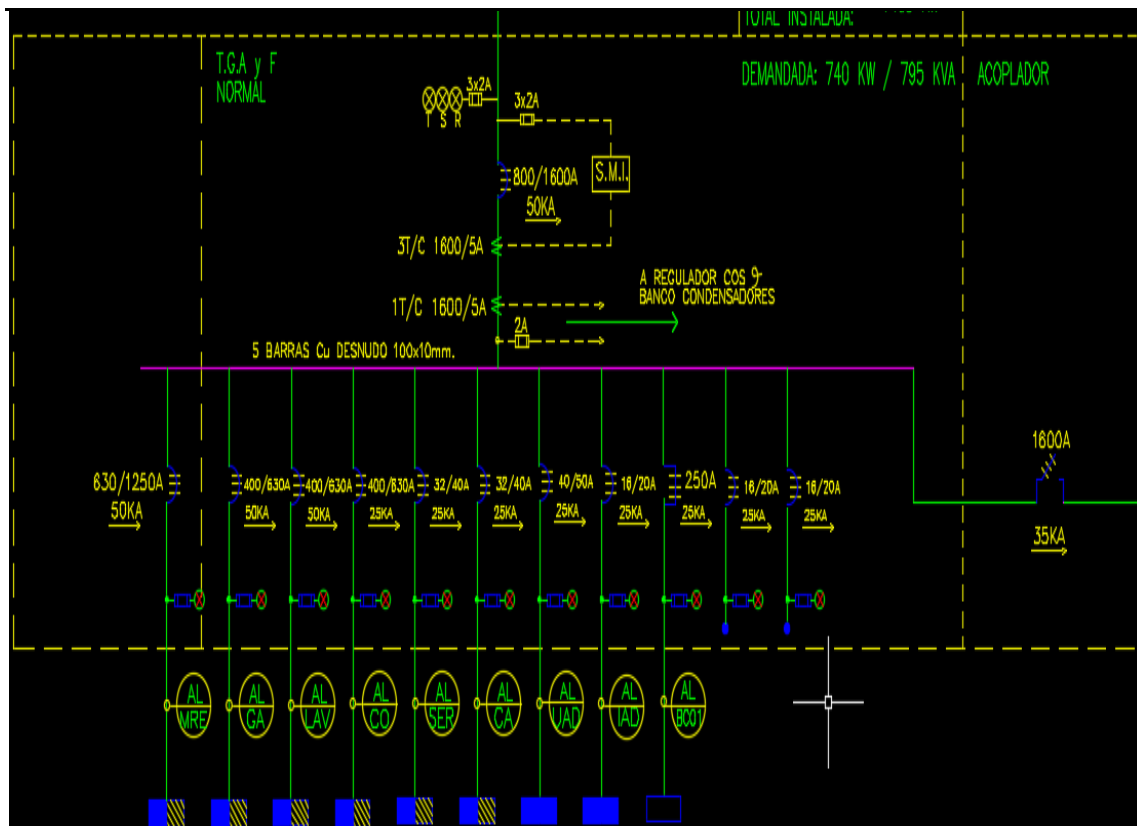


Figura 3.3: “Diagrama unilíneal T.G.A y F normal”

En la figura 3.4, se observa el cuadro de carga del tablero general de alumbrado y fuerza normal.

ALIMENTADOR	MODULO RECLUSION	GUARDIA ARMADA	COCINA	SERVICIOS	CONTROL ACCESO	ILUMINACION EDIF.ADMINIST.	PLANTA AGUA POTABLE	PLANTA ELEV. A. SERVIDA	✕ CALDERA
TABLERO	T.D.A.	T.D.A.	T.D.A.	T.D.A.	T.D.A.	T.D.A.	T.D.F.	T.D.F.	T.D.F.
POT. INSTALADA KW	505,44	26,18	7,5	1,9	51,2	4,8	17	33	30
DEMANDA MAX KW	359,1	23,8	4,5	1	30,1	3,8	6,8	22	20
DEMANDA A	642	47	8	2	54	7	12	39	30,5
CORRIENTE DISEÑO A	783	53	11	3	75	8	21	49	45,6
DISTANCIA MTS	170	120	85	130	155	115	250	120	20
TIPO CONDUCTOR	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX	MULTIFLEX
CONDUCTOR ACTIVO	5x3x500 MCM	3x2 AWG	3x10 AWG	3x12 AWG	3x3/0 AWG	3x10 AWG	3x4 AWG	3x2 AWG	3x8 AWG
NEUTRO	5x250 MCM	1x4 AWG	1x12 AWG	1x12 AWG	1x1 AWG	1x12 AWG	1x6 AWG	1x4 AWG	1x10 AWG
CONDUCTOR DE PROTECCION	1x4/0 AWG	4 AWG	12 AWG	12 AWG	1 AWG	12 AWG	6 AWG	4 AWG	1x10 AWG
CANALIZACION	ESCALERILLA	ESCALERILLA	ESCALERILLA	CONDUIT	CONDUIT	ESCALERILLA	CONDUIT	CONDUIT	ESCALERILLA/CAG
SECCION	400 MM	400 MM	400 MM	110 MM	40 MM	400 MM	40 MM	40 MM	400 MM / 1"ø
REGULACION %	2,1	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	2,6	1,8	1,6

Figura 3.4: “Cuadro de cargas T.G.A. y F normal”

3.2 Descripción de los elementos

En la sala eléctrica se encuentran 2 transformadores, Uno con una potencia de 1000 kVA y otro de 750 kVA, además un grupo eléctrico de 1000 kVA, un banco de condensadores de 6 pasos, y un desconectador de 1600 A. Cada uno de los elementos se describirá por separado en el siguiente punto.

3.2.1 Transformador de distribución de 1000 kVA

El transformador de distribución (Figura 3.5) es marca Schaffner, con una potencia de 1000 kVA y una relación de tensión de 13.2/0.4/0.231 kV. Sus características técnicas se resumen en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1 “**Características del transformador de distribución.**”

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
MARCA	SCHAFFNER
POTENCIA	1000 kVA
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ONAN
FRECUENCIA	50 Hz
LÍQUIDO AISLANTE	SILICONA
VOLTAJES NOMINALES	13.2/0.4/0.231 kV
IMPEDANCIA	5.70%
CONEXIÓN	DY1
NÚMERO DE ENROLLADOS	3
LÍQUIDO AISLANTE	ACEITE
TAPS	15.180/14.520/13.860/13.530/13.200 V



Figura 3.5: “**Vista lateral del transformador de distribución de 1000 kVA.**”

3.2.2 Transformador de distribución 750 kVA

El transformador de distribución (figura 3.6) es marca Schaffner, con una potencia de 750 kVA y una relación de tensión de 13.2/0.4/0.231 kV. Sus características técnicas se resumen en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2 “**Características del transformador de distribución.**”

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
MARCA	SCHAFFNER
POTENCIA	750 kVA
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO	ONAN
FRECUENCIA	50 Hz
LÍQUIDO AISLANTE	SILICONA
VOLTAJES NOMINALES	13.2/0.4/0.231 kV
IMPEDANCIA	5.86%
CONEXIÓN	DY1
NÚMERO DE ENROLLADOS	3
LÍQUIDO AISLANTE	ACEITE
TAPS	15.180/14.520/13.860/13.530/13.200 V



Figura 3.6: “**Vista lateral del transformador de distribución de 750 kVA.**”

3.2.3 Generador de emergencia

El recinto cuenta con un generador de emergencia (figura 3.7) de la marca FG WILSON, el cual está conectado de forma automática y su función es abastecer de energía al sistema principal en caso de que falle el suministro de energía exterior. Sus características técnicas se resumen en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3 “Características del generador FG WILSON.”

ÍTEM	DESCRIPCIÓN
POTENCIA	800 kVA PRIME
VOLTAJES NOMINALES	380/220 V
FRECUENCIA	50 HZ
FASES	3
CORRIENTE	1216 A
VELOCIDAD	1500 RMP
ALTITUD MÁXIMA	152.4 M
MÁXIMA TEMPERATURA	27 °C
CONEXIÓN DEL ALTERNADOR	ESTRELLA



Figura 3.7 “Vista frontal de botonera del generador, se ve que está en la posición de MODO AUTOMÁTICO.”

3.2.4 Banco de condensadores de 6 pasos

La instalación cuenta con un banco de condensador (figura 3.8) para el tablero general de fuerza y alumbrado NORMAL y un banco de condensadores para el tablero general de fuerza, alumbrado y computación de EMERGENCIA. Cada banco de condensadores es de 120 kVAr y tienen como función corregir el factor de potencia por medio de un regulador de 6 pasos. La figura 3.8 muestra una vista frontal de los condensadores.



Figura 3.8: “Vista frontal de los condensadores”

3.2.5 Acoplador

El sistema eléctrico de la cárcel cuenta con un acoplador cuya función es unir las barras de tablero general de alumbrado, fuerza y computación (T.G.A.F y Comp. Emergencia) con el tablero general alumbrado y fuerza (T.G.A y F NORMAL). Este sistema se utiliza para realizar mantenciones o en caso de que se necesite trabajar con energía del grupo electrógeno. La figura 3.9 es una vista frontal del acoplador.



Figura 3.9 “Vista frontal de acoplador en la posición de desconectado.”

3.3 ¿Qué es un analizador de calidad energética?

Un analizador industrial de calidad energética es un instrumento de medición que permite monitorear y almacenar parámetros y fenómenos eléctricos relacionado con la calidad de suministro de potencia, para así controlar la calidad de energía que está siendo utilizada por sus aplicaciones y dispositivos, obteniendo los resultados en forma de histograma y/o gráficas. Esto permitirá al usuario aumentar la fiabilidad de su sistema de energía a través del tiempo.

3.4 Analizador Hioki 3196

El analizador de calidad energética “HIOKI 3196” es un dispositivo de redes Trifásico, capaz de monitorear prácticamente todos los parámetros eléctricos como lo son:

- Fenómenos transitorios sobretensión (impulso)
- Caída de voltaje
- Flickers (parpadeo)
- Interrupciones instantáneas
- Armónicos
- Factor de desequilibrio

3.4.1 Conexiones

- En la parte posterior, el equipo cuenta con 4 canales de voltajes y 4 canales de corrientes para realizar mediciones en sistemas trifásicos incluyendo voltajes y corrientes línea a neutro. Además, con este canal extra se pueden realizar mediciones de entrada de voltaje, corriente continua y salidas de corriente alterna (figura 3.10).

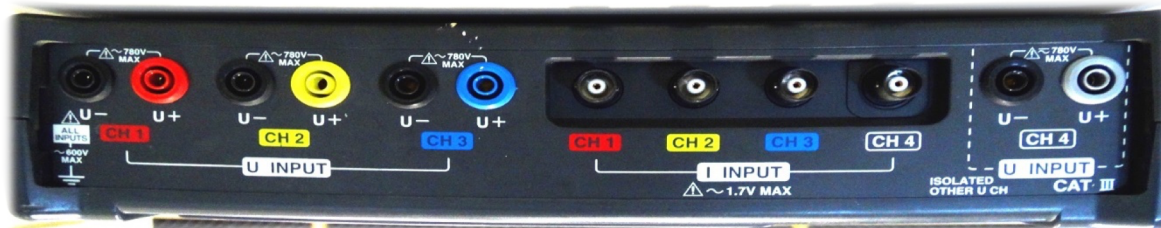


Figura 3.10: “**Parte posterior del equipo HIOKI 3196.**”

3.4.2 Conectividad

- **Ranura para memoria extraíble**

Para los estudios de calidad de energía, en el costado derecho el analizador cuenta con una entrada de memoria denominada “pc CARD” con una capacidad de 528 megabyte lo que equivale a 31 días de medición continua (figura 3.11).

- **Conexión LAN**

- El equipo cuenta con un servidor http para permitir una fácil configuración y análisis de datos a través de un navegador web desde una ubicación remota. Además de este puerto se pueden descargar los datos almacenados en la memoria interna y externa del dispositivo (figura 3.12).

- **Puerto RS-232C**

El puerto RS-232C, al conectar una impresora nos ayuda a obtener de manera rápida una copia en papel de las pantallas y graficas del dispositivo (figura 3.11).



Figura 3.11: *“Lateral derecho del equipo HIOKI 3196.”*



Figura 3.12: *“Lateral izquierdo del equipo HIOKI 3196.”*

3.4.3 PQA-HIVIEW PRO 9624-50

El software “PQA-HIVIEW PRO 9624-50” nos permite extraer la información del analizador, es una herramienta indispensable para la para un estudio de calidad de energía. Los parámetros que son monitoreados pueden ser graficados para tener una mayor comodidad a la hora de chequear si cumplen con las normas que los rigen y así establecer en qué estado se encuentra el sistema en cuestión. Todos los datos se pueden extraer, imprimir, y copiar fácilmente. Una de sus funciones más importantes es crear reportes, con los parámetros que el usuario necesite, los cuales son guardados en una planilla en Word [5].

A continuación, se presenta un esquema que identifica las barras de herramientas y ventanas de medición que uno encuentra al abrir algún archivo. (Figura 3.13).



Figura 3.13: **“Esquema de software con funciones básicas.”**

CAPÍTULO 4:

**ANÁLISIS DE MEDICIONES DE LA RED ELÉCTRICA DEL CENTRO PENITENCIARIO
BÍO BÍO.**

4.1 Programación de la medición.

4.1.1 Duración del monitoreo.

El monitoreo de la red eléctrica inició a las 19:00 horas del día 17 de noviembre del 2016 y concluyó el 24 de noviembre del 2016, lo que da un total de 7 días continuos de medición.

4.1.2 Instalación del equipo.

La instalación del equipo se realizó con la ayuda de él ingeniero eléctrico a cargo, en la cual se utilizaron tres sensores de voltajes (tres fases) y tres sensores de corriente tipo tenaza conectados al analizador, tal como se muestra en la figura 4.1 y 4,2 respectivamente.

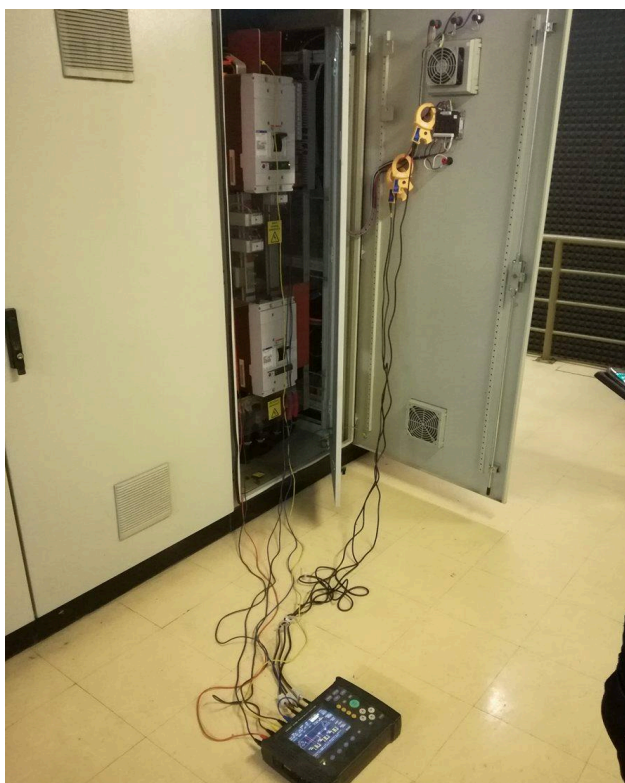


Figura 4.1: **“Conexión del analizador al tablero principal.”**



Figura 4.2: **“Conexión del analizador al tablero principal.”**

4.1.3 Configuración del instrumento.

1. Se encendió el equipo, en donde se ajustó a la hora y fecha actual.
2. Se selecciona el tipo de conexión que se desea, en este caso era trifásico en conexión delta a 50 Hertz.
3. Se selecciona el tipo de sensor de corriente (figura 4.3) que se utiliza para la medición. Para la medición se usó un sensor de corriente modelo 9661, tipo tenaza, con una capacidad de corriente de 500(A).



Figura 4.3: “Sensor de corriente modelo 9661.”

4. Se selecciona los parámetros de medición que se desean almacenar, de las cuales se selecciona frecuencia, voltaje (V_{peak+} , V_{peak-}), corriente (I_{peak+} , I_{peak-}), potencias P,Q y S, factor de potencia, armónicos de voltaje y corriente, flickers y demanda total.
5. Se conecta los sensores de voltaje (3 positivos y 3 negativos) a cada una de las barras del tablero principal y los tres sensores de corriente tipo tenaza al secundario de un transformador de corriente tipo ventana, con una razón de transformación de 1200/5 instalado en el tablero principal.
6. Se inicia la medición durante el periodo ya mencionado.

4.1.4 Descarga de datos del analizador.

Debido a que los datos almacenados en la memoria interna del analizador están en el formato binario y con el fin de obtener una mejor visualización e interpretación de los eventos ocurridos en la medición, es necesario instalar el programa “PQA-HIVIEW PRO 9624-50” en tu computador personal.

1. Para la descarga de datos desde el analizador al computador, se utiliza un cable de red simple. El extremo receptor se conecta en el computador y el extremo emisor al analizador.
2. Al abrir el programa, en la barra menú de la esquina superior izquierda apriete el botón “descargar”, seleccione el analizador 3196 y digite la dirección IP del equipo como se muestra en la figura 4.4.

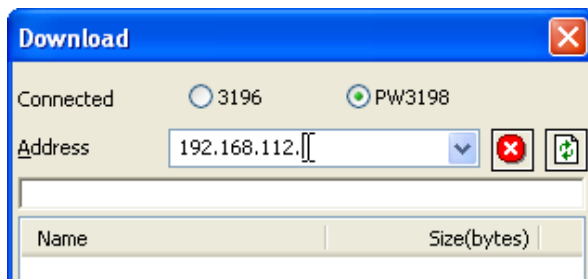


Figura 4.4: “Configuración software para la descarga de datos.”

3. Una vez elegido el analizador, haga clic en el botón actualizar. Se desprenderá una lista con todos los datos almacenados en la memoria interna del equipo, busque el que necesite, presione descargar y seleccione el destino en donde desea guardarlo.

4.2 Reporte de los datos obtenidos

4.2.1 Voltaje rms por fase

Cada muestra de voltaje obtenida es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

Según (SEC, 1997), en su Artículo 243° del D.S 237/97 [6], las variaciones permitidas para las diversas tensiones existentes en sistemas eléctricos que operan a una frecuencia nominal de 50 Hz en baja tensión es de $\pm 7,5\%$ con respecto a la tensión nominal.

4.2.1.1 Voltaje rms línea 1.

- Valor máximo de voltaje: 404.53 [V]
- Valor promedio de voltaje: 395.50 [V]
- Valor mínimo de voltaje: 387.38 [V]

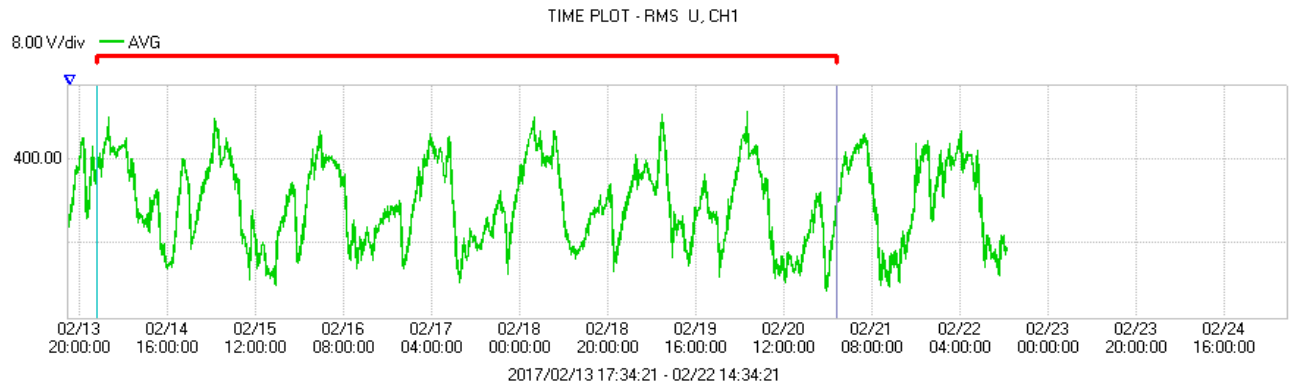


Gráfico 4.3: "Voltaje RMS de la línea 1."

4.2.1.2 Voltaje rms línea 2.

- Valor máximo de voltaje: 406.11 [V]
- Valor promedio de voltaje: 397.14 [V]
- Valor mínimo de voltaje: 388.76 [V]

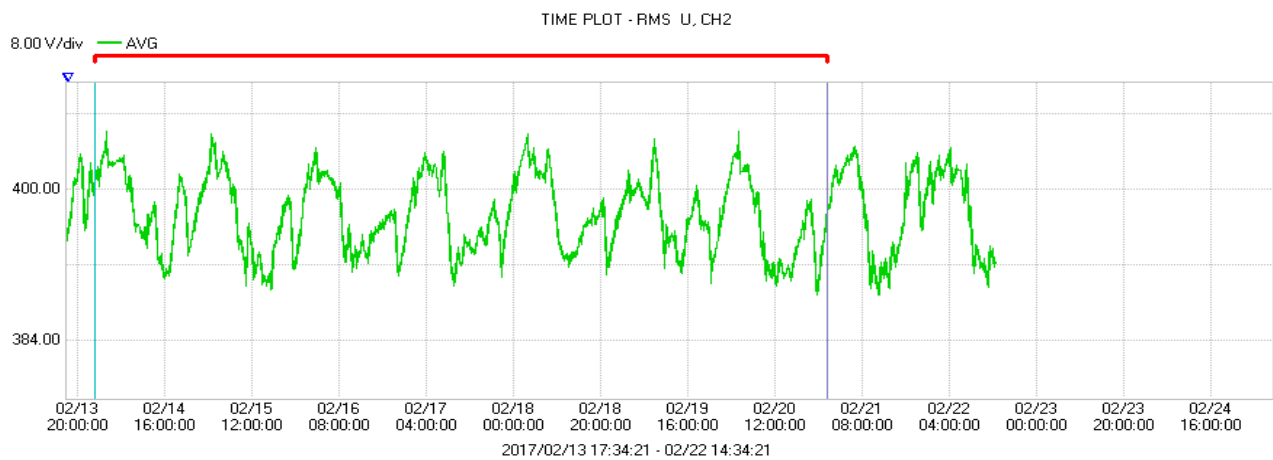
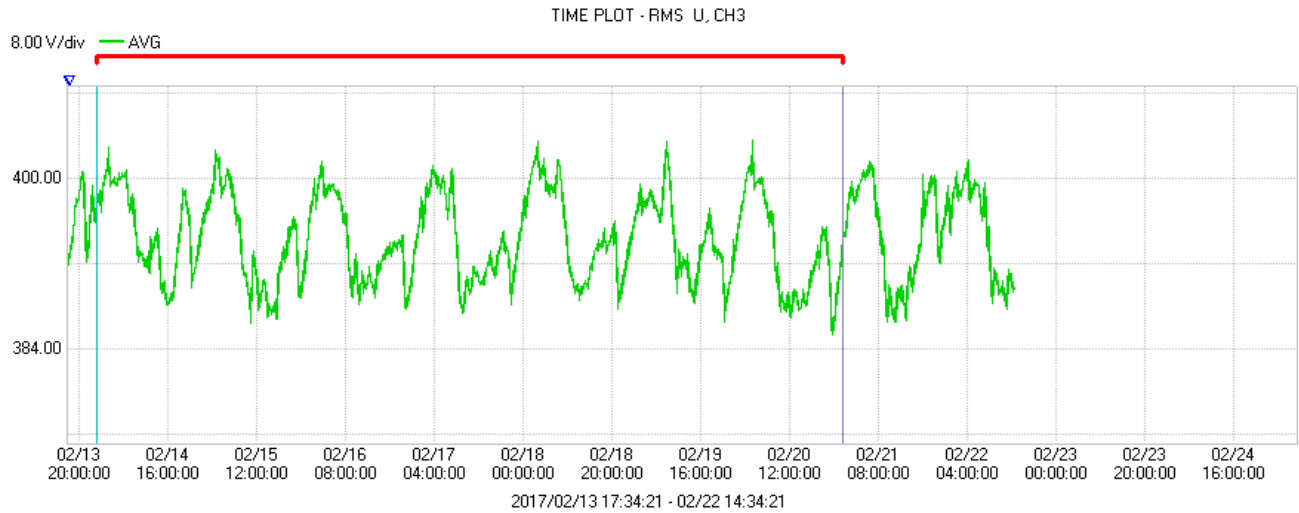


Gráfico 4.2: "Voltaje RMS de la línea 2."

4.2.1.3 Voltaje rms línea 3.

- Valor máximo de voltaje: 403.57 [V]
- Valor promedio de voltaje: 394.20 [V]
- Valor mínimo de voltaje: 385.36 [V]



Graficó 4.3: “Voltaje RMS de la línea 3.”

Como se puede apreciar, en ningún momento los voltajes superaron los rangos permitidos de 7.5% permitido, de lo que podemos concluir que el valor del voltaje RMS está dentro de norma.

4.2.2 Corriente rms por fase.

Cada muestra de corriente obtenida es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

Recordar que las muestras de corriente fueron obtenidas a través de un transformador de corriente de 1200/5, por lo que hay que amplificar en la misma razón.

4.2.2.1 Corriente rms línea 1.

- **Valor máximo de corriente:** $2,33 \text{ [As]} \times 1200/5 = 559,2 \text{ [A]}$
- **Valor promedio de corriente:** $1,80 \text{ [As]} \times 1200/5 = 423 \text{ [A]}$
- **Valor mínimo de corriente:** $1,19 \text{ [As]} \times 1200/5 = 285,6 \text{ [A]}$

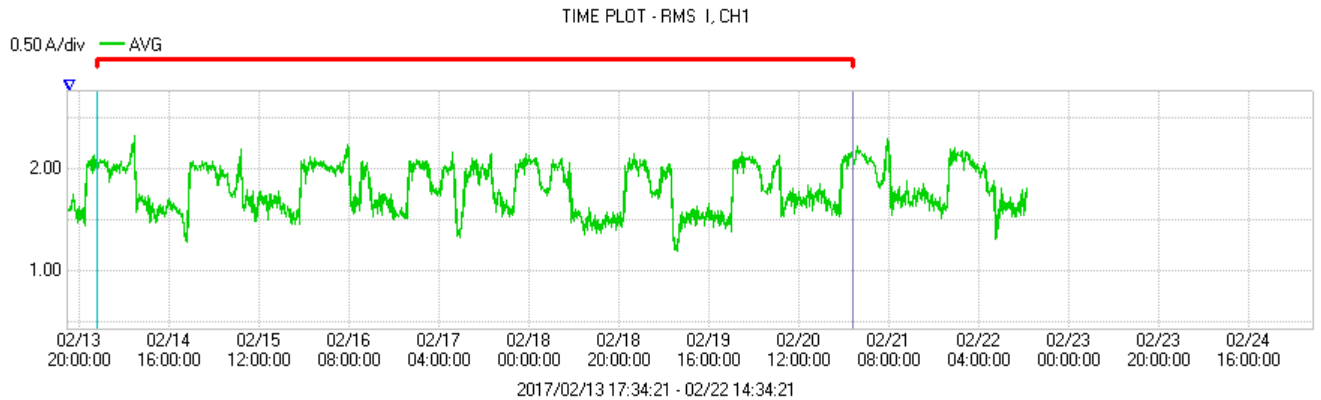


Gráfico 4.4: “Corriente RMS de la línea 1.”

4.2.2.2 Corriente rms línea 2

- **Valor máximo de corriente:** $2,05 \text{ [As]} \times 1200/5 = 492 \text{ [A]}$
- **Valor promedio de corriente:** $1,59 \text{ [As]} \times 1200/5 = 381,6 \text{ [A]}$
- **Valor mínimo de corriente:** $0,96 \text{ [As]} \times 1200/5 = 230,4 \text{ [A]}$

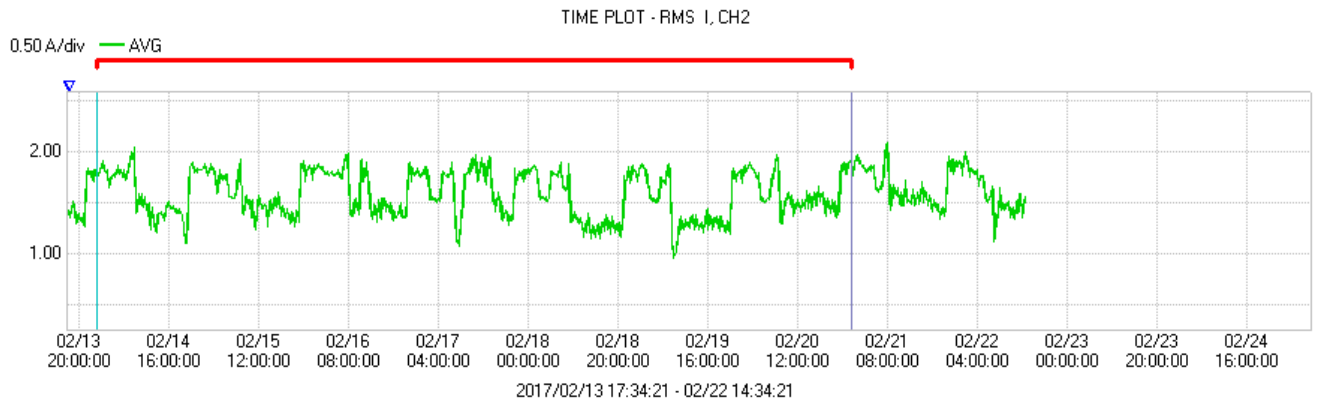


Gráfico 4.5: “Corriente RMS de la línea 2.”

4.2.2.3 Corriente rms línea 3.

- **Valor máximo de corriente:** $2,18 \text{ [As]} \times 1200/5 = 523,2 \text{ [A]}$
- **Valor promedio de corriente:** $1,72 \text{ [As]} \times 1200/5 = 412,8 \text{ [A]}$
- **Valor mínimo de corriente:** $1,17 \text{ [As]} \times 1200/5 = 280,8 \text{ [A]}$

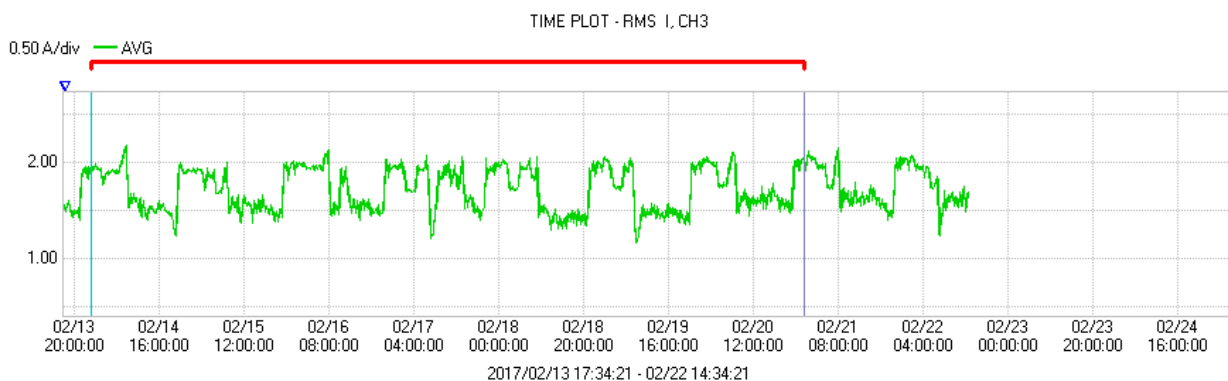
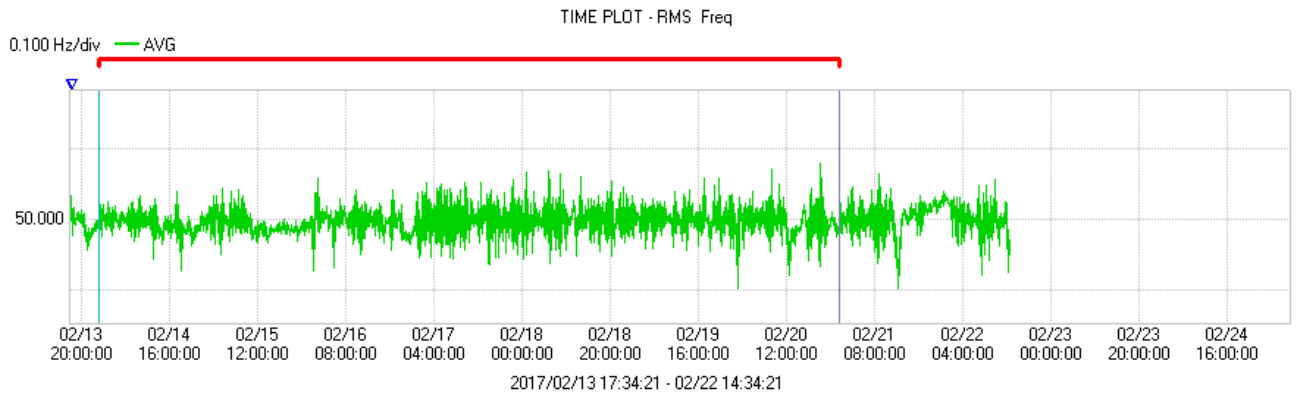


Gráfico 4.6: “Corriente RMS de la línea 3.”

4.2.3 Frecuencia del sistema.

Según NSEG 8. E.n.75. “Electricidad tensiones normales para sistemas e instalaciones” [11], en condiciones normales de operación, todos los sistemas eléctricos alimentados por tensiones alternas, deberán operar a una frecuencia de 50 Hz.

- **Valor máximo de frecuencia:** 50,080 [Hz]
- **Valor promedio de frecuencia:** 49,996 [Hz]
- **Valor mínimo de frecuencia:** 49,902 [Hz]



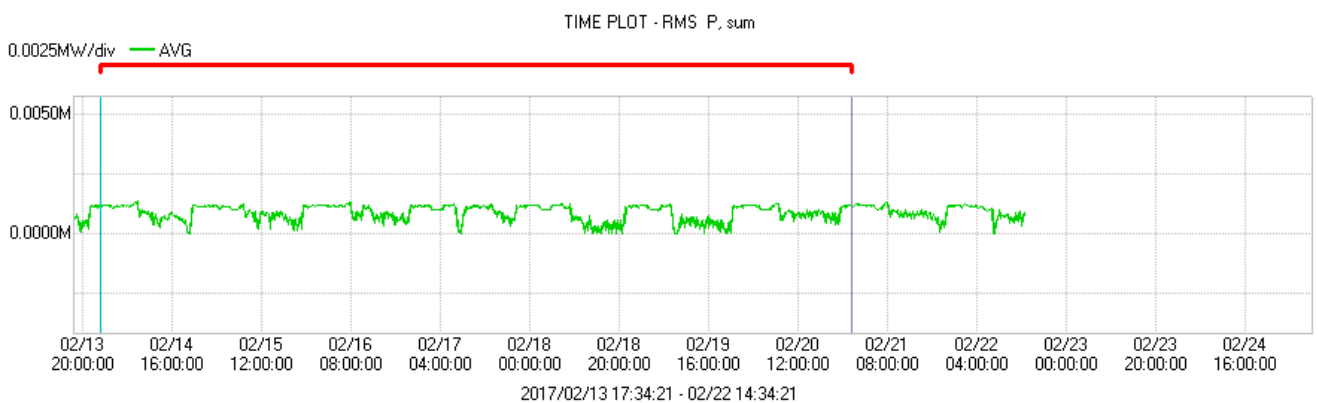
Graficó 4.7: “Frecuencia del sistema.”

Como se puede observar, la frecuencia se encuentra dentro del rango permitido.

4.2.4 Potencia activa (P).

Cada muestra de potencia activa obtenida es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

- **Valor máximo de potencia activa:** $1,3 \text{ [kW]} \times 1200/5 = 312 \text{ [kW]}$
- **Valor promedio de potencia activa:** $0,9 \text{ [kW]} \times 1200/5 = 216 \text{ [kW]}$
- **Valor mínimo de potencia activa:** $0,0 \text{ [kW]} \times 1200/5 = 0 \text{ [kW]}$



Graficó 4.8: “Potencia activa suministrada.”

4.2.5 Potencia aparente (S).

Cada muestra de potencia Aparente obtenida es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

- **Valor máximo de potencia aparente:** $1,5 \text{ [kVA]} \times 1200/5 = 360 \text{ [kVA]}$
- **Valor promedio de potencia aparente:** $1,2 \text{ [kVA]} \times 1200/5 = 288 \text{ [kVA]}$
- **Valor mínimo de potencia aparente:** $0,8 \text{ [kVA]} \times 1200/5 = 192 \text{ [kVA]}$

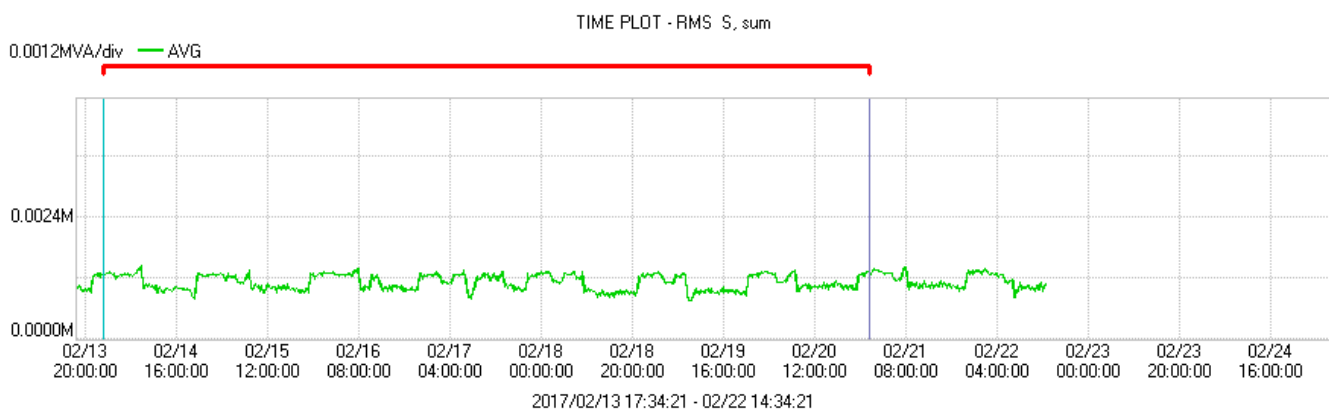
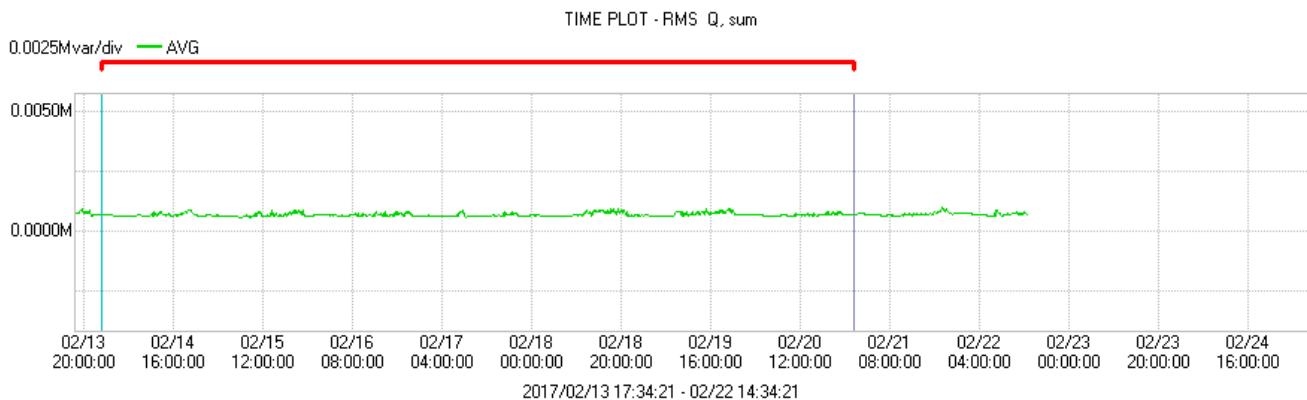


Gráfico 4.9: “Potencia aparente suministrada.”

4.2.6 Potencia reactiva (Q).

Cada muestra de potencia reactiva obtenida es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

- **Valor máximo de potencia reactiva:** $0,9 \text{ [kVAR]} \times 1200/5 = 216 \text{ [kVAR]}$
- **Valor promedio de potencia reactiva:** $0,7 \text{ [kVAR]} \times 1200/5 = 168 \text{ [kVAR]}$
- **Valor mínimo de potencia reactiva:** $0,6 \text{ [kVAR]} \times 1200/5 = 144 \text{ [kVAR]}$



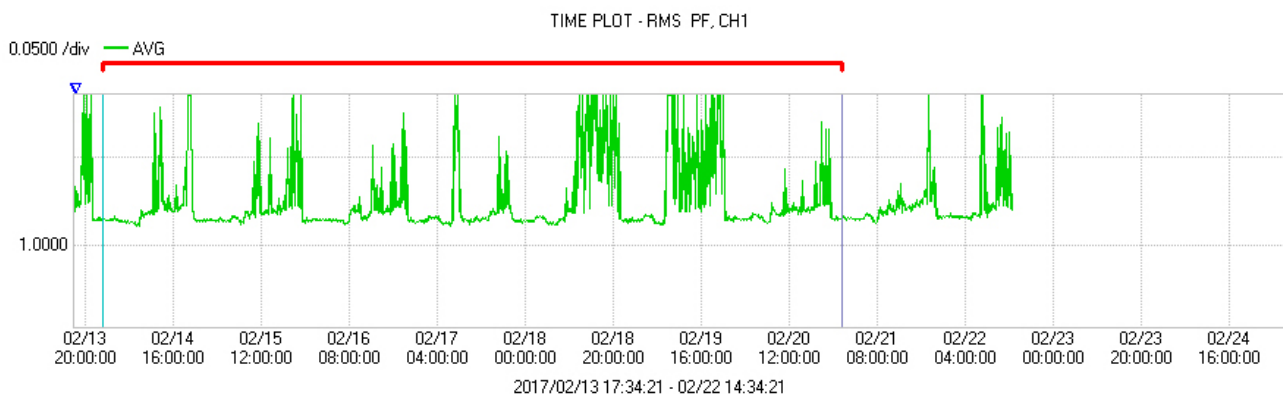
Graficó 4.10: “Potencia reactiva suministrada”

4.2.7 Factor de potencia (FP).

Cada muestra del factor de potencia obtenido es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

Según (Artículo 250° del D. S. 327/97) [8], el valor del factor de potencia medido deberá ser mayor o igual a 0,95 inductivo.

- **Valor máximo del factor de potencia: 1**
- **Valor promedio del factor de potencia: 0,9714**
- **Valor mínimo del factor de potencia: 0,9071**



Graficó 4.11: “Factor de potencia.”

El factor de potencia, como se puede observar, se encuentra dentro de los rangos establecidos por la norma.

4.2.8 Armónicos de voltaje.

Cada muestra de armónicos de voltaje obtenido es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

Según (Artículo 250° del D. S. 327/97) [9], para tensiones iguales o inferiores a 110 kV en sistemas o redes eléctricas, el THD-V deberá ser inferior a 8 % para el período de medición mínimo de siete días consecutivos.

4.2.8.1 Distorsión armónica total de voltaje (THDv) línea 1.

- **Valor máximo de THDv:** 4.80%
- **Valor promedio de THDv:** 3,81%
- **Valor mínimo de THDv:** 2,91%

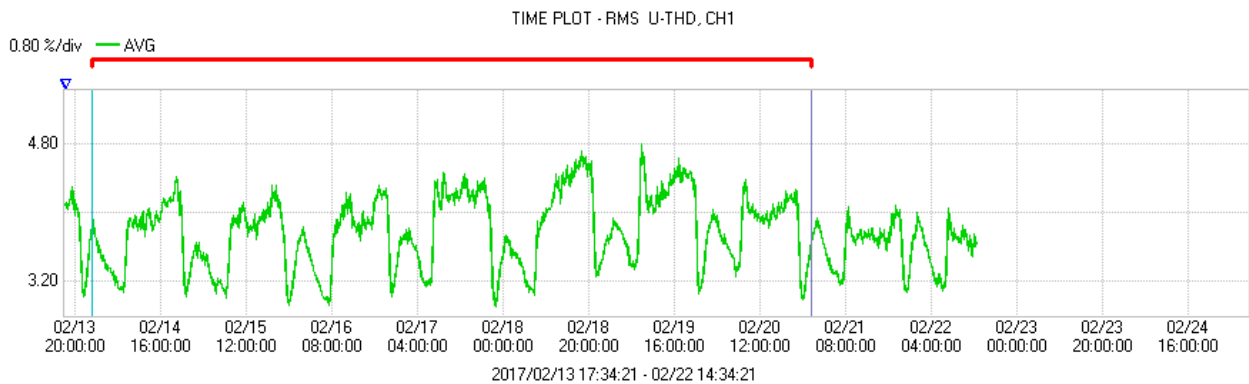
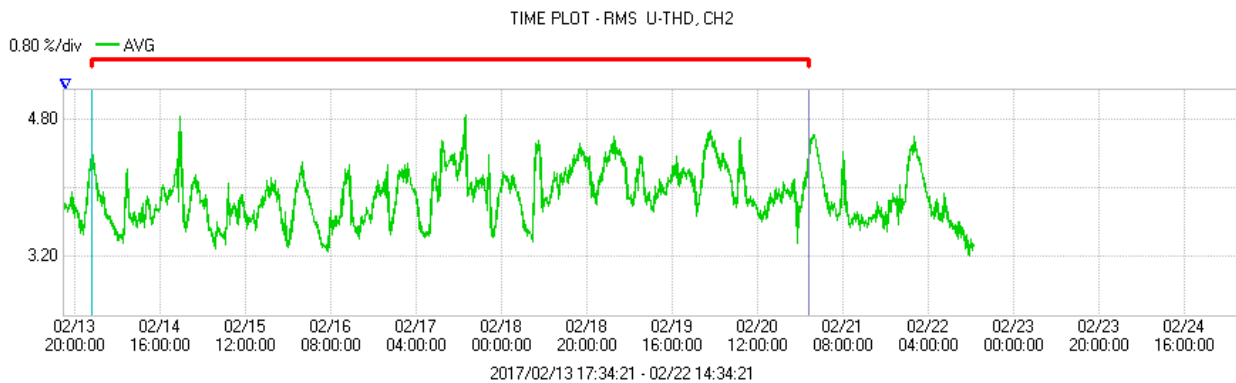


Gráfico 4.12: “Distorsión armónica total de voltaje en la línea 1.”

4.2.8.2 Distorsión armónica total de voltaje (THDv) línea 2.

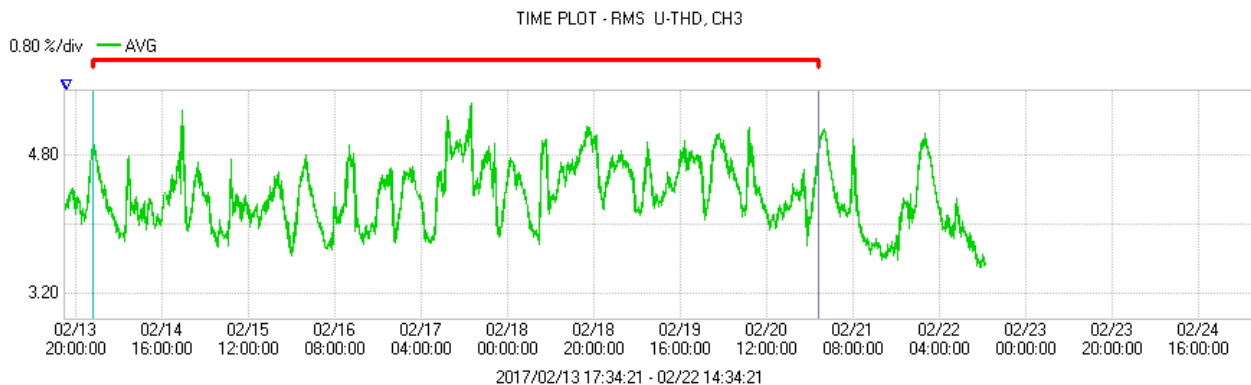
- **Valor máximo de THDv:** 4.86%
- **Valor promedio de THDv:** 3,93%
- **Valor mínimo de THDv:** 3,26%



Graficó 4.13: “Distorsión armónica total de voltaje en la línea 2”

4.2.8.3 Distorsión armónica total de voltaje (THDv) línea 3.

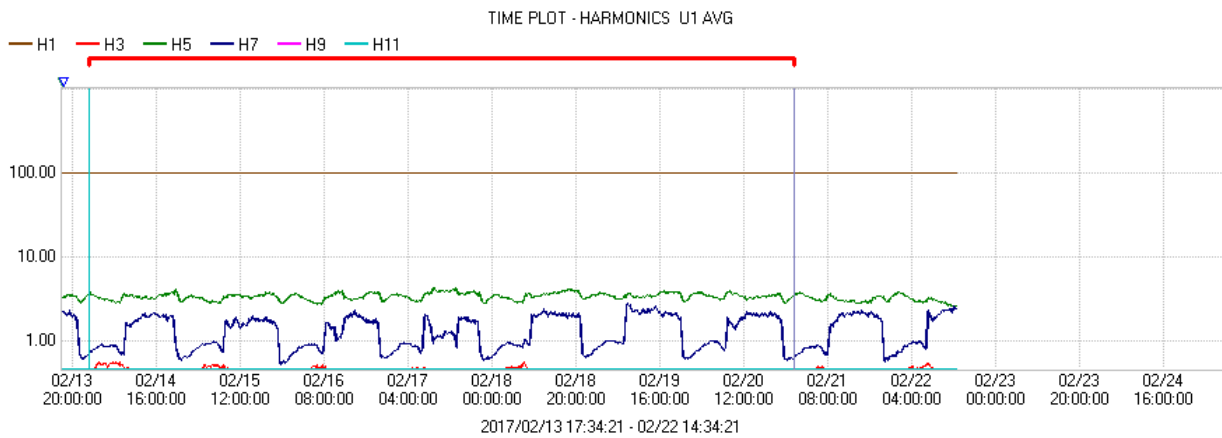
- **Valor máximo de THDv: 5,41%**
- **Valor promedio de THDv: 4,38%**
- **Valor mínimo de THDv: 3,64%**



Graficó 4.14: “Distorsión armónica total de voltaje en la línea 3.”

4.2.8.4 Armónicos de voltaje línea 1.

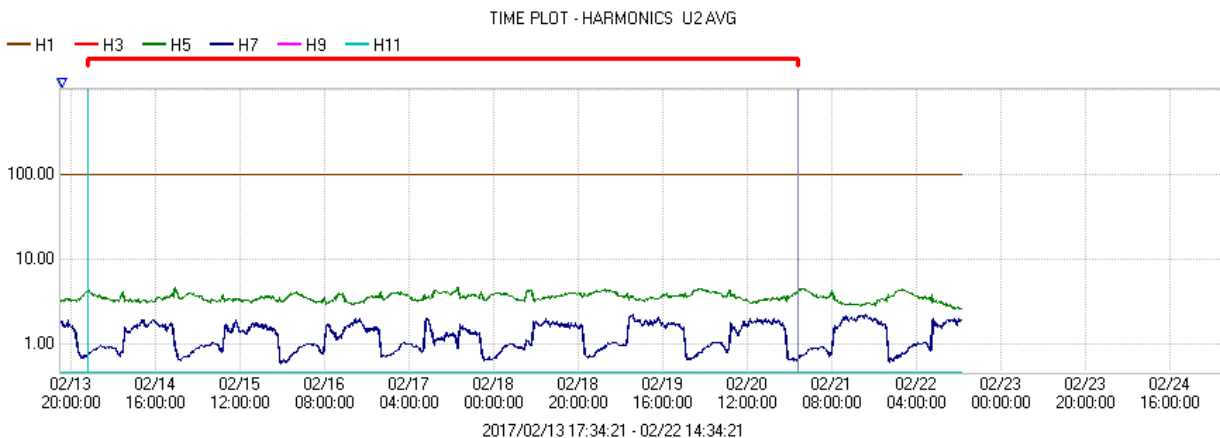
	H1%	H3%	H5%	H7%	H9%	H11%
Valor máximo:	100.00	0.57	4.36	2.89	0.08	0.15
Valor promedio:	100.00	0.37	3.49	1.39	0.03	0.09
Valor mínimo:	100.00	0.12	2.77	0.53	0.01	0.04



Graficó 4.15: “Armónicos de voltaje en la línea 1.”

4.2.8.5 Armónicos de voltaje línea 2.

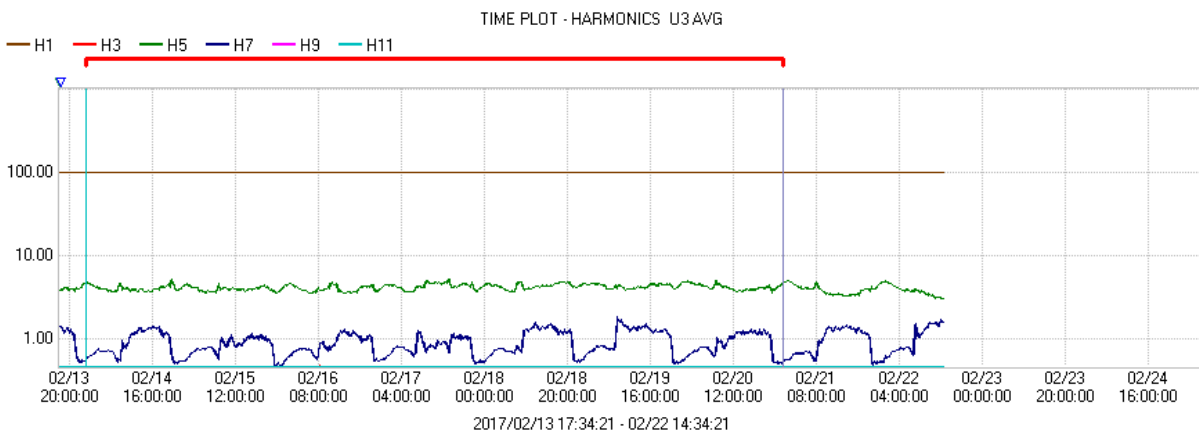
	H1%	H3%	H5%	H7%	H9%	H11%
Valor máximo:	100.00	0.31	4.77	2.26	0.08	0.17
Valor promedio:	100.00	0.18	3.67	1.28	0.03	0.09
Valor mínimo:	100.00	0.04	2.97	0.59	0.01	0.04



Graficó 4.16: “Armónicos de voltaje en la línea 2.”

4.2.8.6 Armónicos de voltaje línea 3.

	H1%	H3%	H5%	H7%	H9%	H11%
Valor máximo:	100.00	0.49	5.36	1.88	0.11	0.16
Valor promedio:	100.00	0.32	4.26	0.92	0.04	0.09
Valor mínimo:	100.00	0.12	3.55	0.47	0.00	0.04



Graficó 4.17: “Armónicos de voltaje en la línea 3”

Los niveles de contaminación por inyección de armónicos de voltaje a la red están dentro de la normativa.

4.2.9 Armónicos de corriente.

Cada muestra de armónicos de corriente obtenido es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

Según (Artículo 250° del D. S. 327/97) [9], los límites para los armónicos impares individuales de corriente están indicados en la tabla 4.1. Para saber exactamente el nivel de porcentaje, se debe conocer la corriente nominal de carga del transformador y la máxima de corriente de cortocircuito en el punto común de conexión, valor que fue entregado por la Compañía general de electricidad.

En la tabla 4.1 está indicado con rojo los valores que debe cumplir el recinto.

Tabla 4.1: **“Máxima Distorsión de Armónica de Corriente Expresada como % de la fundamental”**

$V_n \leq 69 \text{ kV}$					
I_{cc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3
20-50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5
50-100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7
100-1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4

- **I_{cc}**: Máxima corriente de cortocircuito en el punto común de conexión (PCC).
- **I_L**: Corriente nominal de carga (a frecuencia fundamental) en el PCC.

4.2.9.1 Distorsión armónica total de corriente (THDi) línea 1.

- Valor máximo de THDi: 40,41%
- Valor promedio de THDi: 25,67%
- Valor promedio de THDi: 15,79%

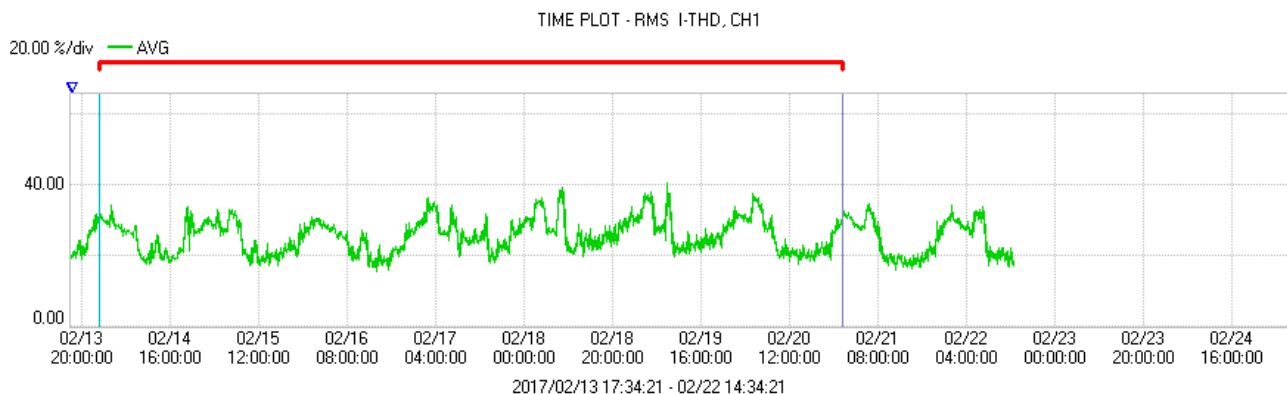


Gráfico 4.18: “Distorsión armónica total de corriente en la línea 1.”

4.2.9.2 Distorsión armónica total de corriente (THDi) línea 2.

- Valor máximo de THDi: 40,59%
- Valor promedio de THDi: 24,26%
- Valor promedio de THDi: 16,60%

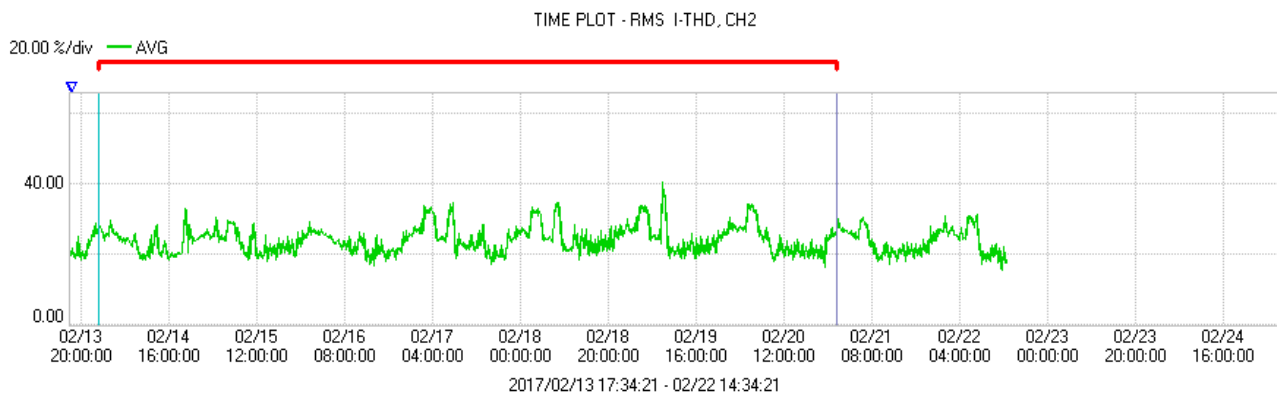


Gráfico 4.19: “Distorsión armónica total de corriente en la línea 2.”

4.2.9.3 Distorsión armónica total de corriente (THDi) línea 3.

- Valor máximo de THDi: 37,31%
- Valor promedio de THDi: 23,77%
- Valor promedio de THDi: 13,58%

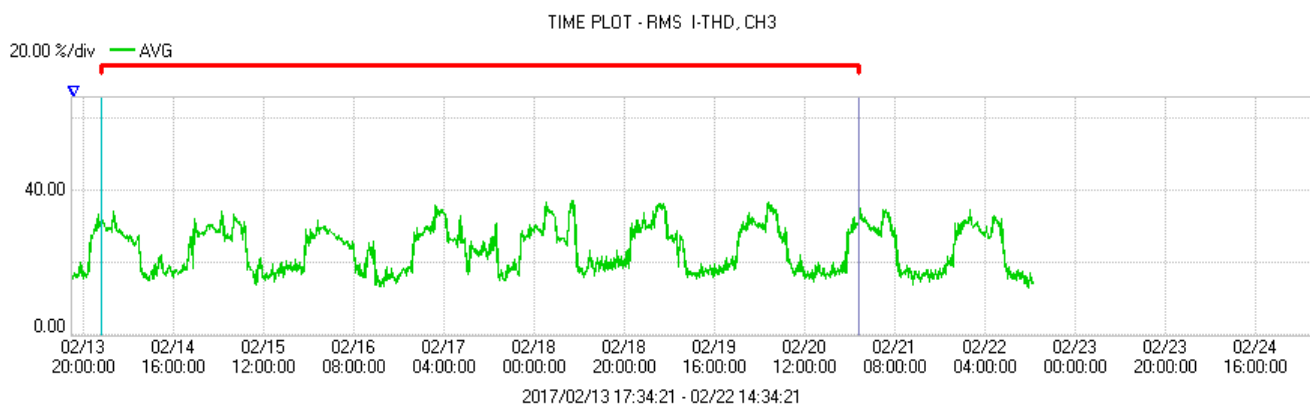


Gráfico 4.20: “Distorsión armónica total de corriente en la línea 3.”

4.2.9.4 Armónicos de corriente línea 1

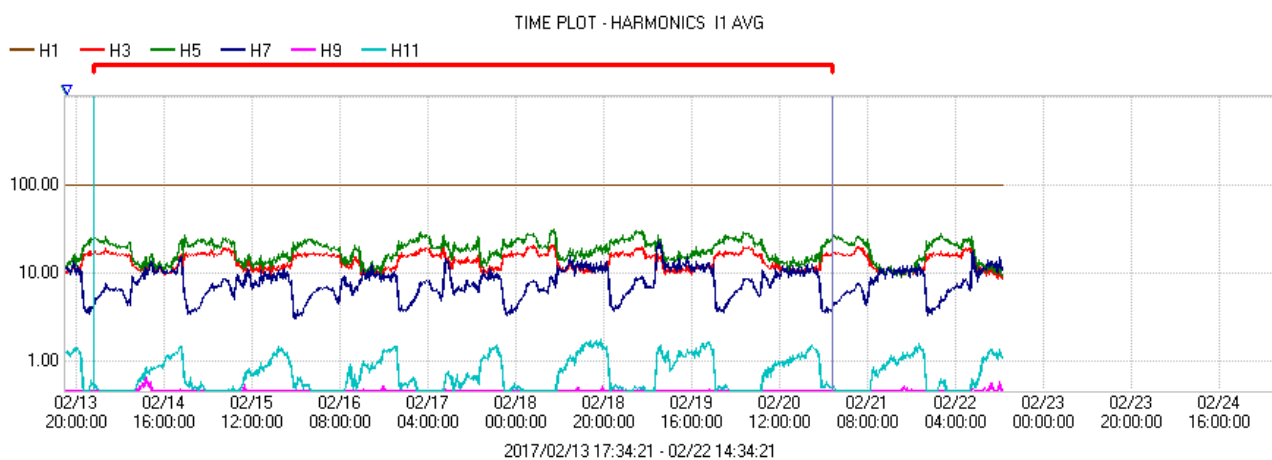
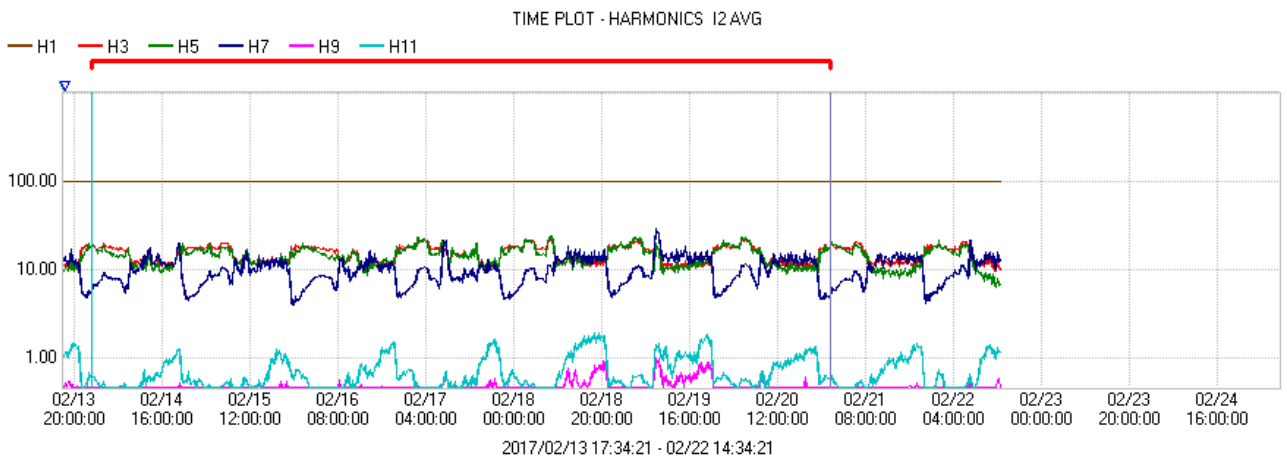


Gráfico 4.21: “Armónicos de corriente en la línea 1.”

	H1%	H3%	H5%	H7%	H9%	H11%
Valor máximo:	100.00	21.05	31.89	23.76	0.67	1.79
Valor promedio:	100.00	14.28	19.13	8.25	0.29	0.76
Valor mínimo:	100.00	9.22	9.62	3.10	0.14	0.26

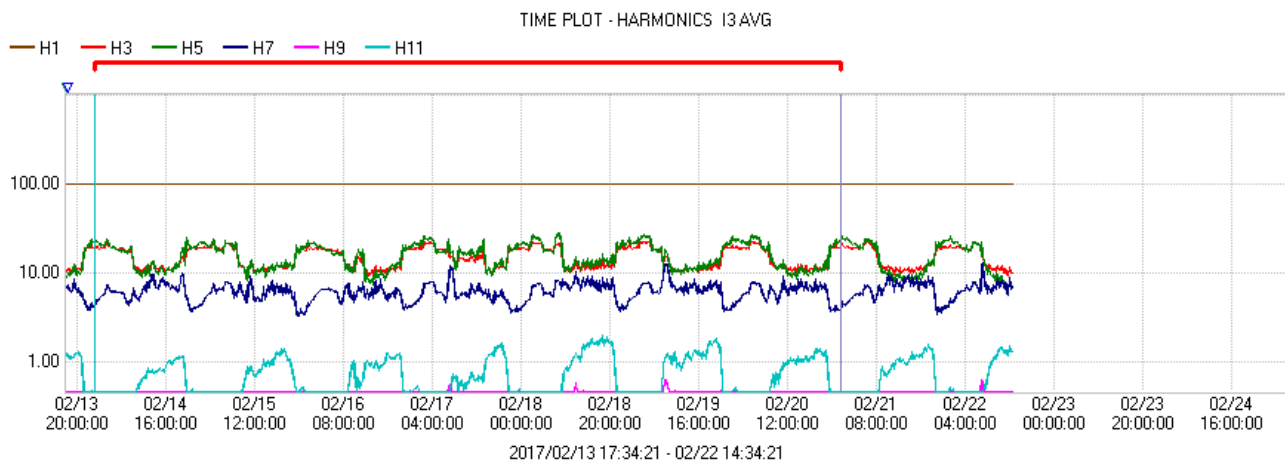
4.2.9.5 Armónicos de corriente línea 2.



Graficó 4.22: “Armónicos de corriente en la línea 2.”

	H1%	H3%	H5%	H7%	H9%	H11%
Valor máximo:	100.00	22.47	24.51	30.00	1.01	1.95
Valor promedio:	100.00	15.46	14.85	10.25	0.30	0.72
Valor mínimo:	100.00	10.14	8.59	3.99	0.12	0.23

4.2.9.6 Armónicos de corriente línea 3.



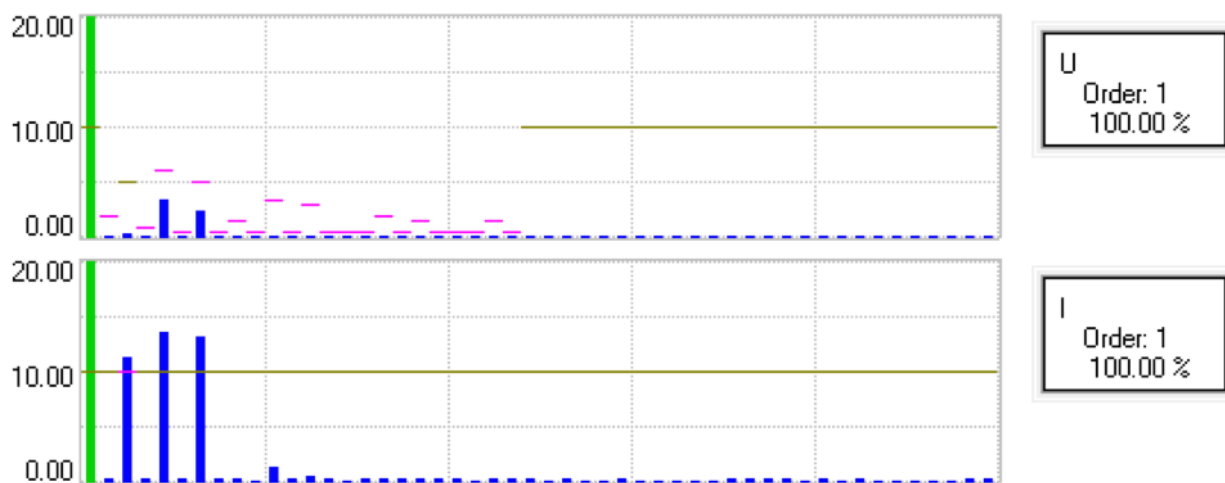
Graficó 4.23: “Armónicos de corriente en la línea 3.”

	H1%	H3%	H5%	H7%	H9%	H11%
Valor máximo:	100.00	23.00	28.81	12.89	0.65	2.02
Valor promedio:	100.00	15.56	16.49	6.34	0.32	0.71
Valor mínimo:	100.00	9.52	7.59	3.29	0.12	0.18

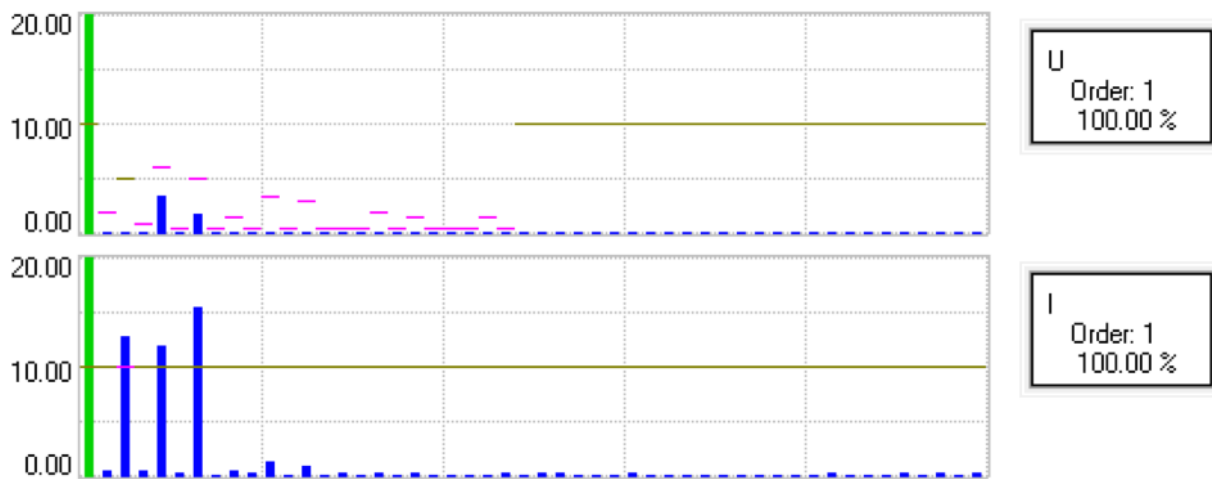
Como era de esperar, los armónicos predominantes de los gráficos 4.21, 4.22 y 4.23 son el H3, H5, y H7. Se observa claramente que la red no está cumpliendo con la normativa debido a que presenta una gran contaminación por inyección de armónicos de corriente.

4.2.10 Espectro de armónicos de voltaje, corriente y potencia activa.

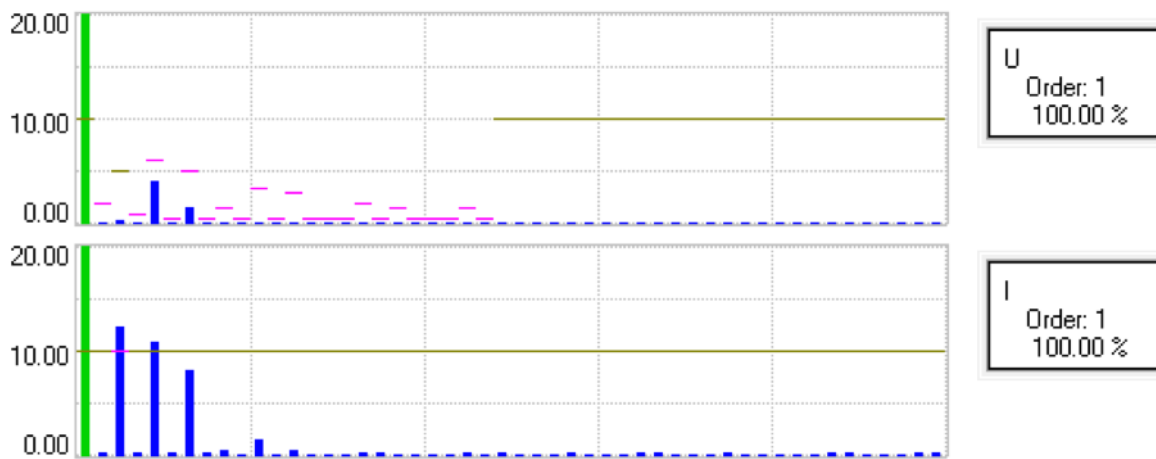
En los gráficos 4.24, 4.25 y 4.26 se puede observar de otra expectativa el espectro de armónicos de voltaje, corriente y potencia activa.



Graficó 4.24: "Espectro Armónicos de corriente, voltaje y potencia activa en la línea 1."



Graficó 4.25: “Espectro Armónicos de corriente, voltaje y potencia activa en la línea 2.”



Graficó 4.26: “Espectro Armónicos de corriente, voltaje y potencia activa en la línea 3.”

4.2.11 Inter-armónicos de corriente

Cada muestra de inter-armónicos de corriente obtenido es el promedio de cada 10 minutos, lo que suman un total de 144 muestras por día y un total de 1008 muestras en los 7 días.

4.2.11.1 Inter-armónicos de corriente línea 1.

	H0.5%	H2.5%	H4.5%	H6.5%	H8.5%	H10.5%
Valor máximo:	0.55	0.50	0.48	0.49	0.47	0.47
Valor promedio:	0.33	0.30	0.28	0.28	0.27	0.27
Valor mínimo:	0.25	0.21	0.21	0.20	0.19	0.19

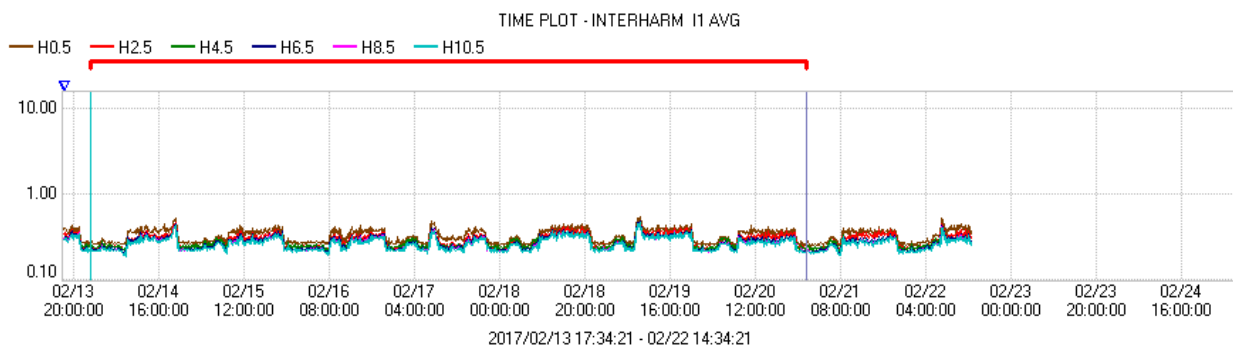
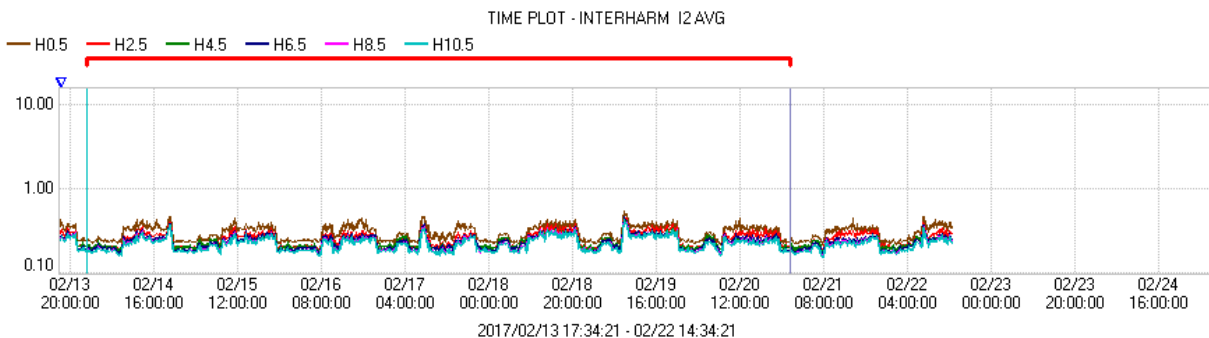


Gráfico 4.27: “Inter-armónicos de corriente en la línea 1.”

4.2.11.2 Inter-armónicos de corriente línea 2.

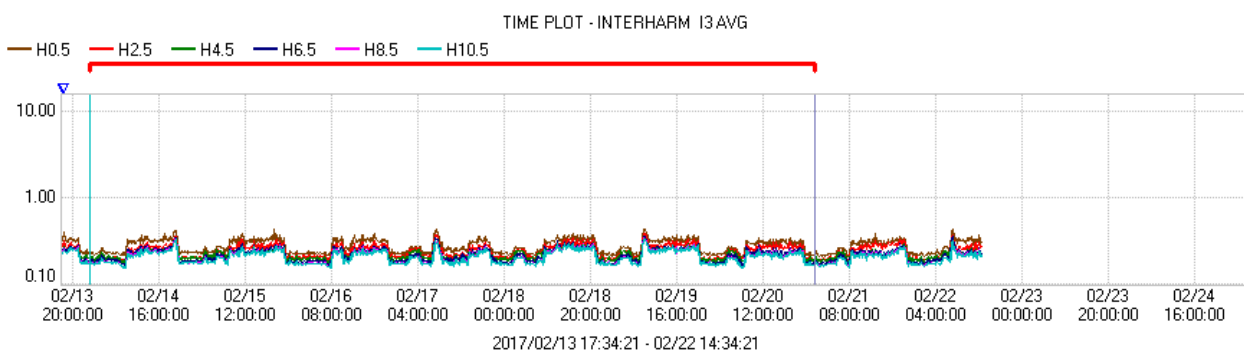
	H0.5%	H2.5%	H4.5%	H6.5%	H8.5%	H10.5%
Valor máximo:	0.56	0.47	0.45	0.47	0.44	0.43
Valor promedio:	0.31	0.26	0.24	0.24	0.23	0.23
Valor mínimo:	0.22	0.19	0.18	0.17	0.16	0.16



Graficó 4.28: “Inter-armónicos de corriente en la línea 2.”

4.2.11.3 Inter-armónicos de corriente línea 3.

	H0.5%	H2.5%	H4.5%	H6.5%	H8.5%	H10.5%
Valor máximo:	0.44	0.40	0.36	0.37	0.34	0.34
Valor promedio:	0.28	0.25	0.23	0.22	0.21	0.21
Valor mínimo:	0.21	0.18	0.17	0.16	0.16	0.15



Graficó 4.29: “Inter-armónicos de corriente en la línea 3.”

4.2.12 Flickers.

Cada muestra de flicker se monitoreo según el procedimiento señalado por el SEC, en su norma técnica de los índices de severidad del parpadeo o flicker, artículo 250° del D. S. 327/97 [10].

4.2.12.1 Severidad del flicker línea 1.

	Pst	Plt
• Valor máximo:	0,832	0,410
• Valor promedio:	0,235	0,245
• Valor mínimo:	0,135	0,173

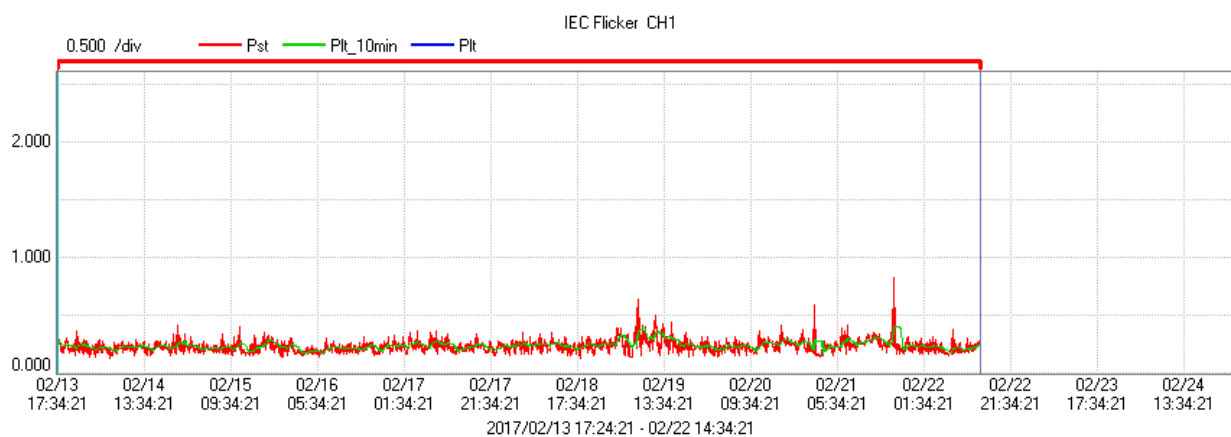
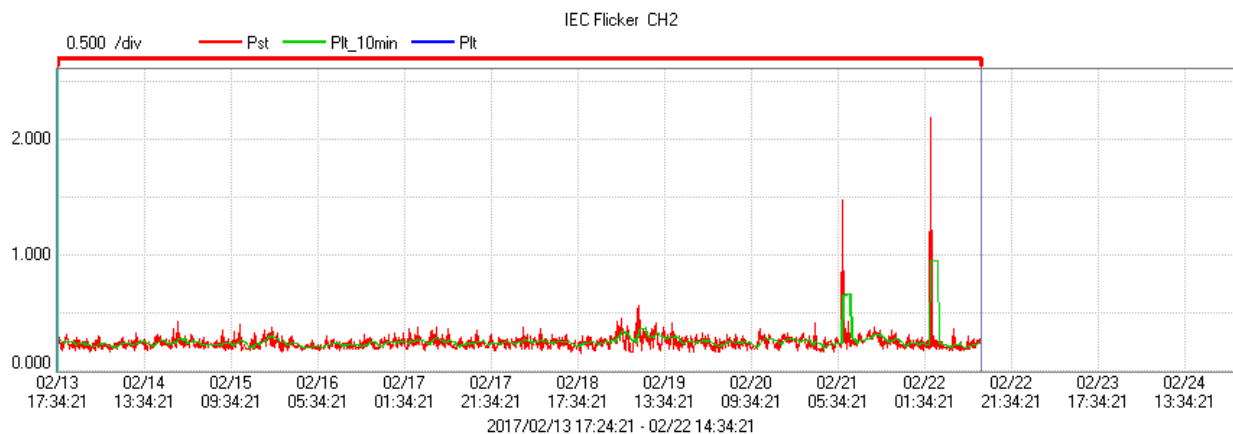


Gráfico 4.30: "Severidad del parpadeo (flicker) en la línea 1."

4.2.12.2 Severidad del flicker línea 2.

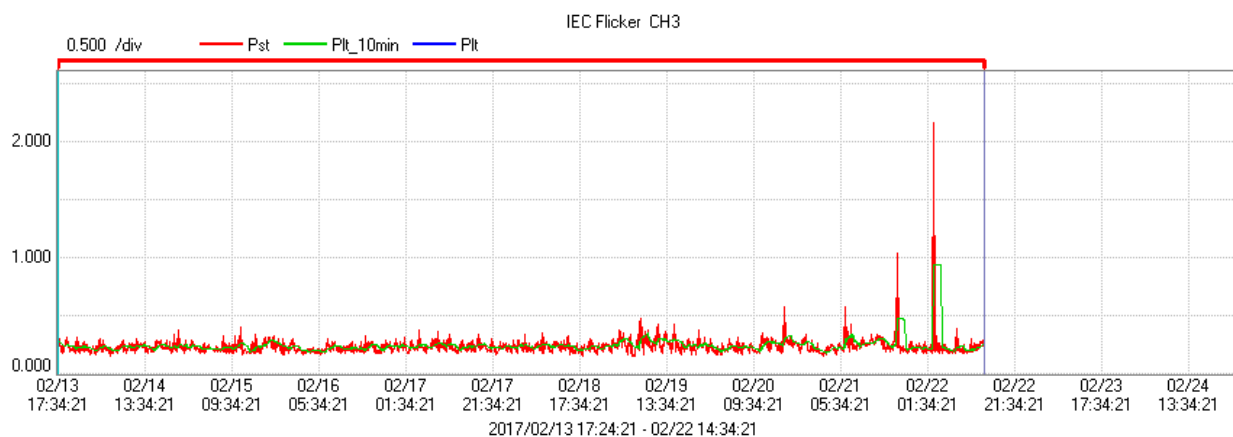
	Pst	Plt
• Valor máximo:	2,190	0,961
• Valor promedio:	0,248	0,262
• Valor mínimo:	0,160	0,197



Graficó 4.31: “Severidad del parpadeo (flicker) en la línea 2.”

4.2.12.3 Severidad del flicker línea 3.

	Pst	Plt
• Valor máximo:	2,163	0,949
• Valor promedio:	0,238	0,251
• Valor mínimo:	0,155	0,184



Graficó 4.32: “Severidad del parpadeo (flicker) en la línea 3.”

4.2.13 Demanda

En el siguiente gráfico se muestra los peack de demanda obtenida durante los 7 días de medición en el centro penitenciario, cada gráfico de barra es el promedio de 1 hora de demanda, lo que suman un total de 24 gráficos de barra por día, lo que da un total de 168 gráficos de barra durante los 7 días.

- **Valor máximo de demanda:** $1,2982 \text{ [kW]} \times 1200/5 = 311,568 \text{ [kW]}$
- **Valor promedio de demanda:** $0,8626 \text{ [kW]} \times 1200/5 = 270,024 \text{ [kW]}$
- **Valor mínimo de demanda:** $0,0809 \text{ [kW]} \times 1200/5 = 19,416 \text{ [kW]}$

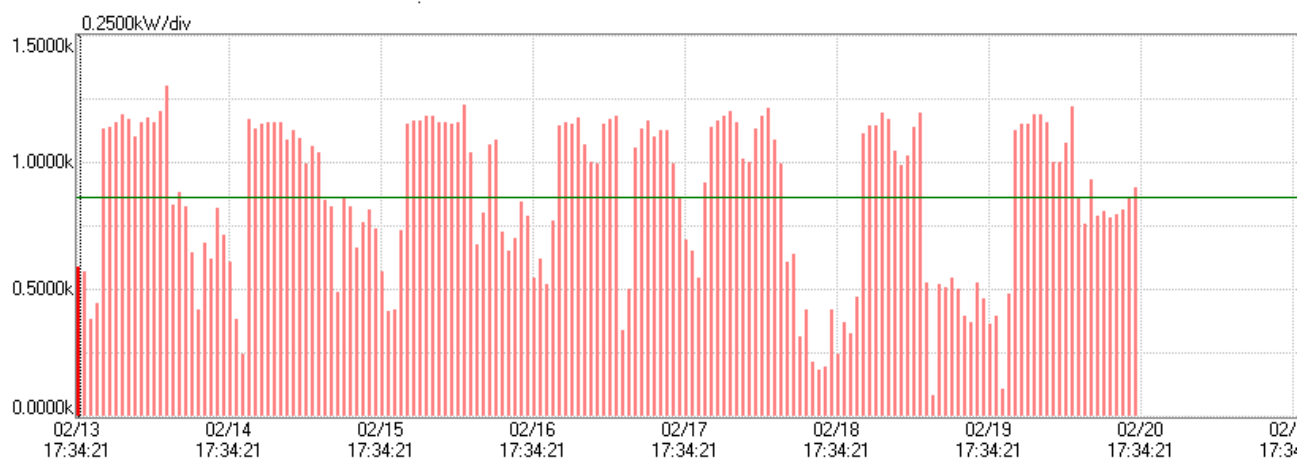
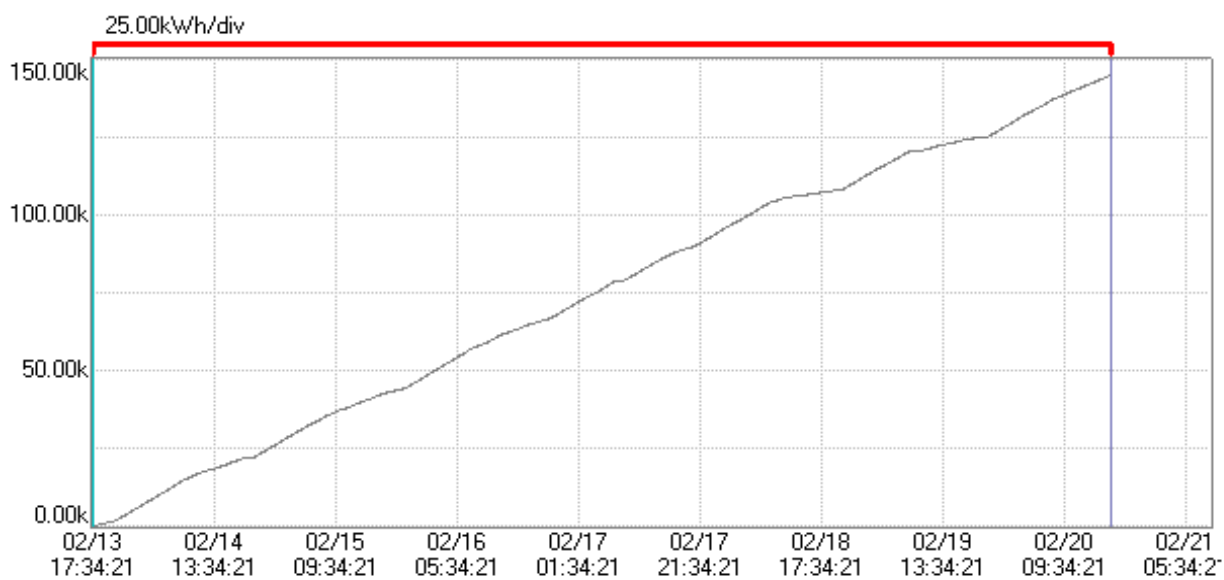


Gráfico 4.33: "Peack de demanda en kW."

4.2.14 Consumo

- **Valor de consumo total :** $144,92 \text{ [kWh]} \times 1200/5 = 34780,8 \text{ [kWh]}$
- **Valor promedio de consumo por día:** $20,70 \text{ [kWh]} \times 1200/5 = 4968 \text{ [kWh]}$
- **Valor máximo de consumo:** $23,02 \text{ [kWh]} \times 1200/5 = 5524,8 \text{ [kWh]}$
- **Valor mínimo de consumo:** $16,98 \text{ [kWh]} \times 1200/5 = 4075,2 \text{ [kWh]}$

Graficó 4.34: “Consumo en kWh.”



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

Durante el desarrollo de este trabajo se presentaron problemas que son consecuencias típicas de perturbaciones eléctricas ocasionadas por diversas cargas no lineales y variaciones en la red. Los resultados obtenidos en este seminario, realizado en el centro de cumplimiento penitenciario Bío Bío, fueron en su mayoría esperados. Cabe mencionar que se realizaron dos mediciones previas a la original, debido a que se necesitaba comprender como funcionaba el analizador, además de atribuir un sentido más realista a las mediciones.

Cabe mencionar que se utilizó tres transformadores de corriente tipo ventana, el cual se encontraban fijo en el gabinete, donde el primario estaba conectado a cada una de las fases del alimentador principal y su secundario al analizador. Concluimos que, debido a la utilización de este transformador, los datos se vieron levemente afectados, debido a que en algunas instancias el transformador no se encontraba en su zona de saturación, lo que se tradujo en una interpretación aproximada a la realidad.

- En cuanto a variaciones de Voltaje (Sobretensiones, subtensiones, etc.) se concluyó que no hubo fenómenos que se encuentren fuera del rango permitido por la norma (SEC, 2007) [6].
- La frecuencia en todo momento se mantuvo cerca de los 50 Hertz, con lo que podemos afirmar que el sistema posee una frecuencia constante y confiable.
- La corriente, en ningún momento presentó variaciones bruscas, y en los casos que descendía al 50% de la corriente nominal del sistema, era en los horarios nocturnos, en donde la mayor parte del consumo se encuentra apagado.
- Los armónicos de voltajes se mantienen por debajo del porcentaje permitido, concluyendo que no contribuyen en grandes rasgos a la contaminación de la red.
- En cuanto al factor de potencia, el promedio durante los siete días de medición fue 0,9714 inductivo, lo que refleja un factor de potencia aceptable, debido a que la norma establece que el promedio no debe descender de los 0,93 inductivo.
- Los armónicos de corriente, en su mayoría se encontraban fuera del rango establecido por la tabla 4.1 que se rige por el Artículo 250° del D. S. 327/97 [10].
- El parpadeo, en el transcurso del tiempo se mantuvo dentro de norma, salvo a unos peak producidos por variaciones de voltajes, pero nada fuera de lo normal.

Recomendaciones

Las siguientes recomendaciones son para dar solución a los problemas de calidad de energía encontrados en el centro de cumplimiento penitenciario Bío Bío

1. Para el factor de potencia medido en la planta, aunque solo fueron algunos peak que alcanzaron valores bajo lo establecido por la norma es recomendable revisar si la cantidad de kVAR es suficiente para compensar al transformador; Por otro lado, revisar si la opción automática del grupo de banco de condensadores automáticos se encuentra habilitado.

De todos modos, la recomendación es instalar un nuevo banco de condensadores que ofrece una solución generalizada para mejorar el factor de potencia.

2. El problema de los armónicos de corriente se puede corregir mediante filtros, los cuales son elementos eléctricos que discriminan el paso de una determinada gama de frecuencias, dependiendo de las características del filtro.

Bibliografía

- [1] “Conciencia tecnológica”, Mario Salvador Esparza Gonzales, diciembre 2006.
- [2] Estándar 1159-2003 Del IEEE, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality".
- [3] “Análisis de calidad de energía eléctrica en el Nuevo campus de la Universidad politécnica salesiana”, marzo Del 2010, Ecuador.
- [4] Armónicos en las redes eléctricas – Universidad Politécnica Salesiana (capitulo 2)
- [5] “Quick start manual, power quality analyzer”, Hioki E.E Corporation.
- [6] “Norma técnica magnitudes de la tensión nominal de 50 Hz”, artículo 250° de D. S. 327/97
- [7] “Norma Técnica de seguridad y calidad de servicio”, Enero de 2016, Santiago de Chile.
- [8] “Norma Técnica factor de potencia”, artículo 250° de D. S. 327/97.
- [9] “Norma Técnica índices de contaminación por inyección de armónicas de tensión y corriente”, artículo 250° de D. S. 327/97.
- [10] “Norma técnica índices de severidad de parpadeo o flicker”, artículo 250° de D. S.327/97.
- [11] “Electricidad tensiones normales para sistemas e instalaciones” NSEG 8. E.n.75.

ANEXO 1

Tablas de límites de armónicos de tensión y de corriente

Tabla de límites establecidos para armónicos individuales de tensión en sistemas o redes eléctricas.

Armónicas Impares No múltiplo de 3			Armónicas Impares múltiplo de 3			Armónicas Pares		
Orden h	Armónica tensión (%)		Orden h	Armónica tensión (%)		Orden h	Armónica tensión (%)	
	≤ 110 kV	>110 kV		≤ 110 kV	>110 kV		≤ 110 kV	>110 kV
5	6	2	3	5	2	2	2	1,5
7	5	2	9	1,5	1	4	1	1
11	3,5	1,5	15	0,3	0,3	6	0,5	0,5
13	3	1,5	21	0,2	0,2	8	0,5	0,4
17	2	1	>21	0,2	0,2	10	0,5	0,4
19	1,5	1	-	-	-	12	0,2	0,2
23	1,5	0,7	-	-	-	>12	0,2	0,2
25	1,5	0,7	-	-	-	-	-	-
>25	0,2+1,3*25/h	0,2+0,5*25/h	-	-	-	-	-	-

NOTA: Los valores límites de tensiones armónicas están expresados en porcentaje de la tensión de frecuencia fundamental.

Tabla de límites establecidos para armónicos individuales de corriente en sistemas o redes eléctricas.

$V_n \leq 69 \text{ kV}$					
I_{cc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
< 20	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3
20-50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5
50-100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7
100-1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0
> 1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4

$69 \text{ kV} < V_n \leq 161 \text{ kV}$					
I_{cc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
< 20	2,0*	1,0*	0,75*	0,3*	0,15*
20-50	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25
50-100	5,0	2,25	2,0	1,25	0,35
100-1000	6,0	2,75	2,5	1,0	0,5
> 1000	7,5	3,5	3,0	1,25	0,7

$V_n > 161 \text{ kV}$					
I_{cc} / I_L	$h < 11$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$
< 50	2,0	1,0	0,75	0,3	0,15
≥ 50	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25

Valores exigibles para todo tipo de generador en el punto común de acoplamiento al sistema troncal.

Donde:

V_n : Tensión nominal de 50 Hz.

I_{cc} : Corriente de cortocircuito máxima en el punto común de acoplamiento.

I_L : Corriente máxima en la carga (de frecuencia fundamental) o consumo, en el punto común de acoplamiento.

NOTA: Valores límites de tensiones armónicas expresados en % de la tensión de frecuencia fundamental.

ANEXO 2

Especificaciones técnicas analizador HIOKI 3196

3196 Specifications

(Guaranteed accuracy period : 6 months / Certain specifications vary when measuring 400Hz circuits. Please inquire with your HIOKI distributor for details.)

-3. Input specifications

Measurement line types: Single-phase 2-wire, Single-phase 3-wire, Three-phase 3-wire (3P3W2M, 3P3W3M) or Three-phase 4-wire, plus one extra input channel

Input channels : Voltage : 4 channels (U1 to U4) (channel U4 can be switched between AC and DC)
Current : 4 channels (I1 to I4)

Input methods : Voltage between U1, U2, and U3 without inter-channel isolation
Voltage between U1 to U3 and U4 with inter-channel isolation
Current input by clamp-on sensor

Input resistance : Voltage : 4 MΩ ± 10% (differential input)
Current : 200 kΩ ± 10%

Measurement method : Simultaneous digital sampling of voltage and current
PLL synchronization (automatically switches to fixed clock during dropouts, so sampling is never interrupted)

PLL synchronization channel source : Voltage at either U1, U2, or U3
PLL synchronization frequency range : 42.5 to 69 Hz

Sampling frequency :
For calculations (including DC measurement) : 256 points/cycle
: 256 points/8 cycles (for 400 Hz)
For harmonic and inter-harmonic analysis : 2048 points/10 cycles (for 50 Hz)
: 2048 points/12 cycles (for 60 Hz)
: 2048 points/80 cycles (for 400 Hz)
For transient overvoltage (impulse) : 2 MHz

A/D converter resolution :
For calculations (including DC measurement) : 16 bits
For transient overvoltage (impulse) : 12 bits

Voltage measurement range :
Channels 1 to 3 : 150.00, 300.00, 600.00 Vrms
Channel 4 : 60.000, 150.00, 300.00, 600.00 Vrms
± 60.000, 600.00 V pk (DC measurement)

Voltage crest factor : 3 or less
Current measurement range :
With Model 9694 sensor : 5.0000, 50.000 Arms
With Model 9660 sensor : 50.000, 100.00 Arms
With Model 9661 sensor : 50.000, 500.00 Arms
With Model 9667 sensor : 50.000, 500.00 A or 500.00 A, 5.0000 kArms
With Model 9669 sensor : 100.00 A, 1.0000 kArms
Current crest factor : 4 or less

-4. Measurement specifications

(For specifications when measuring 400Hz circuits, please inquire with your HIOKI distributor.)

RMS voltage

Measurement method : True RMS (calculated continuously every 10 or 12 cycles at 50 or 60 Hz respectively)
Range selection : Manual (channels 1 to 3 are set in the same operation)
Measurement accuracy : AC : ± 0.2% rdg. ± 0.1% f.s.
DC : ± 0.3% rdg. ± 0.4% f.s.

RMS current

Measurement method : True RMS (calculated continuously every 10 or 12 cycles at 50 or 60 Hz respectively)
Range selection : Manual (channels 1 to 3 are set in the same operation)
Measurement accuracy : ± 0.2% rdg. ± 0.1% f.s. + clamp-on sensor accuracy

Transient overvoltage (impulse)

Measurement method : 2 MHz sampling
Measurement range : 2000 Vpk
Display items : 4 ms waveform (2 ms before and after center peak)
Period : Period exceeding threshold (max. 4 ms)
Minimum detectable duration : 0.5 μs
Measurement accuracy : ± 5.0% rdg. ± 20 V (1000 V DC and 700 Vrms/100 kHz)

Voltage swell (rise in RMS voltage)

Measurement method : True RMS (a single cycle is calculated by overlapping each half cycle)
(The voltage between lines is measured for three phase 3-wire lines, and phase voltage is measured for three phase 4-wire lines.)
Display items : Amplitude and duration of swell
Measurement accuracy : Same as RMS voltage

Voltage dip (drop in RMS voltage)

Measurement method : True RMS (a single cycle is calculated by overlapping each half cycle)
(The voltage between lines is measured for three phase 3-wire lines, and phase voltage is measured for three phase 4-wire lines.)
Display items : Amplitude and duration of dip
Measurement accuracy : Same as RMS voltage

Instantaneous Interruption

Measurement method : Same as voltage dip

Frequency

Measurement range : 42.500 to 69.000 Hz
Measurement source : Voltage (same as the PLL synchronization source)
Measurement accuracy : ± 10 mHz (10 to 110% of range, with sine wave)

Active power

Measurement method : Calculated continuously every 10 or 12 cycles at 50 or 60 Hz respectively
Measurement accuracy : ± 0.2% rdg. ± 0.1% f.s. + clamp-on sensor accuracy

Power factor

Measurement range : -1.000 (lead) to 0.000 to +1.000 (lag)
Measurement accuracy : ± 1 dgt. from the calculation of each measurement value
(± 3 dgt. for the sum)

Displacement power factor

Measurement method : Calculated from the phase difference between the fundamental waveforms of voltage and current
Measurement range : -1.000 (lead) to 0.000 to +1.000 (lag)
Measurement accuracy : ± 0.5% rdg. ± 0.2% f.s. ± 1 dgt. (± 3 dgt. for the sum)

Voltage unbalance factor

Measurement method : Calculation for three-phase 3-wire (3P3W3M) and three phase 4-wire fundamental waveforms of voltage

Current unbalance factor

Measurement method : Calculation for three-phase 3-wire (3P3W3M) and three-phase 4-wire fundamental waveforms of current

ΔV10 flicker

Display items : ΔV10, ΔV10 (average over one hour, fourth maximum over one hour, maximum over one hour, overall maximum (during the measurement period)), ΔU (deviation with respect to nominal voltage)

Standard voltage: Auto : Same operation as AGC for IEC flicker
Measurement accuracy : ± 2% rdg.

IEC flicker (short period flicker Pst, long period flicker Plt)

Measurement method : Per IEC61000-4-15
Pst is measured for 10 minutes, and Plt is measured for 2 hours

Measurement accuracy : ± 5% rdg. or less of the limit value

Harmonic voltage, current and power (including fundamental waveform components)

Analysis window : Rectangular
Analysis orders : 1 to 50
Measurement accuracy : Voltage/current : 1st to 20th orders : ± 0.5% rdg. ± 0.2% f.s.
: 21st to 50th orders : ± 1.0% rdg. ± 0.3% f.s.
Power : 1st to 20th orders : ± 0.5% rdg. ± 0.2% f.s.
: 21st to 30th orders : ± 1.0% rdg. ± 0.3% f.s.
: 31st to 40th orders : ± 2.0% rdg. ± 0.3% f.s.
: 41st to 50th orders : ± 3.0% rdg. ± 0.3% f.s.

(for 50/60 Hz, clamp-on sensor accuracy must be included for current and power)

Inter-harmonic voltage and current

Analysis window : Rectangular
Analysis orders : 0.5 to 49.5

Harmonic voltage/current phase difference (including fundamental waveform content)

Measurement method : Difference between voltage and current phase angle components
Display items : Sum of all or multiple channels
Measurement accuracy : 1st to 3rd orders : ± 2°
4th to 50th orders : ± (0.02° × k + 2°), k = harmonic order
(for 50/60 Hz, clamp-on sensor accuracy must be included for current and power)

-5. Display specifications

Display device : 6.4" TFT color LCD (640 × 480 dots)
Text display : English, German, French, Italian, Spanish, Chinese or Japanese

-6. External interface specifications

(1) **External control terminals** : External event input and output
(2) **PC card interface Slot** : Compliant with PCMCIA/JEIDA PC Card Standard, Type II slot × 1
Compatible cards : Flash ATA cards up to 528 MB
(3) **RS-232C interface**
Standard : EIA RS-232C-compliant (with 9-pin D-sub connector)
Destination device : Printer or modem or GPS
Printer interval selections : OFF, 1, 5, 10, or 30 minutes, 1 or 2 hours
(4) **LAN interface**
Communications protocol : Ethernet and TCP/IP (with 10BASE-T RJ-45 connector)

-7. Environment & safety specifications

Operating environment : Indoors, up to a height of 2000 m (6562.2 ft)
Storage temperature & humidity : -20 to 50°C, max. 80% rh (non-condensating)
Operating temperature and humidity : 0 to 40°C, max. 80% rh (non-condensating)
Maximum measurement terminal voltage : Voltage terminals : 780 Vrms AC, 1103 V peak
Current terminals : 1.7 Vrms AC, 2.4 V peak
Maximum in-phase voltage : 600 Vrms AC (50/60 Hz, voltage input terminals)
Withstand voltage : 5.55 kVrms AC/1 min
(50/60 Hz, 1 mA current sensitivity)
Between voltage and clamp input terminals, between the voltage input terminal and 3196 casing, and between voltage input terminals (U1 to U3) and voltage input terminal (U4)
Enclosure protection : IP30 (per EN60529)
Standards conformance : EMC : EN61326 CLASS A, EN61000-3-2 and EN61000-3-3
Safety : EN61010
Voltage input unit : Contamination Level 2,

