

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE FUERZA EN LA SALA DE LLENADO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA, UBICADA EN LOS CORTIJOS.

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Robert. Schurman A.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2015

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE FUERZA EN LA SALA DE LLENADO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA, UBICADA EN LOS CORTIJOS

Tutor industrial: Ulises Valdespino
Prof. Guía: Alexander Cepeda

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por el Br. Robert. Schurman A.
para optar al Título de
Ingeniero Electricista

Caracas, 2015

CONSTANCIA DE APROBACIÓN

Caracas, 27 de febrero de 2015

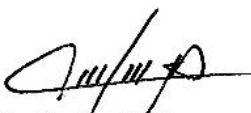
Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Eléctrica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Robert Schurman A., titulado:

**“ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE FUERZA EN LA
SALA DE LLENADO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE CERVEZA,
UBICADA EN LOS CORTIJOS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Electricista en la mención de Potencia, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



Prof. Julián Pérez
Jurado



Prof. José Mora
Jurado



Prof. Alexander Cepeda
Prof. Guía

DEDICATORIA

A todas aquellas personas allegadas que directa o indirectamente contribuyeron con el alcance de esta meta, especialmente:

A mi madre Mariela Arreaza.

A mis hermanos Alexandre y Robin Schurman.

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS

A mi madre Mariela Arreaza por todo el apoyo brindado y el esfuerzo colocado en todos mis años de estudio. Por siempre buscar la manera de ofrecerme la mejor educación posible en la medida de sus posibilidades. Además de siempre estar ahí en los momentos difíciles.

A mis abuelos Elena Schurman, Josefina y Roberto Arreaza, quienes me han estado brindando toda la ayuda y apoyo posible en esta y todas las metas alcanzadas en mi vida.

Al profesor Alexander Cepeda, por ser en un tutor ejemplar de este Trabajo Especial de Grado que brindado apoyo y enseñanzas en el ámbito profesional. También le agradezco el haberme brindado la oportunidad de realizar este trabajo bajo su tutoría.

A mis amigos Eduardo Bretto, Carlos Méndez, Arturo Maitin, Fabio Roviello, Raymar Escalona con quienes compartí y de quienes aprendí muchísimo con el pasar del tiempo, superando todas las dificultades que la vida universitaria y especialmente esta carrera ofrecen. Además todos contribuyeron con en la realización de este Trabajo.

A mis amigos de mención, Frederic jaimes, William Simoes, Daniel Marcano, con quienes de manera alternada siempre estuvimos haciendo grupos de trabajo o estudio para apoyarnos en todo lo que hiciera falta.

Al profesor Rafael Malpica por las consultas que ayudaron a realizar este Trabajo.

Schurman A., Robert

**ESTUDIO TÉCNICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE FUERZA EN
LA SALA DE LLENADO DE UNA PLANTA PRODUCTORA DE
CERVEZA, UBICADA EN LOS CORTIJOS**

Prof. Guía: Ing. Alexander Cepeda. Tutor Industrial: Ulises Valdespino . Tesis. Caracas U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica. Ingeniero Electricista. Opción: Potencia. Institución: UCV Ingeniería. Trabajo de Grado. 2014. 92 h + Anexos.

Palabras claves: Protecciones, Diagnostico, Coordinación de Protecciones, Estudio de Carga, Líneas de Envasado, Capacidad, producción.

Resumen: En este trabajo especial de grado se realizó el levantamiento de la red eléctrica que alimenta a ocho líneas de envasado en la planta Cervecería Polar C.A, se identificó la red eléctrica y sus instalaciones, se realizó el diagrama unifilar del sistema, se realizó el levantamiento de los componentes que lo conforman, se colocó un registrador de carga para analizar el comportamiento de las cargas y, la demanda de cada uno de los tableros y de la acometida de las líneas de envasado, se verificó si se cumplía con las distintas normas. Se generó un indicador de consumo de energía con respecto a la producción, se realizó la inspección de las instalaciones con atención a tableros, protecciones y conductores. Luego, se realizó un diagnóstico tomando como referencia las normas nacionales e internacionales. En este trabajo se estudió la situación actual de los sistemas de protección y carga de los circuitos para realizar propuestas y recomendaciones que se puedan hacer para mejorar la selectividad de las protecciones y el funcionamiento del sistema. Se evaluó el comportamiento y niveles de demanda de las cargas para determinar la capacidad del banco de transformadores que estos representan.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE GENERAL.....	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABLAS	xi
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I.....	4
MARCO REFERENCIAL	4
1.1 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA	4
1.2 OBJETIVOS.....	5
1.3 ALCANCE	6
1.4 LIMITACIONES.....	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO	7
2.1 PROCESO DE ENVASADO DE CERVEZA Y MALTA.....	7
2.2 CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO	9
2.3 CURVA DE DAÑO DE LOS TRANSFORMADORES.....	11
2.4 CURVA DE DAÑO DE LOS CONDUCTORES.....	12
2.5 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE EN SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN.....	12
2.6 PROPIEDADES DE LAS PROTECCIONES	14
2.7 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES	15
2.8 MÁRGENES DE COORDINACIÓN.....	15
2.9 PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES	16
CAPÍTULO III.....	17
METODOLOGÍA.....	17
3.1 AREÁ DE INVESTIGACIÓN.....	17

3.2	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	17
3.3	LEVANTAMIENTOS DE LOS CIRCUITOS	17
3.4	DIAGRAMA UNIFILAR	18
3.5	ESTUDIO DE LA CARGA	18
3.6	CÁLCULO DEL NIVEL DE CORTOCIRCUITO.....	20
3.7	COORDINACIÓN DE PROTECCIONES	20
3.8	EVALUACIÓN DE LOS TABLEROS	21
3.9	EVALUACIÓN DE LAS PROTECCIONES	21
3.10	EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES	21
3.11	COMPARACION DE EFICIENCIA.....	23
CAPÍTULO IV		24
LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DE LOS CIRCUITOS ALIMENTADORES DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCIÓN.		24
4.1	DESCRIPCIÓN DE LOS ALIMENTADORES DE LAS SUBESTACIONES 25	
4.2	DESCRIPCIÓN DE LAS SUBESTACIONES.....	28
4.3	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA TIERRA DE LA SUBESTACION DE ENVASADO.	31
4.4	DESCRIPCIÓN DE LAS SALAS DE CONTROL DE LAS LINEAS DE ENVASADO.	32
4.5	IDENTIFICACIÓN DE LOS ALIMENTADORES DE LA LINEAS DE PRODUCCIÓN.....	33
4.6	DESCRIPCIÓN DE LOS TABLEROS PRINCIPALES DE SALAS DE CONTROL DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCION.....	33
CAPÍTULO V.....		34
ESTUDIO DE CARGA DEL SISTEMA ELECTRICO		34
5.1	RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS TABLEROS DE LAS LÍNEAS DE ENVASADO.	36
5.2	PROPUESTA DE REDISTRIBUCIÓN DE LA CARGA.....	38
CAPÍTULO VI.....		41
COORDINACIÓN DE PROTECCIONES		41
6.1	ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO	42
6.2	MODELADO DEL SISTEMA	42
6.3	CALCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO $I''k$	46

6.4	CRITERIOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA COORDINACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA	48
6.5	ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
CAPÍTULO VII.....		58
DIAGNÓSTICO DE LAS INSTALACIONES		58
7.1	EVALUACIÓN DE LOS TALEROS	58
7.2	EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES.	65
7.3	EVALUACIÓN DE LAS PROTECCIONES DE CONDUCTORES	66
7.4	COMPARACIÓN DE EFICIENCIA	68
CONCLUSIONES		70
RECOMENDACIONES		72
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		74
BIBLIOGRAFÍA		76
ANEXOS		73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Recorrido de la línea de llenado 2 Fuente	8
Figura 2. Esquema del Sistema a Estudiar	25
Figura 3. Esquema unifilar del Alimentador de Envasado.	27
Figura 4. Configuración de la Malla de Tierra.....	31
Figura 5. Modo de conexión del analizador de energía.	34
Figura 6. Esquema de los alimentadores del sistema.....	42
Figura 7. Esquema del sistema indicando los puntos de falla.....	46
Figura 8. Coordinación de protecciones propuesta con dispositivos de remplazo para las líneas de envasado (1, 2, 3, 4, 5, 6).....	55
Figura 9. Coordinación de protecciones propuesta con dispositivos de remplazo para las línea de latas	56
Figura 10. Tableros de las líneas de envasado 1(A y B), Latas (A y B)	59
Figura 11. Tableros de las líneas de envasado 2 y 4.	59
Figura 12. Tableros de las líneas de envasado 3 y 5.....	60
Figura 13. Tableros de la línea de envasado 6 (A y B)	60
Figura 14. Conexión de neutro y puesta tierra de los tableros de las líneas 1 y latas. 63	
Figura 15. Conexión de neutro los tableros de las líneas de envasado 2, 3, 4y 5	63

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de las Barras 1 y 2.	26
Tabla 2. Características de los Interruptores de Media Tensión.	26
Tabla 3. Características de los Conductores Alimentador 1 y 2	26
Tabla 4. Características del Interruptor en Celda.	27
Tabla 5. Características de los Transformadores de 1500 kVA.	29
Tabla 6. Características de los Transformadores de 2000 kVA.	29
Tabla 7. Característica de la Barra A y B.	30
Tabla 8. Característica de la Barra C.	30
Tabla 9. Interruptor asociado a los alimentadores a las líneas de envasados.	31
Tabla 10. Criterios de Comparación.	36
Tabla 11. Resumen de resultados de las mediciones realizadas.	37
Tabla 12. Porcentaje utilizado de la capacidad de equipos.	38
Tabla 13. Carga máxima estimada de las líneas 6 y 7 (Latas)	39
Tabla 14. Carga de los transformadores.	39
Tabla 15. Impedancia de los conductores alimentadores.	45
Tabla 16. Nivel de Cortocircuito Simétrico en el Sistema.	47
Tabla 17. Identificación de los equipos de protección del sistema	48
Tabla 18. Pares de coordinación de las protecciones del sistema	50
Tabla 19. Ajustes propuestos de los equipos de protección del sistema	52
Tabla 20. Resultados de la coordinación de protecciones.	53
Tabla 21. Evaluación de la capacidad de cortocircuito de los tableros.	62
Tabla 22. Conductores que no soportan corriente de cortocircuito	66
Tabla 23. Circuitos ramales donde el conductor no está protegido.	67
Tabla 24. Comparación de eficiencia entre las líneas de envasado.	68

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

PET	<i>Polythylene Terephthalate.</i>
AWG	<i>American Wire Gauge.</i>
CEN	Código Eléctrico Nacional.
COVENIN	Comisión Venezolana de Normas Industriales.
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers.</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission.</i>
NEMA	<i>National Electrical Manufacturers Association.</i>
THD	Total Harmonic Distortion.

INTRODUCCIÓN

Empresas Polar es una corporación industrial venezolana con más de 70 años de historia, que está constituida por tres negocios (Cervecería Polar C.A., Alimentos Polar C.A. y Pepsi-Cola Venezuela C.A), sus actividades productivas están centradas en el sector de alimentos y bebidas. En el año 1951 en respuesta a las exigencias del mercado inician las operaciones en la planta de Cervecería Polar en los Cortijos - Caracas, con una capacidad instalada de 500 mil litros de cerveza al mes.

Actualmente operan en dicha planta ocho líneas de envasado, las cuales presentan diferencias en su configuración en cuanto al modelo y modernidad de los equipos, capacidad de producción, y manejo de la diversidad de productos tales como diferentes tipos de cerveza y malta, en una variedad de presentaciones, ya sea en botellas retornables, no retornables, latas y la presentación de botella plástica de 1,5 litros.

Cuatro de estas líneas de envasado están en funcionamiento desde hace más de 30 años, y han sido objeto de mantenimientos correctivos en el transcurso del tiempo, cambiando maquinarias importantes ligadas al proceso y al manejo del producto. Posteriormente se crearon otras cuatro líneas de envasado que tienen a la fecha aproximadamente 6 años de antigüedad.

La planta cuenta con un sistema de distribución de energía a un nivel de tensión de 4,8 kV que alimenta un grupo de subestaciones distribuidas en diversos puntos estratégicos de esta planta. Una de estas subestaciones está destinada a alimentar el área de envasado, donde se encuentra siete de las ocho de las líneas que comprenden este estudio mientras que la octava línea de envasado se encuentra en un punto apartado y

está alimentada por otra subestación distinta, destinada a la alimentación de dicha línea de envasado y a algunas edificaciones ubicados en la periferia de dicha subestación.

Las líneas de envasado están alimentadas por un sistema trifásico a 460 V, proveniente de las respectivas subestaciones donde se distribuyen a los diferentes tableros de las líneas que a su vez alimentan los distintos equipos que conforman las líneas de envasado.

En este se trabajo realiza un estudio para identificar y documentar cómo se encuentra actualmente el sistema eléctrico de fuerza; para esto se plantean varios objetivos que comprenden desde el levantamiento y evaluación del sistema actual, así como estudiar el comportamiento de las cargas asociadas las líneas de envasado, y que capacidad de los transformadores y equipos representa esta carga. Estudio del estado en la cual se encuentran los sistemas de protecciones en los circuitos bajo estudio y sus posibles mejoras. Se realiza una coordinación de los sistemas de protección, la cual tiene por objeto determinar todos los ajustes que deben hacerse en los equipos de protección con el fin de que cada uno realice la función específica que le corresponde; de esta manera generar la información necesaria para realizar propuestas que les permita optimizar las operaciones a mediano y largo plazo.

Para el logro de los objetivos este trabajo se dividió en siete capítulos, los cuales se describen a continuación.

En el Capítulo I se hace el planteamiento del problema, se estipulan los objetivos a seguir, las limitaciones encontradas y el alcance del trabajo realizado.

En el Capítulo II se incluyen una descripción del proceso de envasado y los fundamentos teóricos de la investigación necesarios para el desarrollo del estudio.

En el Capítulo III se señalan los pasos, métodos y procedimientos aplicados para la estructura para la realización de trabajo.

En el Capítulo IV se procede a realizar un levantamiento del sistema eléctrico bajo análisis, describiendo los elementos que conforman los circuitos que alimentan las líneas de envasado.

En el Capítulo V se realizó un análisis del comportamiento de la carga de los tableros de las líneas de envasado, comparando los resultados con diferentes normas y evaluando el factor de utilización de los transformadores y circuitos asociados, para luego hacer una propuesta de cómo podrían redistribuirse las cargas.

En el Capítulo VI se calcula en nivel de cortocircuito en los diferentes tableros y barras, con el objeto de estudiar la coordinación y comportamiento de los equipos de protección, generando propuestas para la mejora del sistema.

En el Capítulo VII se realiza un diagnóstico donde se evalúa de los tableros verificando la integridad de la envolvente y tapas, se analiza la capacidad de cortocircuito de los tableros, la evaluación de los conductores y evolución de la puesta a tierra de los tableros y equipos. Se genera un índice de comparación de consumo energético entre las diferentes líneas de envasado.

Para finalizar, se presentan una serie de recomendaciones para futuros incursores en esta área y conclusiones referentes a este trabajo, así como una serie de anexos que ayudan a la comprensión de todo lo expuesto en este trabajo especial de grado.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1 PLANTAMIENTO DEL PROBLEMA

El sistema eléctrico de fuerza actual de la planta Cervecería Polar, es un sistema trifásico de baja tensión con niveles de tensión de 460 V provenientes de subestaciones eléctricas internas de la planta, que han estado sujetas a remodelaciones y ampliación de la carga a través del tiempo, esto trae como consecuencia la alteración de las variables de diseño. Por tal motivo se desea evaluar la instalación eléctrica que alimenta a ocho líneas de envasado de bebidas.

Vale destacar que debido a las diferencias que presentan las líneas de producción en cuanto a su capacidad de producción, procesos para elaborar los diferentes productos, modernidad, y modelo de los equipos, así como las diferencias en los criterios de diseño y configuraciones de las mismas, esto da como resultado que los sistemas de alimentación y protección presenten configuraciones distintas, lo cual puede o no presentar discrepancias con los preceptos establecidos por las normas nacionales e internacionales vigentes.

Es por este motivo que, en aras de mejorar la eficiencia y conocer el estado actual en cuanto a la coordinación de protecciones, demanda de energía de las líneas de envasado y el cumplimiento de las normas nacionales e internacionales vigentes, está el interés en obtener información técnica sobre las condiciones del sistema de alimentación de las líneas de envasado.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar el sistema eléctrico de fuerza en la sala de llenado de la planta productora de cerveza, ubicada en los Cortijos.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Realizar el levantamiento eléctrico de los componentes que conforman los circuitos que alimentan a las 8 líneas de producción de la planta Cervecería Polar, Los Cortijos.
- Documentar la red eléctrica de baja tensión del sistema de alimentación de las 8 líneas de envasado.
- Realizar el diagnóstico del sistema eléctrico que alimenta las líneas de producción antes mencionadas.
- Coordinar las protecciones de baja tensión asociadas al sistema eléctrico, de acuerdo a los estándares de la empresa.
- Realizar el estudio de carga del sistema eléctrico.
- Realizar una propuesta para la redistribución de las cargas.
- Comparar la eficiencia en consumo de energía de las diferentes líneas de producción.

1.3 ALCANCE

Las actividades se llevaron a cabo en el sistema eléctrico que alimenta a las líneas de envasado de la sala de llenado de la Planta Cervecería Polar de los Cortijos y los equipos que las conforman, a partir del secundario de los transformadores ubicados en las subestaciones que alimentan estas líneas, hasta los tableros principales y protecciones principales de los equipos de las líneas de envasado. En este trabajo se estudió la situación actual de los sistemas de protección, carga de los circuitos que alimentan las líneas de envasado, para realizar propuestas y recomendaciones que se puedan realizar para mejorar la selectividad de las protecciones. También se hacen mediciones con el analizador de energía Grid Analysis Tool MC 7000-3 en las líneas de envasado 1, 2, 3, 4 y 5, para evaluar el comportamiento y niveles de demanda de las cargas y determinar el factor de utilización de los transformadores y comparar algunos parámetros eléctricos según son indicados en algunas normas nacionales e internacionales.

1.4 LIMITACIONES

Para hacer el levantamiento en campo y las respectivas mediciones se debió realizar con personal autorizado de la empresa, por lo que en ocasiones no se tenía el acceso necesario debido a la disponibilidad del personal, los equipos instalados en los circuitos bajo estudio en algunos casos tienen más de veinte años de antigüedad y las especificaciones técnicas y manuales de estos equipos no se tienen en la empresa, en este sentido hubo que ubicar dichos manuales para la realización de este trabajo.

La disponibilidad del equipo con el cual se realizaron las mediciones del estudio de carga fue limitada, ya que la empresa no contaba con éste y el alto costo del alquiler llevó como consecuencia, que se redujeran los tiempos de medición en las líneas de envasado de interés, y se dejaron por fuera los tableros de las líneas de envasado 6, latas y PET.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 PROCESO DE ENVASADO DE CERVEZA Y MALTA

En planta los cortijos el proceso de envasado de cerveza y malta se lleva a cabo en ocho líneas de producción, las cuales varían según las presentaciones del producto a envasar. Los equipos principales en dichas líneas son: despaletizador, desembalador, lavadora, inspectores, llenadora, pasteurizador y paletizador.

En las líneas 1, 2, 3, 4 y 5, se envasa cerveza y malta en botellas retornables en sus diferentes presentaciones: 222, 300 y 330 ml. Estas líneas cuentan con los siguientes equipos: despaletizador, desembalador, lavadora, inspector de vacío, llenadora, inspector de lleno, codificador, pasteurizador, embalador, contador de cajas y paletizador. Es importante destacar que solo la línea 1 cuenta con sólo desembalador, inspector de llenado y de lleno, llenadora, embalador; las demás líneas cuentan con dos de cada equipo anteriormente mencionado, como el ejemplo presentado en la figura 1.

La línea 6 envasa cerveza y malta en botellas no retornables en sus diferentes presentaciones: 250, 300 y 355 ml. Cuenta con los mismos equipos que las demás líneas exceptuando la lavadora y la etiquetadora. Por esta línea sólo corren botellas no retornables, lo que significa que son botellas completamente nuevas, por lo tanto en vez de la lavadora se cuenta con equipo llamado Rinser que lava la botella enjuagándola con agua ionizada.

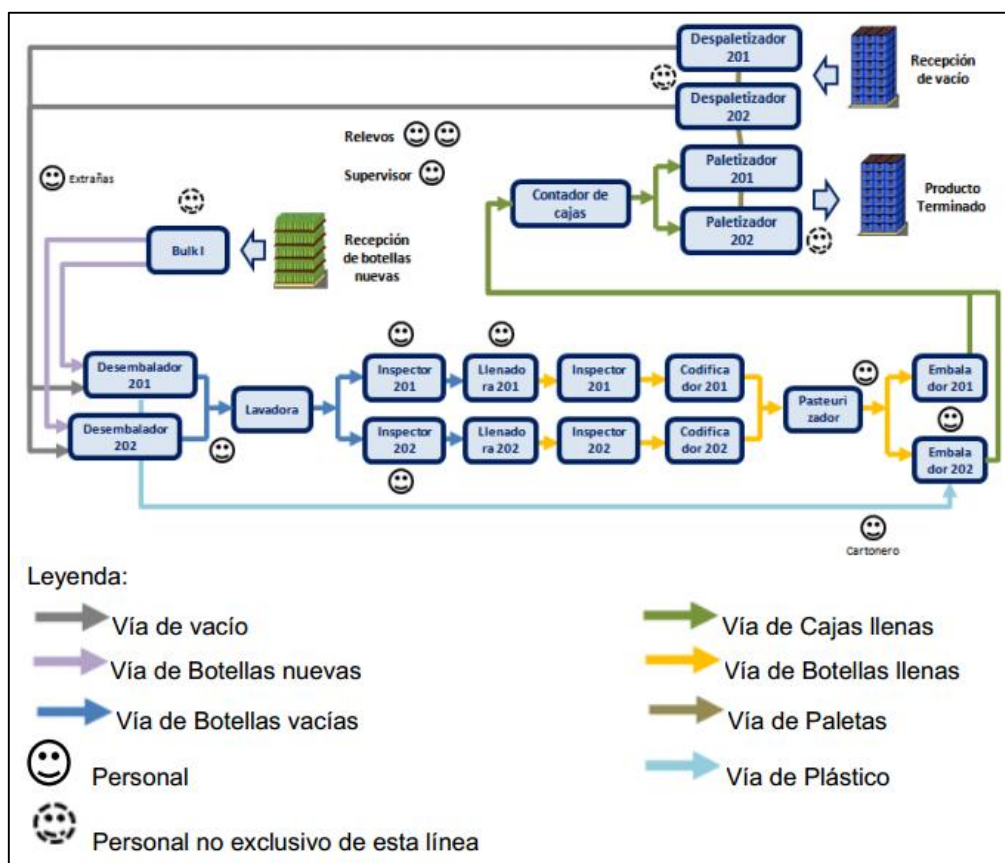


Figura 1. Recorrido de la línea de llenado 2

Fuente: suministrado por Empresas Polar

La línea 7 envasa cerveza y malta en latas en sus diferentes presentaciones: 250, 295 y 355 ml. El recorrido por esta línea consiste en las siguientes etapas: despaletizador, lavadora iónica de latas, codificación de envases, llenado y tapado de latas, pasteurización del producto y embalado en empaques de 24 unidades.

En la línea 8 se envasa malta en botellas tipo PET de 1.5 lts. El recorrido de la botella consiste en las siguientes etapas: soplado de la preforma, lavado de botellas (Rinser), pasteurizado del producto, llenado y tapado de botellas, inspección de llenado, codificado, pasteurizado del envase, etiquetado, inspección de etiquetado y microfugas, embalado de botellas y paletizado.

2.2 CÁLCULO DE CORRIENTES DE CORTOCIRCUITO

Para realizar el cálculo de la corriente de cortocircuito se utilizó como referencia la norma IEC 60909-0 “*Short-circuit currents in three-phase a.c. systems*” [1] y IEC 909-2 “*Electrical equipment-Data for short-circuit current calculations in accordance with IEC 909 (1988)*”. [2].

2.2.1 CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO

La corriente simétrica inicial de cortocircuito trifásico I''_k es calculada según la ecuación 29 del punto 4.2.1 de la IEC 60909-0:

$$I''_k = \frac{c * U_{nQ}}{\sqrt{3}Z_k} \quad (1)$$

Donde:

Z_k : Impedancia en el punto de falla.

U_{nQ} : Tensión de línea del sistema.

c : Factor de acuerdo a la tabla 3 de la norma.

2.2.2 CORTOCIRCUITO MONOFÁSICO

La corriente simétrica inicial de cortocircuito monofásico I''_{k1} es calculada según la ecuación 53 del punto 4.2.4 de la IEC 60909-0 [1]:

$$I''_{k1} = \frac{c * U_{nQ}}{\sqrt{3} * |2 * Z_1 + Z_0|} \quad (2)$$

Donde:

Z_1 : Impedancia de secuencia positiva en el punto de falla.

Z_0 : Impedancia de secuencia cero en el punto de falla.

U_{nQ} : Tensión de línea del sistema.

c : Factor de acuerdo a la tabla 3 de la norma.

Para calcular la corriente de cortocircuito monofásico que circularía por sistema se usa la siguiente expresión:

$$I_{1\varphi} = 3 * I''_{k1} \quad (3)$$

Para determinar la impedancia cero equivalentes de los conductores se tomó como referencia la figura 13 de la norma IEC 909-2 [2].

Para determinar el valor de impedancia de secuencia cero de estos transformadores se tomó como referencia la tabla 1 de la norma IEC 60076-8 “*Power Transformers - Application Guide*” [3], que nos revela que un transformador cero conectado tal como delta estrella con neutro sólidamente puestos a tierra, su impedancia cero es igual ($Z_0 = 0,9 * Z_1$).

2.2.3 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Si un cortocircuito trifásico es alimentado por una red en la cual sólo se conoce el valor inicial de cortocircuito simétrico I''_{kQ} en el punto de alimentación y la tensión nominal, la impedancia Z_Q se calcula según IEC 60909-0 [1]:

$$Z_Q = \frac{c * U_{nQ}}{\sqrt{3} I''_{kQ}} \quad (4)$$

2.2.4 FUENTE DE TENSIÓN EQUIVALENTE

El método para el cálculo utiliza una fuente de tensión equivalente en el punto de falla y esta será la única fuente de tensión activa del sistema, todos los alimentadores son reemplazados por su impedancia interna. La fuente equivalente de tensión se calcula mediante la ecuación (5) según IEC 60909-0 [1]:

$$U_f = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}} \quad (5)$$

2.3 CURVA DE DAÑO DE LOS TRASFORMADORES

Para representar el efecto eléctrico y mecánico de las fallas en transformadores la norma IEEE C37.91-2006 “*Guide for Protecting Power Transformers*”. [4] Define los puntos de la curva tiempo-corriente que puede resistir un transformador de potencia sin que los esfuerzos mecánicos y térmicos a que es sometido durante una falla externa le causen daño permanente.

Considerando que las fallas que puedan ocurrir son “infrecuente” (los transformadores no experimentaran más de 10 fallas en el secundario durante su vida útil) y conociendo la capacidad de los transformadores a estudiar, la norma IEEE C37.91-2006 “*Guide for Protecting Power Transformers*”. [4] Nos indica que para construir la curva de daño de los transformadores se toma como la curva característica la figura A2 que aparece en dicha norma. (Ver anexo 7).

Para los transformadores también se dibuja el punto que representa la corriente de magnetización del equipo. Este se grafica en $t=0,1$ segundos y para un valor de corriente entre 8 y 12 veces la corriente de plena carga., tal como recomienda la norma IEEE Std 242-1986 “*Recommended Practice for Protection and Coordination of Industrial and Comercial Power Systems*” [5].

2.4 CURVA DE DAÑO DE LOS CONDUCTORES

Para representar el efecto eléctrico de las fallas en conductores, se evaluaron los conductores utilizando la tabla 240.92 (B) del CEN [6] la cual establece la fórmula del calentamiento del conductor.

$$\frac{I^2}{A^2} * t = 0,0297 * \log \left(\frac{T_2 + 234}{T_1 + 234} \right) \quad (6)$$

Donde:

T_1 : Temperatura inicial del conductor [$^{\circ}\text{C}$].

T_2 : Temperatura final del conductor [$^{\circ}\text{C}$].

t : Tiempo de cortocircuito [s].

A : Área del conductor [cmil].

I : Corriente de cortocircuito [A].

2.5 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS DE PROTECCIÓN DE SOBRECORRIENTE EN SISTEMAS DE BAJA TENSIÓN

Algunos de los dispositivos de protección más comúnmente usados en los sistemas eléctricos de baja tensión son los fusibles limitadores, interruptores termo magnéticos. A continuación se realiza una breve descripción de estos:

- Fusibles limitadores

Los fusibles se definen como dispositivos de sobre corriente con un material que se calienta y es destruido cuando pasa una cantidad de corriente determinada. Provocando la apertura del circuito asociado al mismo. Los fusibles limitadores son diseñados para actuar mucho más rápido que los

fusibles normales. Ya que pueden realizar la apertura del circuito en menos de $\frac{1}{2}$ ciclo, antes que la magnitud de la corriente de cortocircuito llegue a sus valores máximos.

- Interruptores termo magnéticos

Son dispositivos diseñados para abrir o cerrar un circuito eléctrico manualmente y automáticamente cuando circula por el un valor predeterminado de sobre corriente o cortocircuito. Estos interruptores son muy utilizados para la protección de sobre corriente en sistemas eléctricos industriales.

Estos interruptores. Poseen dos acciones de disparo. Una térmica y otra magnética. La acción de disparo térmica (protege ante sobre cargas). Se obtiene a base del empleo de un dispositivo bimetalico que se calienta al circular por el la corriente. La curva de operación de la acción térmica se conoce como curva de corriente de tiempo inverso, ya que el dispositivo bimetalico actúa más rápidamente mientras mayor sea la corriente de sobrecarga. La acción de disparo magnético (protege contra cortocircuito). Se obtiene al conectar un electro magneto en serie con el dispositivo bimetalico. Cuando ocurre un cortocircuito. La corriente activa al electro magneto, abriendo los contactos del interruptor instantáneamente.

- Interruptores de potencia con unidades de disparo de estado sólido

Este conjunto se usa cuando los niveles de corriente no permiten el uso de dispositivos de acción directa. El conjunto requiere elementos de muestreo y elementos de control para el disparo del interruptor. Generalmente se emplean

en los interruptores principales de las subestaciones o en interruptores para alimentadores importantes. Los interruptores de estado sólido presentan bastante exactitud en los umbrales de disparo y tienen curvas de operación ajustables según la necesidad. Generalmente estas unidades de disparo incluyen las siguientes funciones:

- Curva de retardo largo (L.T.D): se utiliza para limitar las corrientes de sobrecarga en el orden de segundos a minutos.
- Curva de retardo corto (S.T.D): se provoca retardo intencional de pocos ciclos de corriente con la finalidad de lograr coordinación con protecciones aguas abajo.
- Disparo instantáneo: el interruptor opera inmediatamente al ocurrir la falla. Se utiliza para zonas del circuito donde los cortocircuitos deben despejarse en forma rápida para evitar daños.

2.6 PROPIEDADES DE LAS PROTECCIONES

El sistema de protección tiene por objeto la detección, localización y desconexión en forma automática del equipo afectado a fin de minimizar los efectos que el funcionamiento prolongado en estado de falla tendría sobre la instalación. Para cumplir con estas funciones, el sistema de protección debe cumplir las siguientes condiciones fundamentales: (velocidad, selectividad, estabilidad, confiabilidad, sensibilidad) [7]

- Selectividad: es la cualidad de los sistemas de protección eléctrica por la cual su accionamiento debe sacar de servicio solo la porción de la red afectada por la falla o en su defecto, la menor porción posible.
- Estabilidad: asegura que el sistema de protección no operará para fallas que se encuentran fuera del tramo o equipo al que se le ha asignado proteger (la protección permanece estable).

- Confiabilidad: determina la seguridad de que cada dispositivo opera en todas las ocasiones en que sea necesario de manera de no afectar la selectividad del conjunto.
- Sensibilidad: es un término usado frecuentemente cuando nos referimos al nivel de operación mínimo (corriente, voltaje, potencia, etc.) de los esquemas de protección. Se dice que la protección o el esquema es sensible si los parámetros primarios de operación son bajos.
- Velocidad: La función de los sistemas de protección es aislar las fallas en el sistema de potencia tan rápido como sea posible. El principal objetivo es permitir la continuidad del servicio, despejando cada falla antes de que conlleve a un colapso del sistema de potencia.

2.7 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Es la operación selectiva de los diferentes dispositivos de protección, de manera que éstos actúen en secuencia, y logren desconectar solamente la parte afectada. Para esto se requiere seleccionar los dispositivos de protección correctos y asignarles parámetros de ajuste que garanticen el despeje adecuado de área fallada [7]

La coordinación se visualiza en curvas características tiempo – corriente y son dibujadas en papel log-log (logarítmico). Estas graficas se deben realizar a un solo nivel de tensión determinado.

2.8 MÁRGENES DE COORDINACIÓN

Existe una tolerancia que debe considerarse al representar la familia de curvas características de los dispositivos de protección. Esto ocurre porque el segundo

dispositivo de protección en la cadena de selectividad continua viendo la corriente de falla hasta que el interruptor asociado al primer dispositivo opere y se extinga el arco. La norma IEEE 242-1986 [5], estipula que la coordinación entre interruptores termomagnéticos de baja tensión se logra si las curvas de protección de estos dispositivos no se cruzan o solapan.

2.9 PROTECCIÓN DE TRANSFORMADORES

La protección primaria del transformador debe ser capaz de llevar la corriente de magnetización, es decir, la característica tiempo-corriente de este dispositivo debe estar por encima en tiempo del punto de magnetización.

La protección primaria del transformador debe ser capaz de abrir la corriente de falla en el secundario antes de que el transformador se dañe es decir que la característica tiempo-corriente de la protección debe estar por debajo de la curva de daño térmico-magnético del transformador. Según IEEE [5]

En la sección 450 del Código Eléctrico Nacional [6], se establece, los lineamientos para la selección y ajuste de las protecciones de sobrecorriente de los transformadores. Los principales criterios que fueron tomados en cuenta son los siguientes:

- Los transformadores con una tensión en el primario de 4,8 kV, la protección conectada en el lado del secundario se ajusta a 125% de la corriente nominal.
- En transformadores donde la tensión del primario es de 600 V o menor, la protección en el secundario se ajusta a 125% de la corriente nominal y la protección en el primario a no más de 250%.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 AREÁ DE INVESTIGACIÓN

El estudio se llevó a cabo en las instalaciones del área de envasado de Cervecería Polar los Cortijos ubicada en los Cortijos de Lourdes, municipio Sucre, Caracas. Estado Miranda, en la Gerencia de Envasado.

Se hizo el estudio en el sistema eléctrico que alimenta a las líneas de envasado que se encuentra en dicha planta, el cual comprende desde la subestaciones de distribución que alimentan esta área, y las salas de control donde se encuentran los tableros de distribución que alimentan los equipos de dichas líneas de envasado.

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo está basado en una investigación de campo a nivel descriptivo y explicativo donde se realiza el levantamiento de las características de los circuitos eléctricos en las instalaciones de la empresa, además de documentar y analizar lo encontrado con respecto a los objetivos propuestos, ya que el propósito del trabajo es presentar el estado del sistema y hacer propuestas viables.

3.3 LEVANTAMIENTOS DE LOS CIRCUITOS

El levantamiento de los circuitos, puntos de transformación, protecciones, acometidas y tableros que alimentan a las líneas de envasado, se realizó mediante la revisión de los planos físicos existentes, luego se tomaron nuevos datos mediante inspección visual. En las subestaciones se anotó y levantó los datos de los equipos, las conexiones a la puesta

a tierra, el calibre y tipo de conductor, tuberías o canaletas y el número de conductores en el lado de baja y alta tensión de los transformadores así como las especificaciones técnicas de placa.

Se visitaron las salas de control de las líneas de envasado donde se ubican los tableros que alimentan estas líneas, se inspeccionaron y se tomó nota de las características de las protecciones, los alimentadores, circuitos y se realizó un registro.

3.4 DIAGRAMA UNIFILAR

El diagrama unifilar se realizó usando como base los planos existentes hasta la fecha y tomando en cuenta las modificaciones realizadas no contempladas en ellos. Se procedió a recopilar datos actualizados por medio de recorrido de los circuitos, visitas a los sala de control, subestaciones y recopilación de datos de los equipos en el sitio.

Luego de realizar la inspección y levantamiento eléctrico del sistema. Se constató cómo se distribuye la energía desde la acometida de media tensión (4800 V) de las subestaciones hasta los tableros principales de las líneas de envasado y desde este punto hacia las protecciones principales de las cargas más importantes, con el fin de construir un diagrama actualizado y completa del sistema a estudiar. Tal como se muestra en el Anexo 5.

3.5 ESTUDIO DE LA CARGA

El estudio de la carga se realizó con un analizador de energía Grid Analysis Tool MC7000 fabricado por EPCOS con el cual se obtuvo registro de la tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia, armónicos de corriente y tensión, para cada una de las y línea de envasado respectivamente. Luego se calculó el factor de utilización de la acometida y transformadores. Se estudió la demanda energética, las tensiones, el desbalance de tensión, desbalance de corriente,

factor de potencia, distorsión de onda de tensión y se compraron los valores obtenidos con los que establecen las normas, para verificar su cumplimiento.

Para evaluar las variables registradas se utilizaron como referencia los siguientes criterios:

- NIVELES DE TENSIÓN

La norma COVENIN 159 “*TENSIONES NORMALIZADAS DE SERVICIO*” [8] la cual establece un valor máximo de $\pm 5\%$.

- DESBALANCE DE TENSIÓN

La norma “*IEEE 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*” en la que se establece un máximo o igual 2% [9] y la norma NEMA MG1 “*Motors And Generator*” establece que la capacidad de un motor asincrónico que trabaja a potencia nominal sin presentar daños se ve reducida después de un 1% de desbalance de tensión [10].

- DESBALANCE DE CORRIENTE

El “*Reglamento del Servicio Eléctrico*” en el artículo 55 establece como máximo el 10% de diferencia entre la corriente de la fase con menor carga y las corrientes otras dos fases. [11].

- FACTOR DE POTENCIA

El artículo 57 del “*Reglamento del Servicio Eléctrico*” [11] el cual establece un mínimo de factor de potencia de 0,9 en condiciones normales de operación.

- DISTORSIÓN DE ONDA DE VOLTAJE THDV

La norma IEEE 519-1992 “*Recommended Practice and Requeriments for Harmonic Control in Electrical Power Systems*” en la cual se establece un valor

límite menor o igual a 5% [12] y “*las normas de calidad de servicio de distribución de electricidad*” el cual establece que el THDV permitido debe ser menor al 8% [13].

3.6 CÁLCULO DEL NIVEL DE CORTOCIRCUITO

Se calculó el nivel de cortocircuito del sistema en los tableros de las líneas de envasado, barras e interruptores más importantes de la subestación, para comparar la actuación de los interruptores y la capacidad de soportar los niveles de cortocircuito impuestos por el sistema, usando fundamentos estipulado en el marco teórico.

3.7 COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Se verificó el funcionamiento del sistema de protección existente en la red eléctrica anteriormente descrita, a fin de constatar si de acuerdo a la configuración, al tipo de dispositivos instalados y los ajustes de los mismos, se cumplen los requerimientos necesarios de protección (velocidad, sensibilidad, selectividad, estabilidad y confiabilidad).

Se realizó un levantamiento reconociendo el fabricante y tipo de los interruptores, así como su rango de ajuste en cada una de sus funciones, y sus ajustes actuales. Y luego se localizaron las curvas características de tiempo – corriente de todos los dispositivos a ser coordinados.

Se realizó la coordinación de las protecciones a través de gráficos de coordinación. Se verificó la coordinación de protecciones en las barras principales de las subestaciones con los dispositivos aguas abajo.

Se evaluó la coordinación existente trabajando con el rango de ajustes de los mismos equipos. Para luego constatar si se podría lograr una coordinación completa entre los

dispositivos, gracias a las características tiempo – corriente de los interruptores, y el rango de ajuste que poseen los mismos.

3.8 EVALUACIÓN DE LOS TABLEROS

Mediante inspección visual se evaluaron los tableros, considerando el estado de la envolvente, las tapas y puertas. Se verificaron las distancias mínimas para la curvatura de los conductores, la dirección de salida del conductor, la distancia mínima entre fases y entre fase y neutro, tableros puestos a tierra en la barra de tierra o si había una conexión en la envolvente. Se utilizaron las referencias COVENIN 542 “*Tableros Para Alumbrado y Artefactos*” [14] , COVENIN 3508 “*Centros de fuerza y Distribución*” [15] y NEMA PB1 [16].

3.9 EVALUACIÓN DE LAS PROTECCIONES

Se estudió las protecciones comparando la capacidad de interrupción de los equipos con los niveles de corriente de cortocircuito, ante falla en los distintos puntos de la red para determinar si podría soportar esta corriente sin riesgo de daños. Se evaluó si las protecciones protegen a los conductores de sobrecargas.

3.10 EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES

Los conductores se evaluaron por tres criterios; capacidad de corriente, caída de tensión y cortocircuito. También se comparó la capacidad instalada de los conductores alimentadores, con las mediciones de corriente para verificar el porcentaje de utilización.

3.10.1 EVALUACIÓN POR CAPACIDAD DE CORRIENTE

Para evaluar el conductor por capacidad de corriente se utiliza la sección 310 del CEN utilizando las tablas 310.16 hasta la 310.21 y se toma en cuenta a su vez los datos del fabricante. [6]

3.10.2 EVALUACIÓN POR CAÍDA DE TENSIÓN

Para evaluar los conductores por caída de tensión se utilizó el CEN en la sección 215.2 (A) (3) nota n° 3, que establece que el valor de la caída de tensión debe ser menor al 3% para el circuito ramal y 5% la caída de tensión total desde el alimentador y circuito ramal más lejano. [6]

Para evaluar el conductor por caída de tensión es cálculo utilizada la expresión que aparece en el (MOP) “MANUAL DE NORMAS Y CRITERIOS PARA PROYECTOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS” [17]

- Para circuitos trifásicos se utiliza cualquiera de las siguientes ecuaciones (7):

$$\Delta V_{3\phi} \% = kVA * L * \frac{r \cos \alpha + x \sin \alpha}{10 * (kV)^2} \quad (7)$$

Donde:

L : Distancia entre dos puntos de interés en el circuito [km].

r : Resistencia del conductor [Ω /km].

x : reactancia del conductor [Ω /km].

kVA : Potencia aparente consumida por circuito [kVA].

kV : Tensión expresada en [kV].

α : Ángulo entre la tensión y la corriente.

3.10.3 EVALUACIÓN POR CORTOCIRCUITO

Para evaluar los conductores por cortocircuito se utiliza la tabla 240.92 (B) del CEN [6] la cual establece la expresión antes enunciada en el marco teórico (7) para el caso de conductores de cobre y asumiendo un tiempo de actuación de la protección asociada de 0,3 ms, ya que este es el tiempo de actuación instantánea más prolongado en gran cantidad de interruptores. Si al aplicar la ecuación se obtiene un calibre menor al conductor seleccionado previamente despejando el área de la ecuación, entonces el mismo es capaz de soportar el nivel de corriente de cortocircuito correspondiente.

3.11 COMPARACION DE EFICIENCIA.

Comparando los datos obtenidos del nivel de consumo de energía eléctrica de las diferentes líneas y niveles de producción obtenido al momento de realizada la medición, se determinó un índice de consumo de energía eléctrica con relación con los litros de producto procesado y mediante esta relación se comparó la eficiencia entre las líneas de producción.

CAPÍTULO IV

LEVANTAMIENTO ELÉCTRICO DE LOS CIRCUITOS ALIMENTADORES DE LAS LÍNEAS DE ENVASADO.

El sistema que comprende el levantamiento realizado está formado por dos subestaciones de distribución en interiores encapsulada que forman parte de una cadena de subestaciones propias de la planta, y que alimentan los servicios de cada área, para el caso del área de envasado, la subestación ahí ubicada (subestación de envasado) alimenta a las primeras 7 líneas de envasado que comprenden este estudio, mientras que la octava (líneas de envasado PET) está alimentada por una subestación ubicada en el nivel superior de un galpón destinado para esta línea. Estas subestaciones alimentan a su vez a los tableros que distribuyen la energía eléctrica a los distintos equipos que conforman a las líneas de envasado, así como se puede ver en el modelo del sistema presentado de la figura 2.

El levantamiento de los circuitos alimentadores de las líneas de envasado se realizó recopilando la información de los componentes desde la acometida que alimenta la subestación del área de envasado y la acometida que alimenta la subestación de la línea PET, tomando en cuenta los transformadores, interruptores, tableros y las protecciones de los diferentes alimentadores a través de varias visitas a las subestaciones, salas de control de las líneas de producción y todos los circuitos asociados a los procesos de las líneas.

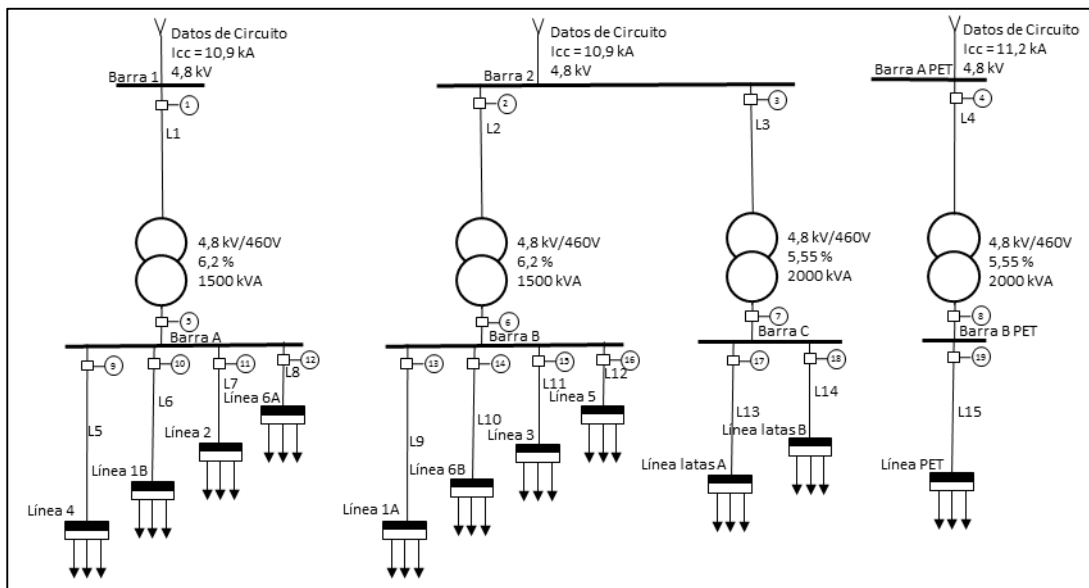


Figura 2. Esquema del Sistema a Estudiar

Fuente: Autor

4.1 DESCRIPCIÓN DE LOS ALIMENTADORES DE LAS SUBESTACIONES

- Subestación del área de envasado

La subestación de envasado está alimentada por dos circuitos individuales, provenientes de una subestación principal ubicada en el área de servicios de la planta; con un nivel de tensión de 4800 V – 3F – Delta (Δ). Con un esquema de alimentación radial de barra seccionada con opción de interconexión. Los alimentadores de esta subestación, han sido identificados como alimentador “1” y “2” respectivamente. El alimentador 1 conectado a la barra 1 alimenta una unidad de transformación de 1500 kVA llamada Sala de Llena 1, y el alimentador 2 conectado a la barra 2 alimenta a una unidad de transformación de 2000 kVA llamada Sala de Llena 3, otra unidad de 1500 kVA llamada Sala de Llena 2, y una unidad de transformación para la iluminación de 500 kVA, como se muestra en la figura 3.

Las barras “1” y “2” poseen interruptores encapsulados de botella de vacío los cuales conectan la barra con los circuitos alimentadores provenientes del área de servicio, así como también a las salidas de las barras que alimentan a los transformadores. También existe un interruptor de enlace entre las dos barras que opera normalmente abierto, con el objeto de evitar que una falla operativa en alguna de ellas, afectara a la otra barra. Las características nominales de las barras se reportan en la tabla 1.

Tabla 1. Características de las Barras 1 y 2.

Numero de fases	3
Dimensiones de la Barras de Fase (mm)	100x10
Dimensiones de la Barras de Tierra (mm)	30x5
Nivel de Tensión de las Barras (kV)	4.8
Capacidad de Cortocircuito (kA)	40

Tabla 2. Características de los Interruptores de Media Tensión.

Marca	SIEMENS
Modelo	3AF 1162-3
Corriente Nominal In (A)	1250
Tensión Nominal (kVrms)	7.2
Capacidad simétrica de Cortocircuito (kA)	40

Tabla 3. Características de los Conductores Alimentador 1 y 2 de Media Tensión

Fuente: ficha técnica del fabricante (General Cable)

Tipo de cable	MV-105
Tensión nominal de operación (kV)	5
Calibre	500 kcmil
Aislamiento	EPR-Ethylene Propylene Rubber
Cubierta	PVC
Máxima temperatura de operación	105°C
Capacidad (A)	475
Número de fases	3
Conductores por fase	2
Acometida	Subterránea
Longitud (m)	---

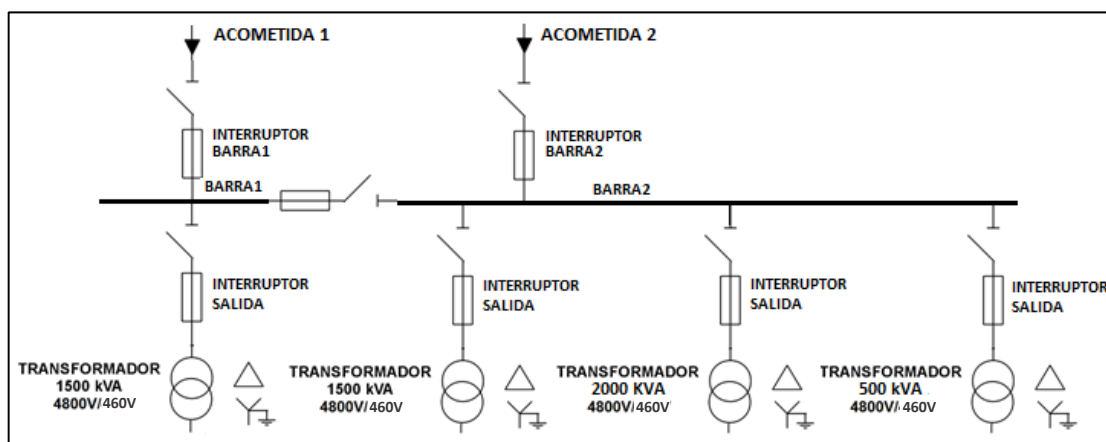


Figura 3. Esquema unifilar del Alimentador de Envasado.

Fuente: Autor

- Subestación PET

Mientras que la subestación PET está alimentada por un sólo circuito proveniente de la subestación principal, también con un nivel de tensión de 4800 V – 3F – Delta (Δ), con tres conductes de unifilares de media tensión y un conductor de tierra que conecta la barra de tierra de ambas subestaciones. Cuyas características son las mismas que el caso de la subestación de envasado tabla 3.

Este circuito se conecta a un gabinete o celda tipo 8DH10 para redes de distribución con interruptores, seccionador de tres posiciones con función de seccionamiento bajo carga y función de puesta tierra. Las características de la celda se observan en la tabla 4.

Tabla 4. Características del Interruptor en Celda.

Marca	SIEMENS
Modelo	8DH10
Corriente Nominal I_n (A)	630
Tensión Nominal (kV)	7.2
Capacidad simétrica de Cortocircuito (kA)	50

4.2 DESCRIPCIÓN DE LAS SUBESTACIONES.

Son dos las subestaciones que comprenden este estudio, la subestación principal del área de envasado ubicada en una mezzanina sobre el ala este de la sala de llenado a una altura de 9 metros que alimenta a 7 de las líneas de producción, y la subestación PET la cual está ubicada en un galpón destinado para albergar a la línea de envasado PET.

Estas subestaciones están formadas por celdas modulares que encapsulan los equipos que la conforman, como; transformadores, barras, interruptores, bancos de condensadores y cualquier otro instrumento de medición y/o control.

4.2.1 SUBESTACION DE ENVASADO.

La subestación de envasado está compuesta por; cuatro unidades de transformación, dos de ellas con una capacidad nominal de 1500 kVA, las cuales están conectadas a una barra seccionada por un interruptor de enlace normalmente abierto, (sala llena 1 y 2), una unidad de transformación de capacidad de 2000 kVA que está conectada a una única barra simple (Sala Llena 3), y por último una unidad de transformación de 1500 kVA, la cual alimenta la iluminación del área de envasado. La configuración se muestra en la figura 3.

Cada unidad de transformación consiste en un transformador tipo seco de 3 columnas, 4800/460 V, 60 Hz con conexión DELTA en el primario y ESTRELLA con neutro puesto a tierra en el secundario. Las bobinas de baja tensión están en el centro de las de alta tensión, es decir, las bobinas de alta quedan ubicadas hacia la parte exterior de la unidad. Las unidades se refrigeran mediante ventilación natural. Sin embargo, poseen un sistema de ventilación forzada que les permite operar a una potencia superior a la nominal (+20%) en caso de contingencia.

La conexión en el lado de alta se realiza mediante tres conductores cuyas características se muestran en la tabla 3, proveniente del alimentador antes mencionado y un conductor desnudo 2/0 AWG que conecta la barra de tierra del alimentador con el neutro del lado de baja de cada transformador. Las unidades de transformación permiten un ajuste de tensión para el primario de +/- 2.5% mediante 5 posiciones de taps, que van desde 4560 V hasta 5040 V.

La conexión del lado de baja se realiza directamente desde el transformador con 4 barras de salida 3F + N, para alimentar el interruptor principal de baja tensión asociado a la barras de cada unidad, de las cuales se conecta cada interruptor para darle salida a cada alimentador de las líneas de producción y otros sistemas.

Tabla 5. Características de los Transformadores de 1500 kVA.

Marca	GEAFOL
TIPO	Seco
Capacidad nominal (kVA)	1500
Impedancia de corto circuito	6,2 %
Tensiones nominales (V)	4800/460
Corrientes nominales (A)	180,4/1883
Conexión	Dyn5 (Puesto a tierra)

Tabla 6. Características de los Transformadores de 2000 kVA.

Marca	GEAFOL
TIPO	Seco
Capacidad nominal (kVA)	2000
Impedancia de corto circuito	5,55 %
Tensiones nominales (V)	4800/460
Corrientes nominales (A)	234,7/2469
Conexión	Dyn5 (Puesto a tierra)

4.2.2 DESCRIPCIÓN DE LA DISTRIBUCION EN BAJA TENSION EN LA SUBESTACION.

La subestación presta servicio por medio de unas barras de distribución de baja tensión alimentadas por sus respectivos transformadores independientes, que a su vez alimentan los tableros principales de las líneas de producción asociada, sistemas auxiliares y la iluminación del área de envasado, como se muestra en el diagrama unifilar mostrado en el anexo 5. Las características de las barras se muestran en las tablas 7 y 8.

Tabla 7. Característica de la Barra A y B.

Numero de fases	3
Dimensiones de la Barras de Fase (mm)	2 (80x10)
Dimensiones de la Barras de Neutro (mm)	2 (80x10)
Corriente Nominal (A)	2500
Tensión de operación de las Barras (V)	460
Capacidad de Cortocircuito (kA)	30

Tabla 8. Característica de la Barra C.

Numero de fases	3
Dimensiones de la Barras de Fase (mm)	2 (100x10)
Dimensiones de la Barras de Neutro (mm)	2 (100x10)
Corriente Nominal (A)	3000
Tensión de operación de las Barras (V)	460
Capacidad de Cortocircuito (kA)	40

Los interruptores asociados a las líneas de envasado, conectados a las barras de distribución de la subestación, presentan las siguientes características:

Tabla 9. Interruptor asociado a los alimentadores a las líneas de envasados.

Alimentador	Marca	Modelo	Numero de polos	In (A)	Icc Simétrica (kA)
Barras A y B	SIEMENS	3WN1 5	3	2000	80
Barra C y PET	SIEMENS	3WL II S	3	3200	80
Línea 1A, 1B, 2, 4, y 5	SIEMENS	3WN1	3	630	50
Línea 3	SIEMENS	3WN5	3	800	50
Línea 6A	SIEMENS	3WN5	3	1000	50
Línea 6B	SIEMENS	3WN1	3	800	50
Línea latas A y B	SIEMENS	3WL I N	3	1250	55
Línea PET	SIEMENS	3WL I N	3	1250	55

4.3 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE PUESTA TIERRA DE LA SUBESTACION DE ENVASADO.

El sistema de puesta tierra consiste en una malla conformada por tres barras Cooperweld enterradas e interconectadas mediante un conductor desnudo 1/0 AWG de cobre, las cuales conforman un triángulo de seis metros (6m.) por lado, que se localiza en el nivel cero del área de envasado. La configuración de la malla se muestra en la figura 4.

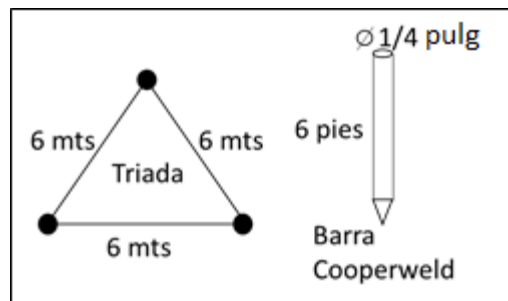


Figura 4. Configuración de la Malla de Tierra.

La barra de tierra del alimentador de la subestación de envasado está conectada a esta mediante un conductor desnudo 2/0 AWG.

4.3.1 SUBESTACION DE PET.

La subestación de PET está compuesta por una unidad de transformación con características similares a la unidad de 2000 kVA llamada Sala de Llena 3 ubicada de la subestación de envasado descrita anteriormente y presenta la configuración que se muestra en el diagrama unifilar en el anexo 5.

4.4 DESCRIPCIÓN DE LAS SALAS DE CONTROL DE LAS LINEAS DE ENVASADO.

Las salas de control o Centro de Control de Motores (CCM) de las líneas de producción son habitaciones aclimatadas donde se encuentran los alimentadores y controles de los motores y elementos que son necesarios para el manejo de los productos en las líneas de producción. Las salas de control de las líneas de producción (1, 2 ,3 ,4 ,5 ,6) están ubicadas en una mezzanina en el nivel 1 del área de envasado donde cada sala alberga dos de los controles y alimentadores de las líneas de producción antes mencionadas, por otro lado la sala de control de la línea de producción 7 que maneja las latas está ubicada en otra mezzanina en el área norte del nivel 1 del área de envasado, mientras que la línea de producción PET está ubicada en el nivel superior del galpón PET destinado a la línea de producción con este mismo nombre.

Las salas de control de las líneas de producción están alimentada por tableros que están conectados a la subestación correspondiente como se muestra en los diagramas unifilares de los planos del anexo 5.

4.5 IDENTIFICACIÓN DE LOS ALIMENTADORES DE LA LINEAS DE ENVASADO.

Se realizó la inspección a las instalaciones de las salas de control y se levantó la información necesaria tomando nota de los tableros principales, tipos de conductores y protecciones asociadas a los alimentadores. Como se observa la configuración del sistema desde las acometidas de las salas de control hasta la alimentación de cada proceso de las líneas de envasado, en los diagramas unifilares contruidos, que se encuentran en el anexo 5.

4.6 DESCRIPCIÓN DE LOS TABLEROS PRINCIPALES DE SALAS DE CONTROL DE LAS LÍNEAS DE PRODUCCION.

Se realizó la inspección a los tableros y se levantó la información detallada de las características encontradas con respecto a; su ubicación, alimentador, interruptores, cables de circuitos ramales, entre otras, que pueden ser observadas en las tablas del anexo 4.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DE CARGA DEL SISTEMA ELECTRICO

El estudio de carga del sistema eléctrico se realizó mediante una serie de mediciones en las acometidas de los tableros de cada línea de envasado, utilizando como herramienta un analizador de energía eléctrica, llamado Grid Analysis Tool MC7000 fabricado por EPCOS junto con el software MC7000 EPCOS, el cual se programó para hacer un registro cada 10 segundos, de tensión, corriente, potencia activa, potencia reactiva, potencia aparente, factor de potencia y THD de tensión. En la figura 5 se muestra la forma de conexión del analizador de energía utilizado.

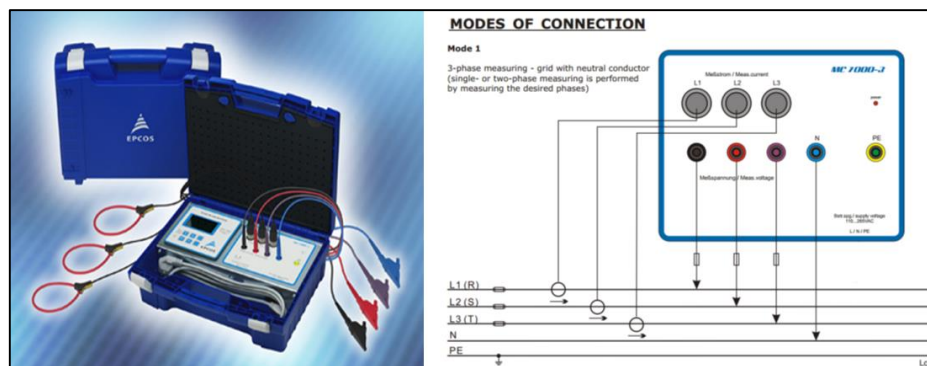


Figura 5. Modo de conexión del analizador de energía.

Fuente: manual del usuario de la herramienta [18].

Nota: Se programó el equipo para tomar un registro cada 10 segundos ya que la empresa estaba realizando un estudio en simultáneo y considerando que para analizar la calidad de servicio el artículo 9 de las NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD [13] recomendando que se tome un registro cada 10 minutos, se tomó la decisión que el registro de data cada 10 segundos no afectaría el fin de este estudio y sería conveniente para realizar ambas investigaciones.

Las muestras tomadas de los parámetros eléctricos registradas por el equipo en las líneas de envasado, se limitó a las 5 primeras líneas y a dos días continuos de medición para cada una de ellas, dado que la empresa no contaba con este equipo y el alto costo del alquiler del mismo, esto trajo como consecuencia que el tiempo en el que se disponía para realizar las mediciones reducido.

Tomando en cuenta que las líneas de envasado donde se realizaría el estudio están sujetas a un plan de producción y se ponen en servicio en los horarios establecidos de dicho plan, se dispuso a programar las jornadas de medición, sujeto al plan de producción y el tiempo limitado de disposición del equipo, buscando aprovechar al máximo el tiempo que se tenía disponible el equipo y cubrir la mayor cantidad de líneas.

Las líneas de envasado están formadas por un conjunto de equipos, en serie que forman un tren de maquinarias que realizan funciones diversas a lo largo del proceso de envasado, como; desembalar, lavar, inspeccionar, llenar las botellas, pasteurizar el líquido ya envasado, para finalmente etiquetar y embalar el producto final. Al momento de activar las líneas de envasado y estar a plena capacidad, todos los componentes y equipos entran en operación llegando a un punto de consumo estable, esto sucede en la mayoría del tiempo que la línea opera, salvo que se requieran paradas para reabastecer materia prima necesaria u ocurran algunos problemas en uno de los procesos que detenga momentáneamente la línea.

Las mediciones realizadas revelen el comportamiento de la demanda de energía de las líneas bajo estudio y con respecto al cumplimiento de criterios y normas que rigen el funcionamiento del sistema eléctrico, así como también el porcentaje de la capacidad nominal que se está utilizando en los distintos elementos como conductores, transformadores, protecciones y tableros. Por otra parte, se pueden realizar estudios acerca del comportamiento de la energía consumida, al momento de estar en parada o

en marcha las diferentes líneas de envasado. Los diferentes criterios con los cuales se hace la evaluación de las mediciones obtenidas se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Criterios de Comparación.

Variable	Norma	Valor de referencia
Tensión	COVENIN 159:1997 Tensiones normalizadas de servicio tabla 1 para condiciones normales.	$\pm 5\%$
	Estándar polar	$\pm 10\%$
Factor de potencia	Reglamento del Servicio Eléctrico artículo 57	$\geq 0,9$
Desbalance de tensión	IEEE 1159 Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality	$\leq 2\%$
	NEMA MG1 Motors And Generator	$\leq 1\%$
Desbalance de corriente	Reglamento del Servicio Eléctrico, artículo 55.	$\leq 10\%$
Distorsión armónica de tensión VTHD	Normas de Calidad de Servicio, artículo 15	$\leq 8\%$
	IEEE 519-1992 Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.	$\leq 5\%$

5.1 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS TABLEROS DE LAS LÍNEAS DE ENVASADO.

Los resultados obtenidos de la conexión del equipo en los tableros de las líneas de envasado se presentan en el anexo 1 y se analizó el comportamiento de la demanda, la

tensión, corriente y el factor de potencia. Comparándolos con los diferentes estándares y criterios expuestos en la tabla 10.

Con los resultados conseguidos de las mediciones de demanda y corriente en los tableros analizados, se determinó el porcentaje de la capacidad de los transformadores y circuitos, que podrían estar siendo utilizadas al momento de entrar en operación las líneas de envasado. Los resultados se muestran en la tabla 12.

La línea de envasado 1 está alimentada por dos tableros (línea 1A y línea 1B). Debido a que solo se disponía de un equipo de medición no se pudo realizar el estudio de los dos tablero en simultáneo y por esto se realizaron las mediciones de los parámetro eléctricos en intervalos de tiempos distintos.

En la tabla 11 se muestra un resumen de los resultados obtenidos de las jornadas de medición en los tableros y los valores en color negro representan que entran del rango de los estándares de comparación, los valores resaltados en color rojo representan que no entran en los límites más estrictos establecidos anteriormente en la tabla 10, mientras que el los marcados el color púrpura representan que no entran en ningún límites pre establecido.

Tabla 11. Resumen de resultados de las mediciones realizadas.

Alimentador	Demanda max (kVA)	Corriente max (A)	Desbalances de corriente max	Factor de potencia promedio	Tensión F-N min (%Vn)	Desbalance de tensión max	Distorsión armónica (VTHD) max
Línea 1A	212,7	281	5 %	0,784	7,5%	0,98 %	4,8%
Línea 1B	87,6	117	15 %	0,628	11,2%	0,82 %	4,9%
Línea 2	362,6	507	12,5 %	0,703	10,9%	0,91 %	8,2%
Línea 3	359,9	472	9 %	0,749	5,6%	1,1 %	4,5 %
Línea 4	273,7	360	6,8 %	0,689	6,7%	0,7 %	4,9 %
Línea 5	392,8	468	12 %	0,738	6,3%	0,5 %	5,5 %
Línea PET	1026	1311	23 %	0,95	2,6%	0,87 %	4,2 %

Tabla 12. Porcentaje utilizado de la capacidad de equipos

Alimentador	Demanda Max medida (kVA)	Capacidad trasformador asociado (kVA)	Porcentaje utilizado %	Corriente max medida (A)	Capacidad circuito (A)	Porcentaje utilizado %
Línea 1A	212,7	1500	14,18	281	630	44,60
Línea 1B	87,6	1500	5,84	117	630	18,57
Línea 2	362,6	1500	24,17	507	630	80,47
Línea 3	359,9	1500	23,99	472	800	59
Línea 4	273,7	1500	18,24	360	480	75
Línea 5	392,8	1500	26,18	468	630	74,28
Línea PET	1026	2000	51,3	1311	3200	40,9

Los tableros línea 1B, línea 2 y línea 4, están conectados al transformador A (1500 kVA) y representan un 48,26 % de la capacidad de este trasformador, mientras que los tableros línea 1A, línea 3, y línea 5, están conectados al transformador B (1500 kVA) y representan un 64,36 % de la capacidad de este transformador.

5.2 PROPUESTA DE REDISTRIBUCIÓN DE LA CARGA

Uno de los objetivos cuando se plantea una redistribución de la carga conectada, es balancear las corrientes de fase existentes en el sistema. Pero dado que la gran mayoría de los equipos son de alimentación trifásica y presentan una demanda equitativa en las tres fases. Sin embargo la subestación que alimenta al área de envasado está alimentada por dos circuitos (alimentador 1 y 2), de los cuales del alimentador 1 está conectado únicamente el transformador 1 de capacidad 1500kVA y del alimentador 2 se conectan los transformadores 2 de 1500kVA, 3 de 2000kVA y un cuarto de iluminación con una capacidad de 500kVA. Esto representa una capacidad instalada para el alimentador 1 de 1500kVA, mientras que el alimentador 2 representa 4000kVA. Capacidades que pueden ser manejadas por los circuitos de la planta sin problemas, pero esto indica que hay una gran desigualdad en la carga de los circuitos alimentadores y podría ser conveniente plantear una reconexión de algunos de los transformadores involucrados.

Estimando la carga máxima que podría alcanzar los tableros de las línea 6 y 7 (donde no se realizaron mediciones), tomando en cuenta la carga que aporta cada equipo operando a potencia nominal y considerando que el factor de incidencia de dichos equipos es igual a 1 (todos los equipos operan al mismo tiempo), representa que la carga máxima que podría esperarse de dichas líneas. Reportada en la tabla 13.

Tabla 13. Carga máxima estimada de las líneas 6 y 7 (Latas)

Tableros	Carga max estimada (kVA)
Tablero 6A	361,8
Tablero 6B	358,2
Latas A	308,18
Latas B	139,8

Conociendo la carga máxima que pueden alcanzar las líneas de envasado donde se realizaron las respectivas mediciones con el equipo, tal como se reporta en la tabla 12 y la demanda máxima que podrían alcanzar las líneas 6 y 7, se calculó la demanda que podría existir en los transformadores al momento de entrar en operación todas las líneas de envasado. Como se puede ver en la tabla 14.

Tabla 14. Carga de los transformadores

Transformadores	Demanda máxima (kVA)	Porcentaje utilizado %
TRX 1 (1500 kVA)	1085,7	72,38
TRX 2 (1500 kVA)	1323,6	88,24
TRX 3 (2000 kVA)	447,99	22,39

De esta forma los circuitos de media tensión que alimentan a estos transformadores, están dispuestos de tal manera que el circuito alimentador 1 alimenta 1085,7 kVA de la carga total de la subestación, mientras que el circuito alimentador 2 estaría cargado con 1771,59 kVA más la carga del transformador de iluminación.

Debido a que los transformadores de 1500 kVA están dispuestos de tal forma que un transformador pueda ser el respaldo del otro al momento de alguna contingencia, estos

no deben ser conectados al mismo circuito alimentador, es por esto que la única opción para llegar a un punto más equilibrado de los dos alimentadores, es cambiar el transformador de 2000 kVA conectado al circuito 2 y conectarlo al 1, y de esta forma en el circuito 1 habrían 3500 kVA de capacidad conectada mientras que en el circuito 2 habrían 2000 kVA de capacidad conectada. Con esta propuesta, el alimentador uno quedaría cargado con 1533,69 kVA, mientras que el alimentador 2 tendría la carga de 1323,6 kVA más la que existirá en el transformador de iluminación, que no está contemplado en el alcance de este estudio y no fue posible su medición ya que el acceso a este fue restringido.

CAPÍTULO VI

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

La finalidad del estudio realizado es la de evaluar el sistema de protección existente en la red eléctrica anteriormente descrita, a fin de constatar si de acuerdo a la configuración, al tipo de dispositivos instalados y los ajustes de los mismos, cumplen los requerimientos necesarios de protección (velocidad, sensibilidad, selectividad, seguridad y confiabilidad).

Para tal fin se realizó el levantamiento y recopilación de la información de los componentes que conforman el sistema, se estudió los niveles de cortocircuito que impone el sistema, se verificó las curvas de daño de transformadores y conductores.

Los ajustes actuales de los equipos de protección fueron revisados exhaustivamente y se realizaron gráficos tiempo-corriente. A partir de ese diagnóstico se determinaron aquellos casos en los cuales los ajustes existentes no cumplen con los mejores criterios y se determinaron los ajustes que deberían tener los interruptores para cumplir con los requisitos, de la manera más óptima posible que podrían alcanzarse con los componentes existentes y luego se propusieron cambios que llevarían el sistema a una coordinación apropiada de protecciones.

Los ajustes actuales y los propuestos luego del estudio, se graficaron de curvas tiempo-corriente que se muestran en el anexo 2. Los cuales se examinaron para comprobar la suficiencia del sistema.

6.1 ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

Para determinar los máximos niveles de cortocircuito por barra del sistema (dato fundamental para el estudio de coordinación de protecciones del sistema), se modeló el sistema utilizando los datos de los alimentadores, transformadores y conductores, recopilados en levantamiento.

De acuerdo con un estudio previo de coordinación de protección del sistema de distribución realizado en de la planta los cortijos a 4,8 kV [19], el nivel de cortocircuito en la barra de la subestación de envasado (barras 1 y 2), es de 10,9 kA para los dos circuitos que alimentan esta subestación. Y para el caso de la subestación PET no se contaba con los datos de nivel de cortocircuito de la barra de dicha subestación, así que utilizando el nivel de cortocircuito de la barra alimentadora aguas arriba y los datos de este circuito se determinó la corriente de cortocircuito en la barra de la subestación PET.

6.2 MODELADO DEL SISTEMA

Para modelar el sistema a estudiar se levantaron los siguientes datos:

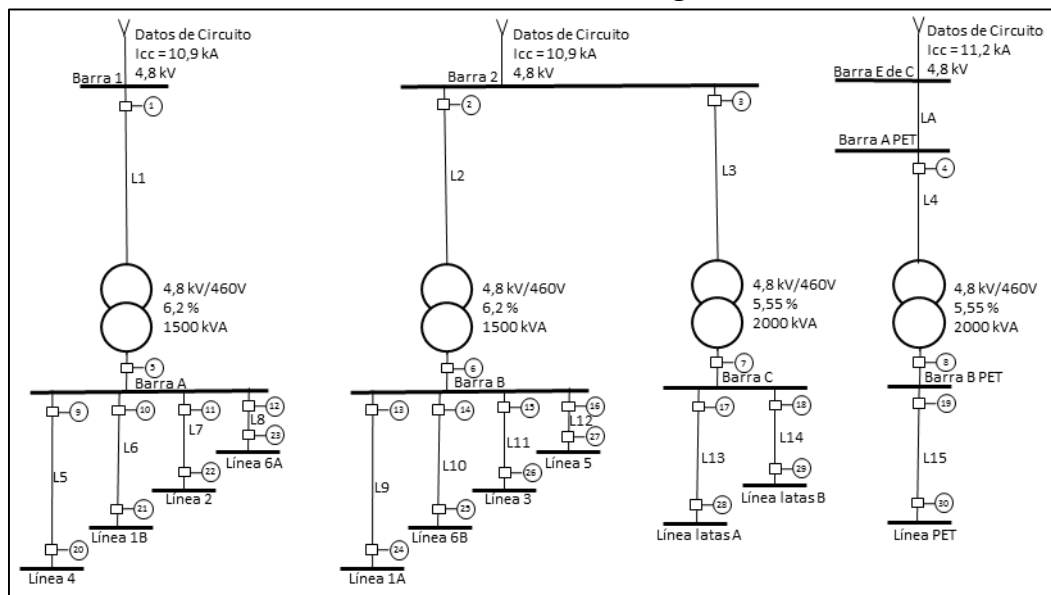


Figura 6. Esquema de los alimentadores del sistema.

6.2.1 CALCULO DE LAS IMPEDANCIAS DEL SISTEMA

- Impedancia de las fuentes equivalentes:

Tomando como referencia la norma IEC 60909-0 [1], que estipula que para modelar un sistema trifásico del cual se conoce su corriente de cortocircuito simétrica y el nivel de tensión nominal se aplica la siguiente expresión (4) donde $C = 1,1$ según el nivel de tensión y la tabla 1 de dicha norma.

$$Z_{Q1} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQ1}} = \frac{1,1 * 4800}{\sqrt{3} * 10,9 \text{ kA}} = 0,2796 \Omega$$

$$Z_{Q2} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQ2}} = \frac{1,1 * 4800}{\sqrt{3} * 10,9 \text{ kA}} = 0,2796 \Omega$$

$$Z_{QE \text{ de } C} = \frac{cU_{nQ}}{\sqrt{3}I''_{kQE \text{ de } C}} = \frac{1,1 * 4800}{\sqrt{3} * 11,2 \text{ kA}} = 0,2721 \Omega$$

Para calcular la resistencia y la reactancia la norma estipula que para sistemas con tensiones menores a 35 kV:

$$X_Q = 0,995Z_Q \qquad R_Q = 0,1X_Q$$

$$Z_{Q1} = 0,02782 + j0,2782 \Omega$$

$$Z_{Q2} = 0,02782 + j0,2782 \Omega$$

$$Z_{QE \text{ de } C} = 0,02897 + j0,28975 \Omega$$

- Impedancia de transformadores:

Para calcular la impedancia de los transformadores la norma IEC 60909-0 [1], estipula la siguiente expresión:

$$Z_{T2000kVA} = \frac{U_{kr2000kVA}}{100} \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{5,55}{100} * \frac{460^2}{2000k} = 0,005871 \Omega$$

$$Z_{T1500kVA} = \frac{U_{kr1500kVA}}{100} \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{6,2}{100} * \frac{460^2}{1500k} = 0,008746 \Omega$$

Para obtener el valor de la resistencia se tomó como referencia la tabla 3A de la norma IEC 60909-2 [2], que nos revela que $U_{Rr} = 1,2$ para transformadores secos con conexión delta estrella con neutro puesto a tierra como los encontrados en este estudio.

$$R_{T2000kVA} = \frac{U_{Rr}}{100} \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{1,2}{100} * \frac{460^2}{2000k} = 0,001269 \Omega$$

$$R_{T1500kVA} = \frac{U_{Rr}}{100} \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{1,2}{100} * \frac{460^2}{1500k} = 0,001692 \Omega$$

$$X_{T2000kVA} = \sqrt{Z_{T2000kVA}^2 - R_{T2000kVA}^2} = 0,005732 \Omega$$

$$X_{T1500kVA} = \sqrt{Z_{T1500kVA}^2 - R_{T1500kVA}^2} = 0,008580 \Omega$$

Ahora según la sección 3.3.3 de la norma IEC 60909-0 [1] la impedancia calculada de los transformadores debe ser corregida al ser multiplicada (K_T)

$$K_{T2000kVA} = 0,95 \frac{1,05}{1 + 0,6 * X_T} = 0,99408$$

$$K_{T1500kVA} = 0,95 \frac{1,05}{1 + 0,6 * X_T} = 0,99239$$

$$Z_{T2000kVA} = 0,001261 + j 0,005698 \Omega$$

$$Z_{T1500kVA} = 0,001679 + j 0,008514 \Omega$$

Para determinar el valor de impedancia de secuencia cero de estos transformadores se tomó como referencia la tabla 1 de la norma IEC 60076-8 [3], que nos revela que $Z_0 = 0,9 * Z_1$ para transformadores de este tipo.

- Impedancia de las líneas o conductores alimentadores:

Se tomaron los datos del fabricante (General Cable) para en caso de los conductores de alta tensión y se tomó de la tabla 9 del C.E.N [6], las impedancia equivalentes para conductores en rango de tensiones menores a 600 V y para determinar la impedancia cero equivalente de los conductores se tomó como referencia la figura 13 de la norma IEC 60909-2 [2]. Todos los conductores se encuentran canalizados por canaletas de acero galvanizado. Las impedancias calculadas se pueden observar en la tabla 15.

Tabla 15. Impedancia de los conductores alimentadores.

Línea	Impedancia (Ω/km)	Longitud (m)	Número de conductores	Impedancia total (Ω)
LA	$0,0918 + j 0,0951$	250	1	$0,02295 + j 0,02377$
L1	$0,0918 + j 0,0951$	40,5	1	$0,00371 + j 0,00385$
L2	$0,0918 + j 0,0951$	27	1	$0,00247 + j 0,00256$
L3	$0,0918 + j 0,0951$	15,5	1	$0,00142 + j 0,00147$
L4	$0,0918 + j 0,0951$	31	1	$0,002845 + j 0,00294$
L5	$0,095 + j 0,157$	41,5	2	$0,001971 + j 0,00325$
L6	$0,095 + j 0,157$	63,5	2	$0,003016 + j 0,00498$
L7	$0,095 + j 0,157$	61,5	2	$0,002921 + j 0,00482$
L8	$0,095 + j 0,157$	37	3	$0,001171 + j 0,00193$
L9	$0,095 + j 0,157$	74	2	$0,003515 + j 0,00580$
L10	$0,095 + j 0,157$	47,5	3	$0,001504 + j 0,00248$
L11	$0,095 + j 0,157$	50	2	$0,002375 + j 0,00392$
L12	$0,095 + j 0,157$	42,5	2	$0,002018 + j 0,00333$
L13	$0,095 + j 0,157$	135	2	$0,006412 + j 0,01059$
L14	$0,095 + j 0,157$	135	2	$0,006412 + j 0,01059$
L15	$0,095 + j 0,157$	31	2	$0,001472 + j 0,00243$

6.3 CALCULO DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO I''_k

En base al modelo antes descrito en la sección anterior se calcula la corriente de cortocircuito en los puntos más relevantes como se muestra en la figura 7, bajo los criterios estipulados en la norma IEC 60909-0 [1]

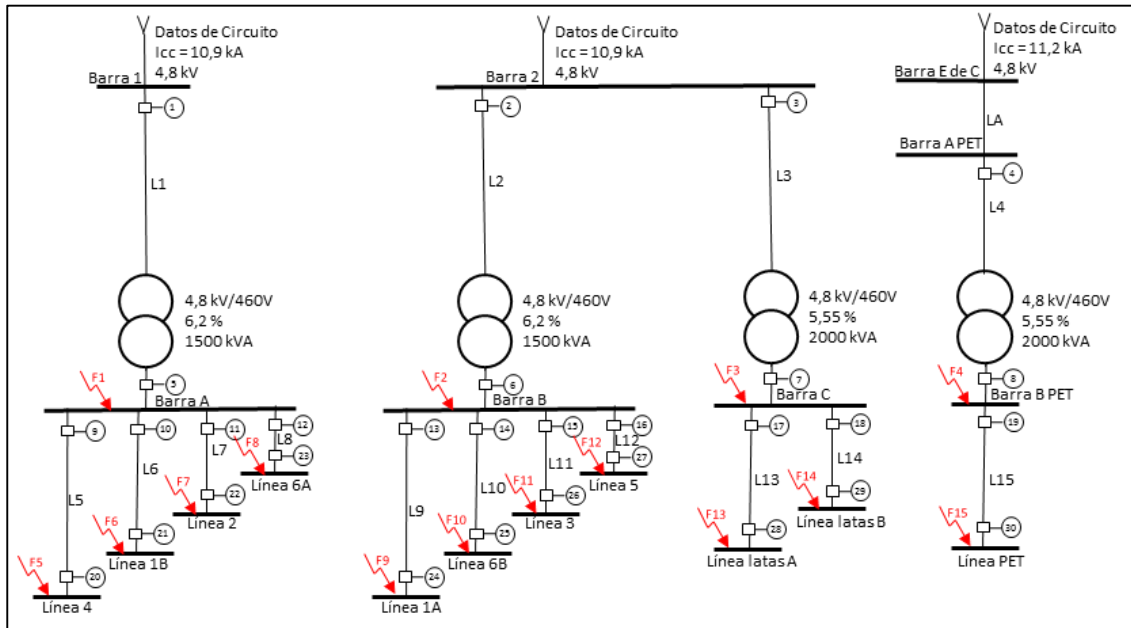


Figura 7. Esquema del sistema indicando los puntos de falla.

Fuente: Autor

Para calcular el nivel de cortocircuito en los puntos predeterminados del sistema se suman las impedancias vistas desde el punto de la falla, hasta el punto de suministro o fuente del sistema modelado y se aplica la expresión (1) para calcular la corriente de falla simétrica I''_k que sería igual a la corriente de irrupción, debido a que se asume que los generadores que alimenta este sistema no se encuentra en un punto cercano a la falla, como lo estipula la seccion 4.5.1 de la norma IEC 60909-0 [1]. Los niveles de cortocircuito se muestran en la tabla 16.

Tabla 16. Nivel de Cortocircuito Simétrico en el Sistema

Fallas	Barras	Impedancia Asociadas	Impedancia Z_1 y Z_2 Equivalente (Ω)	Impedancia Z_0 Equivalente (Ω)	Corriente de Cortocircuito Trifásico (A)	Corriente de Cortocircuito monofásica (A)
F1	A	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1}$	$0,001981 + j 0,01117$	$0,001627 + j 0,00778$	24580,4806	27299,1547
F2	B	$Z_{Q2} + Z_{L2} + Z_{T1}$	$0,001970 + j 0,01115$	$0,001588 + j 0,00774$	24609,9698	27367,1105
F3	C	$Z_{Q2} + Z_{L3} + Z_{T1}$	$0,001537 + j 0,00830$	$0,001179 + j 0,00517$	33033,4935	37701,3321
F4	B PET	$Z_{Q3} + Z_{LA} + Z_{L4} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,001771 + j 0,00863$	$0,001940 + j 0,00601$	31622,6702	34965,6596
F5	LINEA 4	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,003952 + j 0,01442$	$0,008329 + j 0,01951$	18640,6194	16395,239
F6	LINEA 1B	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,004997 + j 0,01615$	$0,011882 + j 0,02573$	16490,3043	13486,3743
F7	LINEA 2	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,004902 + j 0,01599$	$0,011559 + j 0,02516$	16665,7321	13708,1112
F8	LINEA 6A	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,003153 + j 0,01310$	$0,005610 + j 0,01476$	20685,8967	19604,8651
F9	LINEA 1A	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,005485 + j 0,01696$	$0,013539 + j 0,02865$	15638,0263	12444,9247
F10	LINEA 6B	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,003474 + j 0,01364$	$0,006702 + j 0,01669$	19805,6486	18164,7751
F11	LINEA 3	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,004345 + j 0,01508$	$0,009663 + j 0,02187$	17765,1953	15159,2364
F12	LINEA 5	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,003989 + j 0,01449$	$0,008452 + j 0,01975$	18548,9995	16262,5729
F13	LATAS A	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,007950 + j 0,01889$	$0,022981 + j 0,04332$	13601,491	9299,40937
F14	LATAS B	$Z_{Q1} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,007950 + j 0,01889$	$0,022981 + j 0,04332$	13601,491	9299,40937
F15	LINEA PET	$Z_{Q1} + Z_{LA} + Z_{L1} + Z_{T1} + Z_{L5}$	$0,003244 + j 0,01107$	$0,006946 + j 0,01477$	24169,7314	21294,9876

Nota: las impedancias Z_1 , Z_2 y Z_0 corresponden a la impedancias de secuencia positiva, negativa y cero respectivamente. Las impedancias vistas antes de los transformadores deben ser transformadas por la relaciones de transformación ($n = \frac{4800}{460}$).

6.4 CRITERIOS PARA LA VERIFICACIÓN DE LA COORDINACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA

En base a los datos generados del sistema y utilizando como referencia los resultados del estudio previo se procedió a constatar la coordinación entre los dispositivos de protección analizando cada cadena (camino directo entre la carga y fuente), y en casos en que fuese necesario se procedió a hallar los nuevos ajustes de las protecciones.

6.4.1 DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ASOCIADOS AL SISTEMA

En el sistema eléctrico estudiado existen varios tipos de dispositivos de protección con modelos y características diferentes, para una mejor ubicación dentro del sistema, a cada dispositivo se le ha asignado una numeración consecutiva, la cual permite identificar rápidamente en el Diagrama de la figura 7 a determinado dispositivo. La numeración y características de las protecciones se muestran en la tabla 17.

Tabla 17. Identificación de los equipos de protección del sistema

Numero Asignado	Tipo de equipo	In (A)	Ubicación	Ajustes actuales
1	Relé, GE IFC 53		TRX LLENADO 1	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5
2	Relé, GE IFC 53		TRX LLENADO 2	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5
3	Relé, GE IFC 53		TRX LLENADO 3	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5
4	Relé, GE F 60		TRX PET	TAP=10 DIAL=10 RTC=300/5
5	INT, Siemens 3WN1	2000	BARRA A	$I_r=0,9 \cdot I_n$ $T_c=10s$ $I_d=5 \cdot I_r$ $T_d=10ms$ $I_i=8 \cdot I_n$
6	INT, Siemens 3WN1	2000	BARRA B	$I_r=1 \cdot I_n$ $T_c=3,5s$ $I_d=4 \cdot I_r$ $T_d=220ms$ $I_i=8 \cdot I_n$
7	INT, Siemens WL IIS	3200	BARRA C	$I_r=3200A$ $T_c=10s$ $I_{sd}=9600A$ $T_{sd}=400ms$ $I_i=9600A$
8	INT, Siemens WL IIS	3200	BARRA B PET	$I_r=3200A$ $T_c=10s$ $I_{sd}=9600A$ $T_{sd}=400ms$ $I_i=9600A$
9	INT, Siemens 3WN1	630	SALIDA LINEA 4	$I_r=1 \cdot I_n$ $I_i=3I_r$
10	INT, Siemens 3WN1	630	SALIDA LINEA 1B	$I_r=1 \cdot I_n$ $I_i=3I_r$
11	INT, Siemens 3WN1	630	SALIDA LINEA 2	$I_r=1 \cdot I_n$ $I_i=3I_r$
12	INT, Siemens 3WN5	1000	SALIDA LINEA 6A	$I_r=1 \cdot I_n$ $I_i=4I_r$
13	INT, Siemens 3WN5	630	SALIDA LINEA 1A	$I_r=0,8 \cdot I_n$ $I_i=6I_r$
14	INT, Siemens 3WN1	800	SALIDA LINEA 6B	$I_r=1 \cdot I_n$ $I_i=6I_r$
15	INT, Siemens 3WN5	800	SALIDA LINEA 3	$I_r=1 \cdot I_n$ $T_c=2s$ $I_d=5 \cdot I_r$ $T_d=220ms$ $I_i=6 \cdot I_n$
16	INT, Siemens 3WN5	630	SALIDA LINEA 5	$I_r=1 \cdot I_n$ $I_i=4I_r$
17	INT, Siemens WL IN	1250	SALIDA LINEA L.A	$I_r=1 \cdot I_n$ $I_{sd}=3 \cdot I_r$ $T_{sd}=400ms$ $I_i=20 \cdot I_n$

18	INT, Siemens WL IN	1250	SALIDA LINEA L.B	$I_r=1*I_n$ $I_{sd}=3*I_r$ $T_{sd}=400ms$ $I_i=20*I_n$
19	INT, Siemens WL IN	1250	SALIDA LINEA PET	$I_r=1*I_n$ $I_{sd}=3*I_r$ $T_{sd}=400ms$ $I_i=20*I_n$
20	INT, Siemens VL N	800	TABLERO LINEA 4	$I_r=0,6*I_n$ $T_r=2,5s$ $I_i=1,25*I_n$
21	INT, Siemens NMG	800	TABLERO LINEA 1B	$I_i=3250A$
22	INT, Siemens VL	630	TABLERO LINEA 2	$I_r=500A$ $I_i=5*I_n$
23	INT, Siemens NMG	800	TABLERO LINEA 6A	$I_i=3250A$
24	INT, Siemens NMG	800	TABLERO LINEA 1A	$I_i=3250A$
25	INT, Merlin Gerin C801 N	800	TABLERO LINEA 6B	-
26	INT, Sace S6	630	TABLERO LINEA 3	$I_r=630A$ $I_i=6300$
27	INT, Sace S6	630	TABLERO LINEA 5	$I_r=630A$ $I_i=6300$
28	INT, Siemens NMG	800	TABLERO LINEA L.A	$I_i=3250A$
29	INT, Siemens NMG	800	TABLERO LINEA L.B	$I_i=3250A$
30	INT, Moeller NZM 4	1000	TABLERO LINEA PET	$I_r=0,8*I_n$ $T_c=10s$ $I_{sd}=6*I_r$ $T_{sd}=0ms$ $I_i=12*I_n$

6.4.2 MÁRGENES DE COORDINACIÓN

La verificación de la coordinación se hace en primer lugar vigilando que las curvas de dispositivos contiguos no se solapen, esto quiere decir que, el dispositivo aguas arriba y el dispositivo aguas abajo deben estar ajustados en tiempo y corriente de forma tal que la operación sea selectiva. Por ejemplo, entre la protección de la subestación asociada y la principal del tablero de la salas de control los ajustes deben ser tales que para una falla en sala de control solo la protección de este actué y no la de la subestación, la cual sólo actuaría en caso de que la protección de la sala de control no actuase debidamente.

Se verifican los márgenes de coordinación considerando:

- La coordinación entre interruptores termo magnéticos existe si las curvas no se solapen.
- Entre fusibles e interruptores termo magnéticos la coordinación existe si las curvas no se cruzan o solapen.

Según lo estipulado en la tabla 15-3 de la norma IEEE 242-2001 [5].

El sistema de protección está dispuesto de tal manera que el interruptor aguas arriba sea el respaldo de dispositivo local y que exista una diferencia de tiempo de actuación entre la protección local y una protección remota o de respaldo. Para el caso de las protecciones a estudiar con que exista algún tiempo de diferencia entre los interruptores es suficiente y la tabla 18 reporta como debe ser el tiempo de actuación de los diferentes interruptores ante las situaciones de falla antes especificadas.

Tabla 18. Pares de coordinación de las protecciones del sistema

Falla	Protección principal	Protección de respaldo	Ecuación de restricción
F_1	Q_5	Q_1	$t_1(F_1) = t_5(F_1) + \Delta t$
F_2	Q_6	Q_2	$t_2(F_2) = t_6(F_2) + \Delta t$
F_3	Q_7	Q_3	$t_3(F_3) = t_7(F_3) + \Delta t$
F_4	Q_8	Q_4	$t_4(F_4) = t_8(F_4) + \Delta t$
F_5	Q_9	Q_5	$t_5(F_5) = t_9(F_5) + \Delta t$
F_6	Q_{10}	Q_5	$t_5(F_6) = t_{10}(F_6) + \Delta t$
F_7	Q_{11}	Q_5	$t_5(F_7) = t_{11}(F_7) + \Delta t$
F_8	Q_{12}	Q_5	$t_5(F_8) = t_{12}(F_8) + \Delta t$
F_9	Q_{13}	Q_6	$t_6(F_9) = t_{13}(F_9) + \Delta t$
F_{10}	Q_{14}	Q_6	$t_6(F_{10}) = t_{14}(F_{10}) + \Delta t$
F_{11}	Q_{15}	Q_6	$t_6(F_{11}) = t_{15}(F_{11}) + \Delta t$
F_{12}	Q_{16}	Q_6	$t_6(F_{12}) = t_{16}(F_{12}) + \Delta t$
F_{13}	Q_{17}	Q_7	$t_7(F_{13}) = t_{17}(F_{13}) + \Delta t$
F_{14}	Q_{18}	Q_7	$t_7(F_{14}) = t_{18}(F_{14}) + \Delta t$
F_{15}	Q_{19}	Q_8	$t_8(F_{15}) = t_{19}(F_{15}) + \Delta t$
F_5	Q_{20}	Q_9	$t_9(F_5) = t_{20}(F_5) + \Delta t$
F_6	Q_{21}	Q_{10}	$t_{10}(F_6) = t_{21}(F_6) + \Delta t$
F_7	Q_{22}	Q_{11}	$t_{11}(F_7) = t_{22}(F_7) + \Delta t$
F_8	Q_{23}	Q_{12}	$t_{12}(F_8) = t_{23}(F_8) + \Delta t$
F_9	Q_{24}	Q_{13}	$t_{13}(F_9) = t_{24}(F_9) + \Delta t$
F_{10}	Q_{25}	Q_{14}	$t_{14}(F_{10}) = t_{25}(F_{10}) + \Delta t$
F_{11}	Q_{26}	Q_{15}	$t_{15}(F_{11}) = t_{26}(F_{11}) + \Delta t$
F_{12}	Q_{27}	Q_{16}	$t_{16}(F_{12}) = t_{27}(F_{12}) + \Delta t$
F_{13}	Q_{28}	Q_{17}	$t_{17}(F_{13}) = t_{28}(F_{13}) + \Delta t$
F_{14}	Q_{29}	Q_{18}	$t_{18}(F_{14}) = t_{29}(F_{14}) + \Delta t$
F_{15}	Q_{30}	Q_{19}	$t_{19}(F_{15}) = t_{30}(F_{15}) + \Delta t$

6.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

A través de las curvas de actuación de los equipos, estipulados en las especificaciones técnicas de los fabricantes y considerando los rangos de ajustes actuales de los equipos expresados en tabla 17, se evaluó la existencia de coordinación (selectividad y capacidad de cortocircuito) para situaciones de falla en las barras y tableros principales de las líneas de envasado como se muestra en la figura 7. De lo cual se detectaron anomalías de protección y selectividad existentes para este sistema.

Para lograr la coordinación de la protección se propusieron cambios en los ajustes de los dispositivos y en algunos casos remplazo, ya que a las características tiempo-corriente de actuación del mismo interruptor no permitían una plena coordinación.

Los resultados de este análisis se encuentran en forma de gráficos tiempo corriente en el anexo 2, que representan la forma de actuación de los dispositivos para diferentes eventualidades y los ajustes que se presentan son la propuestas más óptima que se puede llegar con el rango de configuración de los dispositivos que se encuentran actualmente conectados al sistema de alimentación. Esta disposición de interruptores, exceptuando la configuración de protecciones de la línea PET, no es capaz de lograr una plena coordinación, donde no se solapen las curvas de actuación y exista una selectividad para cualquier corriente de falla, así sea por un corto circuito o sobre carga del sistema. Los ajustes propuestos se muestran en la tabla 19.

Tabla 19. Ajustes propuestos de los equipos de protección del sistema

Numero Asignado	Tipo de equipo	In (A)	Ubicación	Ajustes actuales	Ajustes propuestos
1	Relé, GE IFC 53		TRX LLENADO 1	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5
2	Relé, GE IFC 53		TRX LLENADO 2	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5
3	Relé, GE IFC 53		TRX LLENADO 3	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5	TAP=12 DIAL=10 RTC=150/5
4	Relé, GE F 60		TRX PET	TAP=10 DIAL=10 RTC=300/5	TAP=10 DIAL=10 RTC=300/5
5	INT, Siemens 3WN1	2000	BARRA A	Ir=0,9*In Tc=10s Id=5*Ir Td=10ms Ii=8*In	Ir=0,9*In Tc=6s Id=4*Ir Td=300ms Ii=20*In
6	INT, Siemens 3WN1	2000	BARRA B	Ir=1*In Tc=3,5s Id=4*Ir Td=220ms Ii=8*In	Ir=0,9*In Tc=6s Id=4*Ir Td=300ms Ii=20*In
7	INT, Siemens WL IIS	3200	BARRA C	Ir=3200A Tc=10s Isd=9600A Tsd=400ms Ii=9600A	Ir=3200A Tc=6s Isd=6400A Tsd=300ms Ii=38400A
8	INT, Siemens WL IIS	3200	BARRA B PET	Ir=3200A Tc=10s Isd=9600A Tsd=400ms Ii=9600A	Ir=3200A Tc=6s Isd=6400A Tsd=300ms Ii=38400A
9	INT, Siemens 3WN1	630	SALIDA LINEA 4	Ir=1*In Ii=3Ir	Ir=1*In Ii=8Ir
10	INT, Siemens 3WN1	630	SALIDA LINEA 1B	Ir=1*In Ii=3Ir	Ir=1*In Ii=8Ir
11	INT, Siemens 3WN1	630	SALIDA LINEA 2	Ir=1*In Ii=3Ir	Ir=1*In Ii=8Ir
12	INT, Siemens 3WN5	1000	SALIDA LINEA 6ª	Ir=1*In Ii=4Ir	Ir=1*In Ii=4Ir
13	INT, Siemens 3WN5	630	SALIDA LINEA 1ª	Ir=0,8*In Ii=6Ir	Ir=1*In Ii=8Ir
14	INT, Siemens 3WN1	800	SALIDA LINEA 6B	Ir=1*In Ii=6Ir	Ir=1*In Ii=6Ir
15	INT, Siemens 3WN5	800	SALIDA LINEA 3	Ir=1*In Tc=2s Id=5*Ir Td=220ms Ii=6*In	Ir=1*In Tc=10s Id=5*Ir Td=150ms Ii=20*In
16	INT, Siemens 3WN5	630	SALIDA LINEA 5	Ir=1*In Ii=4Ir	Ir=1*In Ii=8Ir
17	INT, Siemens WL IN	1250	SALIDA LINEA L.A	Ir=1*In Isd=3*Ir Tsd=400ms Ii=20*In	Ir=1*In Isd=4*Ir Tsd=0,1s Ii=20*In
18	INT, Siemens WL IN	1250	SALIDA LINEA L.B	Ir=1*In Isd=3*Ir Tsd=400ms Ii=20*In	Ir=1*In Isd=4*Ir Tsd=0,1s Ii=20*In
19	INT, Siemens WL IN	1250	SALIDA LINEA PET	Ir=1*In Isd=3*Ir Tsd=400ms Ii=20*In	Ir=1*In Isd=4*Ir Tsd=0,1s Ii=20*In
20	INT, Siemens VL N	800	ENTRADA LINEA 4	Ir=0,6*In Tr=2,5s Ii=1,25*In	Ir=0,6*In Tr=2,5s Ii=5*In
21	INT, Siemens NMG	800	ENTRADA LINEA 1B	Ii=3250A	Ii=3250A
22	INT, Siemens VL	630	ENTRADA LINEA 2	Ir=500A Ii=5*In	Ir=500A Ii=5*In
23	INT, Siemens NMG	800	ENTRADA LINEA 6ª	Ii=3250A	Ii=3250A
24	INT, Siemens NMG	800	ENTRADA LINEA 1ª	Ii=3250A	Ii=3250A
25	INT, Merlin Gerin C801 N	800	ENTRADA LINEA 6B	-	-
26	INT, Sace S6	630	ENTRADA LINEA 3	Ir=630A Ii=6300	Ir=500A Ii=3150
27	INT, Sace S6	630	ENTRADA LINEA 5	Ir=630A Ii=6300	Ir=500A Ii=3150
28	INT, Siemens NMG	800	ENTRADA LINEA L.A	Ii=3250A	Ii=3250A
29	INT, Siemens NMG	800	ENTRADA LINEA L.B	Ii=3250A	Ii=3250A
30	INT, Moeller NZM 4	1000	ENTRADA LINEA PET	Ir=0,8*In Tc=10s Isd=6*Ir Tsd=0ms Ii=12*In	Ir=0,8*In Tc=10s Isd=4*Ir Tsd=0ms Ii=12*In

Nota: El sombreado azul más oscuro representa que el interruptor se le debe ajustar sus parámetros.

La tabla 20 representa un resumen del estado de la coordinación de protecciones de acuerdo a los ajustes que presentan actualmente los dispositivos y el estado que se pudo lograr planteando una modificación de los parámetros. Para mayor detalle del análisis realizado, este encuentra en el anexo 2.

Tabla 20. Resultados de la coordinación de protecciones

Condiciones	Fallas en la barra y tableros		Sobre carga	
Alimentador	Condición actual	Condición propuesta	Condición actual	Condición propuesta
Línea 1A	No coordinadas	No coordinadas Para falla F9	No coordinadas	No coordinadas
Línea 1B	No coordinadas	No coordinadas Para falla F6	No coordinadas	No coordinadas
Línea 2	No coordinadas	coordinadas	No coordinadas	No coordinadas
Línea 3	No coordinadas	No coordinadas Para falla F11	No coordinadas	coordinadas
Línea 4	No coordinadas	No coordinadas Para falla F5	coordinadas	coordinadas
Línea 5	No coordinadas	No coordinadas Para falla F12	No coordinadas	No coordinadas
Línea 6 A	No coordinadas	coordinadas	No coordinadas	No coordinadas
Línea 6 B	No coordinadas	No coordinadas Para falla F10	No coordinadas	No coordinadas
Línea latas A	No coordinadas para falla F3	coordinadas	No coordinadas	No coordinadas
Línea latas B	No coordinadas para falla F3	coordinadas	No coordinadas	No coordinadas
Línea PET	No coordinadas	coordinadas	coordinadas	Coordinadas

En la condición actual de los interruptores no existe una correcta coordinación, esto debido a los ajustes seleccionados que estos presentan, donde no hay una selectividad definida entre los interruptores. Condición que se repite en todos los casos de estudio (ver anexo 2). Sin embargo modificando los parámetros de disparo de estos, se puede lograr una coordinación aceptable en las diferentes cadenas de interruptores asociadas a las líneas de envasado, exceptuando los interruptores que se encuentran en los tableros, que como podemos ver en los gráficos tiempo corriente en el anexo 2, en la mayoría de los casos no se puede lograr una plena coordinación entre este interruptor y el inmediato superior, debido a la velocidad de disparo de estos (condición que no aplica

únicamente el caso de la línea PET donde si es posible una plena coordinación con los ajustes que se proponen).

Para lograr una plena coordinación de protecciones, los interruptores aguas arriba de los tableros deben poseer la opción de la curva de retardo corto para poder atrasar el tiempo de disparo instantáneo de estos y lograr que en dado caso actué el interruptor del tablero de las líneas de envasado antes de las protecciones aguas arriba. Para la mayoría de los casos de este sistema los interruptores principales de los tableros de las líneas de envasado tienen una respuesta muy lenta ante corrientes de sobrecarga, no logran coordinarse por completo con los interruptores de aguas arriba, y es por esto que para lograr una plena coordinación se hace una propuesta de remplazo de interruptores tanto para las protecciones principales de los tableros como de los interruptores inmediatos superiores de las líneas de envasado (1, 2, 3, 4, 5, 6). Mientras que en las líneas de latas solo se propone el cambio en los interruptores de los tableros principales. Las propuestas sugeridas así como la coordinación y ajustes de protecciones se muestran en las siguientes figuras 8 y 9.

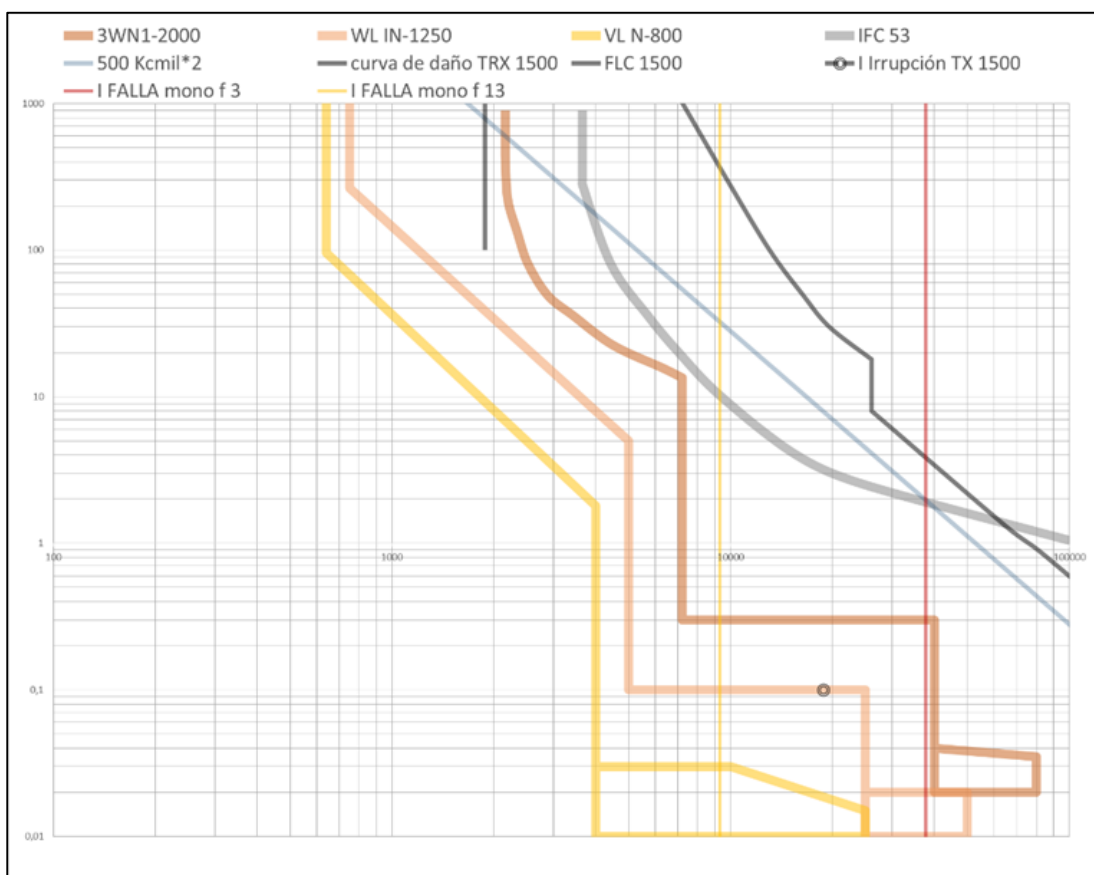


Figura 8. Coordinación de protecciones propuesta con dispositivos de remplazo para las líneas de envasado (1, 2, 3, 4, 5, 6)

En la figura 8 se muestra la propuesta para todas las líneas de envasado (1, 2, 3, 4, 5, 6) y la falla de mayor magnitud y la de menor magnitud que se pueden encontrar en el sistema para representar el rango de corrientes de cortocircuito que puede manejar esta configuración propuesta siendo completamente selectiva para dicho rango y para cualquier corriente de sobrecarga.

En esta coordinación de protecciones podemos ver que se utiliza la misma configuración de relé en el lado de alta del transformador e interruptor principal de las barras de baja tensión existentes, se propone el cambio de los interruptores de salida de estas barras por un interruptor con capacidad de manejar los niveles de cortocircuito

impuestos por el sistema y la opción de la curva de retardo corto. Para esto se propone el interruptor marca Siemens, modelo Sentron 3WL con una corriente nominal de 1250A y una unidad de disparo ETU25B ya que la empresa posee experiencia con dicho interruptor. Mientras que para los interruptores de los tableros de las líneas es necesario que pueda actuar con rapidez ante eventos de sobre carga y por su capacidad de ajuste se propone un interruptor marca Siemens, modelo NMG de 800 A con una unidad de disparo ETU 555.

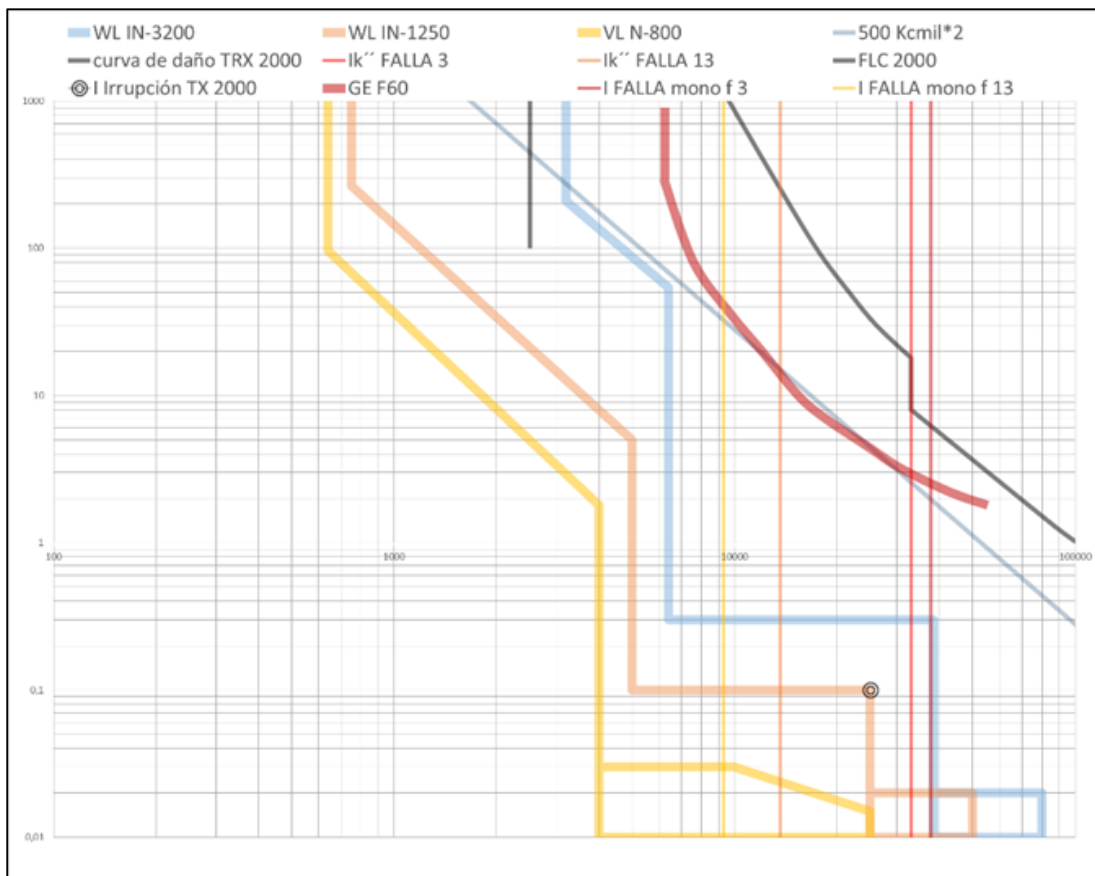


Figura 9. Coordinación de protecciones propuesta con dispositivos de remplazo para las línea de latas

Para el caso de la línea de latas se propone el cambio del interruptor de los tableros principales de dicha línea, debido a que el la protección actual no es capaz de actuar con la rapidez suficiente ante corriente de sobrecarga y no solaparse con la curva de

actuación de la protección aguas arriba. Es por esto que propone su remplazo por un interruptor marca Siemens, modelo NMG de 800A con una unidad de disparo ETU 555 el cual tiene gran capacidad de ajuste y puede actuar para dichas corrientes siendo selectivo para cualquier corriente de falla o sobrecarga.

CAPÍTULO VII

DIAGNÓSTICO DE LAS INSTALACIONES

Las líneas de envasado requieren de un suministro eléctrico constante y eficiente, puesto que un paro en inadvertido del sistema de suministro de energía eléctrica puede generar pérdidas monetarias muy significativas. A través del diagnóstico de las instalaciones de la red eléctrica de alimentación de las líneas, se desea conocer el estado actual que guarda dicha red, tanto en funcionamiento, operatividad y seguridad, lo que nos arroja un dictamen respaldado por diferente normas y criterios de diseño, que se enfoca a determinar los problemas que se presentan o se podrían presentar, así como la solución a los mismos.

Este diagnóstico comprende la evaluación de los tableros verificando la integridad de la envolvente y tapas, se comparó con la capacidad de cortocircuito de los tableros con el nivel impuesto por la red, la evaluación de los conductores por caída de tensión y se verificó si los conductores estaban protegidos por los interruptores.

7.1 EVALUACIÓN DE LOS TALEROS

- Evaluación de la envolvente, patas y puertas de los tableros.

La norma Centros de Fuerza y Distribución (CDF) Convenir 3508 [15] establece varios criterios que deben cumplir los tableros que encuentras en estas salas de control de las líneas de envasado.



Figura 10. Tableros de las líneas de envasado 1(A y B), Latas (A y B)

Los tableros de las línea de envasado 1 y latas se encuentran en perfecto estado en lo que su envoltorio se refiere, y podrían considerarse como un ejemplo para las imitaciones futuras.



Figura 11. Tableros de las líneas de envasado 2 y 4.

Los tableros de las líneas de envasado 2 y 4 presentan un buen diseño y estado de la tapa de frente muerto, ya no presentan ningún abertura donde pueda verse expuesto el personal a algún punto energizado del tablero, sin embargo ambos tableros no están cerrados por los laterales incumpliendo con el punto 6.4.1 de la norma Covenin 3508 [15] antes mencionada, que estipula que la envoltorio de los tableros debe ser cerrada por enfrente, atrás, arriba y por los lados.

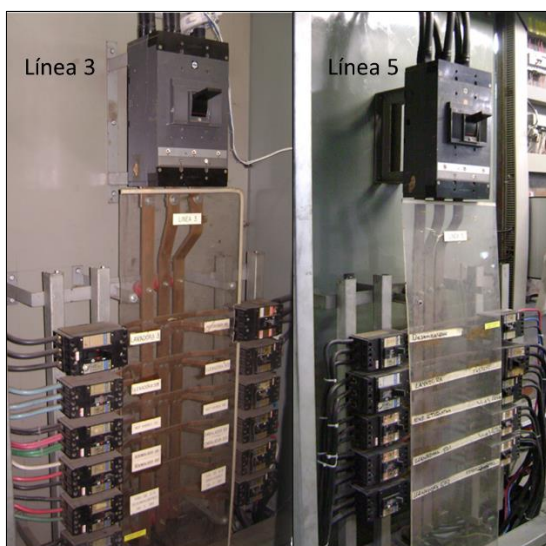


Figura 12. Tableros de las líneas de envasado 3 y 5

Estos tableros son una configuración de interruptores y barras que están montados en una celda, los cuales no presentan ninguna envolvente ni tapa apropiadas para la protección del personal, la capacidad de corriente de la barra es inferior a la corriente nominal del interruptor incumpliendo así con los criterios estipulado en las normas asociadas.

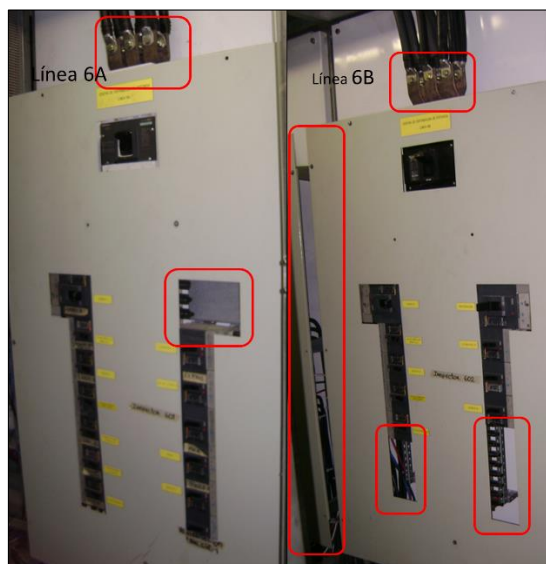


Figura 13. Tableros de la línea de envasado 6 (A y B)

Los tableros de la línea de envasado 6, presenta aberturas en la tapa de frente muerto donde deben colocarse tapas de reserva, también encontramos barras activas expuestas en la parte superior de ambos tableros que deben ser cubiertas por la tapa de frente muerto, además los tableros no cuenta con una envolvente adecuada ya que las partes superior y laterales no se encuentran cerradas y por último la capacidad de la barra principal de ambos tableros se ve superada por la corriente nominal del interruptor principal.

Todos los tableros estudiados cumplen con las distancias mínimas requeridas entre sus partes energizadas no aisladas de polaridad opuesta y entre cualquier parte energizada no aislada y partes metálicas puestas a tierra. De acuerdo con la tabla 6 de la norma de Centros de Fuerza y Distribución Covenin 3508 [15].

- Evaluación de la capacidad de cortocircuito de los tableros.

La capacidad de resistencia de cortocircuito de un tablero no es mayor que la menor capacidad de resistencia al cortocircuito de cualquier de sus componentes y para el caso de los tablero línea 1A y línea 1B existen interruptores con una capacidad de 14 kA conectados a la barra principal del tablero que no soportan el máximo nivel de cortocircuito impuesto por el sistema. Como se representa en la tabla 21 donde se compara la capacidad de cortocircuito de los tableros con el nivel de cortocircuito impuestos por el sistema, reportados en la tabla 15.

Tabla 21. Evaluación de la capacidad de cortocircuito de los tableros

Tablero	Nivel de cortocircuito del tablero (kA)	Nivel de cortocircuito del sistema (kA)	Diagnóstico
Línea 1 ^a	14	16,4	No soporta el nivel de cc
Línea 1B	14	15,6	No soporta el nivel de cc
Línea 2	25	16,6	Soporta el nivel de cc
Línea 3	20	17,7	Soporta el nivel de cc
Línea 4	25	18,6	Soporta el nivel de cc
Línea 5	20	18,5	Soporta el nivel de cc
Línea 6 ^a	25	20,6	Soporta el nivel de cc
Línea 6B	25	19,8	Soporta el nivel de cc
Línea latas A	25	13,6	Soporta el nivel de cc
Línea latas B	20	13,6	Soporta el nivel de cc
Línea PET	50	24,1	Soporta el nivel de cc

- Evaluación de la puesta tierra y barra de neutro de los tableros.

Los tableros de las líneas de envasado 1, latas y PET son los únicos que presentan una conexión a la puesta tierra respectiva, mientras de los tableros de las líneas de envasado 2, 3, 4, 5 y 6 no presentan una conexión directa al sistema de puesta tierra.

Los conductores por los cual se conectan las barras de tierra de los tableros 1A, 1B, latas y PET están bien identificados por su color verde y son conductores 2/0 awg THHN para el caso de los tableros de las líneas de envasado 1 y latas. Mientras que para el caso de la línea PET esta es un conductor 3/0 awg THHN, cumpliendo ambos casos con lo estipulado en la tabla 15 de norma Centros de Fuerza y Distribución Covenin 3508 [15]. Que especifica el calibre del conductor de aterramiento dependiendo el calibre del conductor de la acometida del tablero.

En los tableros de las líneas 1 y latas el conductor de neutro (500kcmil THW) está conectado directamente al marco o envoltorio del tablero, como la podemos ver en la

figura 14. En las líneas 2, 3, 4 y 5 en conductor de neutro (500kcmil THW) está conectado a una barra no aislada del marco o envoltente en la parte posterior del tablero cuyas características se asemejan a la de una barra de tierra, como se observa en la figura 15. Los tableros de la línea 6 no se encuentran ninguna conexión con el neutro del sistema.



Figura 14. Conexión de neutro y puesta tierra de los tableros de las líneas 1 y latas.

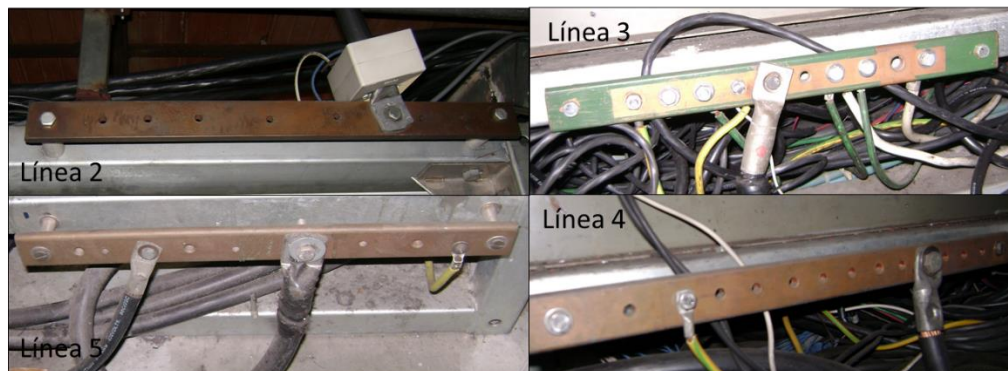


Figura 15. Conexión de neutro los tableros de las líneas de envasado 2, 3, 4 y 5

Mientras que la línea de envasado PET el neutro está conectado a su respectiva barra aislada (Barra neutro) y la puesta tierra está conectada a la Barra de tierra del tablero que está conectada eléctricamente a la envoltente. Entre la barra neutro y la barra de no presentan conexión alguna.

La norma Centros de Fuerza y Distribución Covenin 3508 [15], estipula en su punto 6.9.8.2 que la barra de neutro debe ser montada sobre aisladores de 25,4 mm de espesor y además estipula en el punto 6.16.8 que el tablero debe preverse de un conductor puente removible, de calibre indicado, entre la barra del neutro aislada y la barra principal de tierra.

Las especificaciones de construcción de la empresa están normalizadas en un estándar que dicta las pautas de cómo debe ser conectado el sistema de puesta a tierra, y estipula que para este punto que debe existir una conexión en forma radial independiente del neutro, desde cada tablero de las líneas de envasado a cada respectivo tablero de equipos mediante una barra de cobre y conductor de diámetros adecuados, las cuales a su vez se interconectan con la malla de puesta a tierra de la sub estación.

También estipula que debe existir una puesta a tierra de motores y equipos llamada PEM, que se conecta con la barra de tierra de los tableros que a su vez están conectados a la malla de tierra de la subestación.

De los casos estudiados, solo en la línea de envasado PET presenta una configuración de tierra propiamente conectada como lo estipula el estándar de la empresa, pero al momento de realizar la conexión con el neutro de los equipos, se comete el error de usar el marco de los tableros como neutro, caso que se repite en todas las líneas estudiadas, quedando así la barra de neutro sin utilidad alguna ya que las corrientes de retorno están circulando por el sistema de puesta a tierra conectado al neutro del transformador. Esto representa un riesgo eléctrico para el personal que opera en las salas de control ya que las partes metálicas pueden presentar un diferencial de potencial que produciría alguna lesión o riesgo de electrocución.

Para corregir esta condición y apegarse a lo estipulado en los estándares de construcción de la empresa debe revisarse y reconectar los aparatos que requieren conexión de neutro a las barras correspondientes al neutro de los tableros y separar la

tierra del neutro proveniente de la subestación la cual solo debe conectada los marcos, canalizaciones y los puntos que requieran la conexión a tierra.

7.2 EVALUACIÓN DE LOS CONDUCTORES.

Para evaluar los conductores se tomaron en consideración todos los conductores que comprenden el sistema, así como su longitud, impedancia equivalente referida a la tabla 9 del Código Eléctrico nacional [6] y el tipo de canalización que los alberga (bandejas portables).

Se tomaron tres criterios para la evaluación de los conductores; capacidad de corriente, caída de tensión y cortocircuito. Para comparar la capacidad de corriente de los conductores se utilizaron las tablas 310.16 hasta la 310.21 CEN [6] y se toma en cuenta los factores de corrección por temperatura y por el tipo y disposición de las canalizaciones. Para evaluar la caída de tensión se consideró un camino desde la salida de la subestación pasando por los tableros de las líneas de envasado y hasta los alimentadores de los diferentes procesos y equipos que conforman las líneas de envasado. Y por último se evaluó la capacidad de soportar un cortocircuito en sus terminales utilizando la expresión (7) asumiendo un tiempo de disparo de 0.3ms y comparado la sección mínima requerida del conductor para soportar tal corriente, con la sección del conductor instalado.

7.2.1 RESULTADOS

Con los datos de los conductores, las corrientes calculadas en el estudio de nivel de cortocircuito, corrientes de operación de los equipos, demanda de los tableros y el factor de potencia promedio medido en el estudio de carga del Capítulo IV. Se construyeron tablas donde se evidencia los resultados obtenidos en el anexo 3.

- Con respecto a la capacidad de corriente de ningún conductor presenta problemas.
- Con respecto a la caída de tensión de los circuitos. El circuito que presente la mayor caída de tensión del sistema, es el circuito de las etiquetadoras de la línea 5 el cual presenta una caída de 3,18%. Cumpliendo así todos los circuitos analizados con el criterio de caída de tensión de 5%.
- Con respecto a la capacidad de soportar una corriente de cortocircuito de los conductores. Varios de estos no son capaces de soportar el nivel de cortocircuito impuesto por el sistema. Estos conductores que no soportan dicha corriente son los asociados a los siguiente circuitos:

Tabla 22. Conductores que no soportas corriente de cortocircuito

Tablero	Circuito alimentador
Línea 1A	Bomba de cerveza
Línea 1B	ventiladores
Línea 1B	Lina tronic
Línea 2	Lavadora
Línea 6A	Inspector 601
Línea 6B	Inspector 602
Línea latas A	Trx 120
Línea latas A	Trx 220
Línea latas B	Transporte cajas
Línea PET	fusible previo

7.3 EVALUACIÓN DE LAS PROTECCIONES DE CONDUCTORES

La tabla 23 representa el resumen de resultados obtenidos al analizar y comparar la protecciones instaladas en los tableros de las líneas de envasado y no protegen apropiadamente los conductores y equipos.

Para mayores detalles de este estudio dirigirse al anexo 3, que agrupa los resultados obtenidos y propuestas sugeridas de la evaluación de conductores y protecciones de los circuito de alimentación de los equipos de las líneas de envasado.

Tabla 23. Circuitos ramales donde el conductor no está protegido ante sobre cargas.

Tablero	Circuito alimentador
Tablero línea 1B	ventiladores
Tablero línea 2	Pasteurizador
Tablero línea 2	Trx 480/220
Tablero línea 3	Lavadora
Tablero línea 3	Pasteurizador
Tablero línea 4	Pasteurizador
Tablero línea 4	Lavadora
Tablero línea 4	Trx 480/220
Tablero línea 5	Trx 480/220
Tablero línea 5	Lavadora
Tablero línea 5	Etiquetadora
Tablero línea 6A	Horno A
Tablero línea 6A	Via botellas 1y2
Tablero línea 6A	Trx 480/220
Tablero línea 6A	Inspector 601
Tablero línea 6A	Rinser A
Tablero línea 6A	Alimen C.I.P
Tablero línea 6B	Horno B
Tablero línea 6B	Paster
Tablero línea 6B	Vías botellas 3, 4
Tablero línea 6B	Inspector 602
Tablero línea 6B	Trx 480/220
Tablero línea 6B	Rinser B
Tablero línea Latas A	Despaletizador
Tablero línea PET	trasporte envase
Tablero línea PET	reserva

7.4 COMPARACIÓN DE EFICIENCIA

Comparando los datos obtenidos del nivel de consumo de energía eléctrica adquiridos del estudio en las diferentes líneas y niveles de producción al momento de la medición, se definió un índice de consumo de energía eléctrica que relaciona la energía utilizada con los litros de producto procesado y mediante esta relación se comparó la eficiencia entre las líneas de envasado.

En la siguiente tabla se registran los datos medidos de consumo de energía eléctrica y volumen de producto producido al momento de realizar la medición.

Tabla 24. Comparación de eficiencia entre las líneas de envasado.

Líneas de envasado	Energía (kWh)	Cajas producidas	Hectolitro envasados	Índice de consumo (kWh/Hl)
Línea 2	547122	48378	3831,53	142,79
Línea 1	487507	41591	3294	147,99
Línea 3	473337	39000	3088,8	153,24
Línea 5	542072	29334	2323,25	233,32
Línea 4	551351	16032	1269,73	434,22

Podemos observar que de las 5 líneas estudiadas, la línea 2 presenta el menor valor de los índices de consumo, por lo que se considera como la línea más eficiente entre ellas. Tomando como base el índice de consumo de esta línea, podemos decir que la líneas 1 reflejo ser un 3% menos eficiente que la línea 2, la línea 3 un 7%, la línea 5 un 63% y por último la línea 4 que resultó ser un 304% menos eficiente.

Estos resultados están estrechamente ligados al proceso de envasado como tal, se puede inferir que la forma de operar la línea de envasado influye directamente en la relación entre la energía consumida y los litros de producto envasado. Por ejemplo, durante una parada no programada de producción en línea 4, por un inconveniente mecánico, se observó que algunos equipos continuaron consumiendo energía mientras que la línea

no es capaz de procesar productos, cambiando así la correlación que normalmente se espera entre la energía y la producción.

Cabe destacar que estas conclusiones parciales están limitadas por el corto tiempo del estudio, como ya se mencionó anteriormente fue de apenas 48 horas. En cualquier caso es importante destacar la necesidad de un estudio por un periodo de tiempo mayor a los fines de establecer resultados con mayor peso, que permitan generar parámetros de consumo y comportamiento de las líneas de envasado.

El objetivo principal de expandir este estudio de consumo energético, es generar una variable de control que permita identificar factores externos e internos del proceso de envasado que puedan afectar significativamente el consumo de energía y plantear acciones que lleven como resultado la disminución de la energía necesaria para envasar los productos que maneja esta planta. Como por ejemplo identificar los equipos que pueden ser sacados de servicio al momento de una parada no programada y así disminuir el consumo ineficaz de energía.

CONCLUSIONES

La capacidad de los circuitos y transformadores que alimentan a las líneas envasado comprendidas en el estudio que se realizó no se ven superadas en ningún momento por la demanda que pueda existir en las cargas conectadas, inclusive cuando todas las líneas estén trabajando al mismo tiempo. Siendo el transformador 3 el que presenta el mayor porcentaje de reserva, de alrededor de 77 % de su capacidad de 2000 kVA, y el transformador 2 con el menor porcentaje de reserva de alrededor de 11% de su capacidad de 1500 kVA.

La tensión de operación de las líneas de envasado donde se realizó el estudio de carga se apreció por debajo del 5% con respecto a la tensión nominal de operación del sistema, condición que no puede ser adjudicada a la caída de tensión que existe en los conductores entre los transformadores de la subestación y los tableros principales donde se realizaron las mediciones, debido a que la máxima caída de tensión calculada fue de 1,6 % para el caso de la línea de envasado de latas que se encuentra a la mayor distancia y menor al 1 % para todas las demás líneas que comprenden el estudio.

Las protecciones actuales de los tableros principales de las líneas de envasado no pueden coordinarse plenamente con las protecciones existentes aguas arriba, debido a que en la mayoría de los casos, la protecciones encontradas en las salidas de las barras de las unidades de transformación más antiguas de la subestación son de actuación muy veloz al momento de ocurrir una falla. Condición que no compromete totalmente la selectividad del sistema, ya que en todos los casos, estas protecciones están conectadas en el principio y final de los conductores que alimentan a las líneas de envasado e independientemente de cuál de estos interruptores actué primero al momento de ocurrir alguna falla, la parte del sistema que saldría de operación sería la misma. El sistema

evaluado consta de 30 interruptores, de los cuales el 10 no pueden ser coordinados lo cual representa el 33,3% de los elementos estudiados.

Los conductores de algunos de los circuitos ramales de los tableros de las líneas de envasado y que alimentan a los equipos, no están protegidos por los interruptores ya que la corriente nominal de estos se encuentra por encima de las capacidades de corriente de los conductores. Por otra parte los transformadores que se encuentran en las salas de control que se encargan de reducir la tensión de operación a 220 V L-L y alimentan a los tableros de servicio de las líneas de envasado 2, 3, 4, 5, 6 no se encuentra protegidos por los elementos de protección destinados a este fin, ya que la corriente a plena carga de dichos transformadores es muy inferior a las corriente nominal de las protecciones asociadas.

La conexión a tierra en los tableros que las líneas de envasado no es usada adecuadamente ya que en la mayoría de las ocasiones que los equipos que requieren conexión a neutro estos son conectados al marco metálico de las celdas o tableros, utilizándolos como retorno del sistema. Esto lleva como consecuencia que circulen corrientes por los conductores de tierra y el sistema de puesta tierra que no deberían estar presentes, ya que el fin del sistema de puesta tierra es el de proteger a las personas y al sistema al momento de ocurrir alguna falla o condición de riesgo eléctrico.

Se generaron índices de eficiencia en las 5 líneas donde se realiza el estudio de carga, y se pudo observar que de las 5 líneas estudiadas, la línea 2 presenta el menor valor de los índices de consumo, por lo que se considera como la línea más eficiente entre ellas y en base a los resultados obtenidos se puede inferir que la forma de operar la línea de envasado influye directamente en la relación entre la energía consumida y los litros de producto envasado.

RECOMENDACIONES

Pasar la carga de la línea de envasado 6 a la unidad de transformación 3 de 2000kVA ubicada de la subestación de envasado, ya que esta unidad presenta la menor carga conectada que equivale a 22.3% de su capacidad, mientras que las otras dos unidades de 1500kVA están conectadas a una carga que representa alrededor de 80 % de su capacidad, y al realizar este cambio de carga todos los transformadores de la subestación de envasado estarían conectados a una carga que representaría aproximadamente el 50% de la capacidad de estos, y de esta forman los transformadores 1 y 2 podrán funcionar de respaldo del otro soportando toda la carga conectada a estos, tal como fue pensado para su diseño inicial.

Verificar el nivel de tensión presente en las barras A, B y C, de baja tensión ubicadas de la subestación de envasado, para corroborar que el nivel de tensión sea lo más cercano posible a la tensión nominal del sistema, y en dado caso de que este no esté dentro del $\pm 5\%$ de la tensión nominal, verificar si es posible cambiar el TAP de los transformadores involucrados para así corregir la depresión de tensión encontrada en el sistema.

Reemplazar todas las protecciones que presentan un mal dimensionamiento, no protegen apropiadamente los conductores de los circuitos ramales y los transformadores de los tableros de servicios de las líneas de envasado que lo requieran, por interruptores que puedan manejar las corrientes, proteger adecuadamente los conductores y equipos, tal como se propone en el capítulo VI.

Colocar las tapas de frente muerto en los tableros 3 y 5, así como también tapas en los laterales de los tableros que lo ameriten y tapas de los espacios de reserva como se indicó en el capítulo VI de diagnóstico de las instalaciones.

Conectar el neutro proveniente de la subestación a las barras de neutro de los tableros, que deben ser de dimensiones adecuadas y estar aisladas de cualquier parte metálica que conforman los tableros, realizar la reconexión de los neutros de los equipos a estas barras de neutro, con el fin de separar el neutro de los tableros y equipos del sistema de puesta tierra.

Conectar los tableros con el sistema de puesta tierra con un conductor de color verde de calibre no menor a awg 1/0, y asegurarse que todos las celdas, marcos canaletas, carcasas de equipos estén conectados a este.

Realizar la medición de la resistencia del sistema de puesta a tierra instalado actualmente con la finalidad de corroborar que el valor actual es el indicado por la normativa de la empresa, ya que este valor no pudo ser medido por no poseer las tanquillas de medición necesarias.

Expandir el estudio de consumo energético, generando una variable de control que permita identificar factores externos e internos del proceso de envasado que puedan afectar significativamente el consumo de energía de las líneas de envasado y plantear acciones que lleven como resultado la disminución de la energía eléctrica necesaria para envasar los productos que maneja esta planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC, IEC 60909-0 Short-circuit currents in three-phase a.c. systems, 2001.
- [2] IEC, IEC 909-2 Electrical Equipment Data For Short Circuit Current Calculations, 1992.
- [3] IEC, «IEC 60076-8 Power transformers-Application guide,» 10, 1997.
- [4] IEEE PC37.91, «Guide for Protecting Power Transformers,» 2006
- [5] IEEE, «IEEE Std 242 recommended practice for protection and coordination of industrial and commercial power systems,» 1986.
- [6] FONDONORMA 200, CÓDIGO ELÉCTRICO NACIONAL, Caracas, 2009.
- [7] DR. H. ALTUVE, «PROTECCION DE SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA,» SANTA CLARA, 1992.
- [8] COVENIN, «159:1997 TENSIONES NORMALIZADAS DE SERVICIO,» 1997.
- [9] IEEE 1159, «Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality».
- [10] NEMA. MG1, «Motors And Generator,» 2009.
- [11] Ministerio de Energía y Minas, «Reglamento de Servicio,» Caracas, 2003.
- [12] IEEE 519, «Recommended Practice and requirements for Harmonic Control In Electrical Power Systems,» 1992.

- [13] Ministerio de Energía y Minas, «NORMAS DE CALIDAD DEL SERVICIO DE DISTRIBUCIÓN DE ELECTRICIDAD,» 2003.
- [14] COVENIN, TABLEROS ELÉCTRICOS PARA ALUMBRADO ARTEFACTOS Y DE DISTRIBUCIÓN HASTA 600V, 1600A Y DE MÁXIMO 42 CIRCUITOS RAMALES CON INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS EN CAJA MOLDEADA, 1999.
- [15] COVENIN. , «3508Centro de Fuerza y distribución (CDF) Hasta 600V y 6300A. Requisitos,» 1999.
- [16] NEMA Standards Publication PB 1, «Panelboards,» Rosslyn, 2006.
- [17] Ministerio de Obras Públicas, «MANUAL DE NORMAS Y CRITERIOS PARA PROYECTOS DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS,» EPSILOON.C.A, 1968.
- [18] EPCOS, «Grid Analysis tool MC7000-3, MANUAL,» version 1.0 E, 2010.
- [19] SISTEMAS ATBT.c.a, «Coordinación de protecciones sistema planta los cortijos,» Caracas, 1999.

BIBLIOGRAFÍA

Ley Orgánica del servicio Eléctrico. Gaceta Oficial N° 5.568.31 diciembre de 2001.

Mason C., Russel. El arte y la Ciencia de las Protecciones por Relevadores. Mexico: Editorial Continental. 1982

COVENIN 542. TABLEROS ELÉCTRICOS PARA ALUMBRADO ARTEFACTOS Y DE DISTRIBUCIÓN HASTA 600V, 1600A Y DE MÁXIMO 42 CIRCUITOS RAMALES CON INTERRUPTORES AUTOMÁTICOS EN CAJA MOLDEADA. 1999.

CADAFE. NORMAS PARA REDES DE DISTRIBUCIÓN SUBTERRÁNEAS, 1979

E. Harper, MANUAL DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS RESIDENCIALES E INDUSTRIALES, 2005.

ANEXOS
ANÁLISIS DE CARGA

ANEXOS 1

TABLERO LINEA 1A

- Demanda medida en el tablero línea 1A

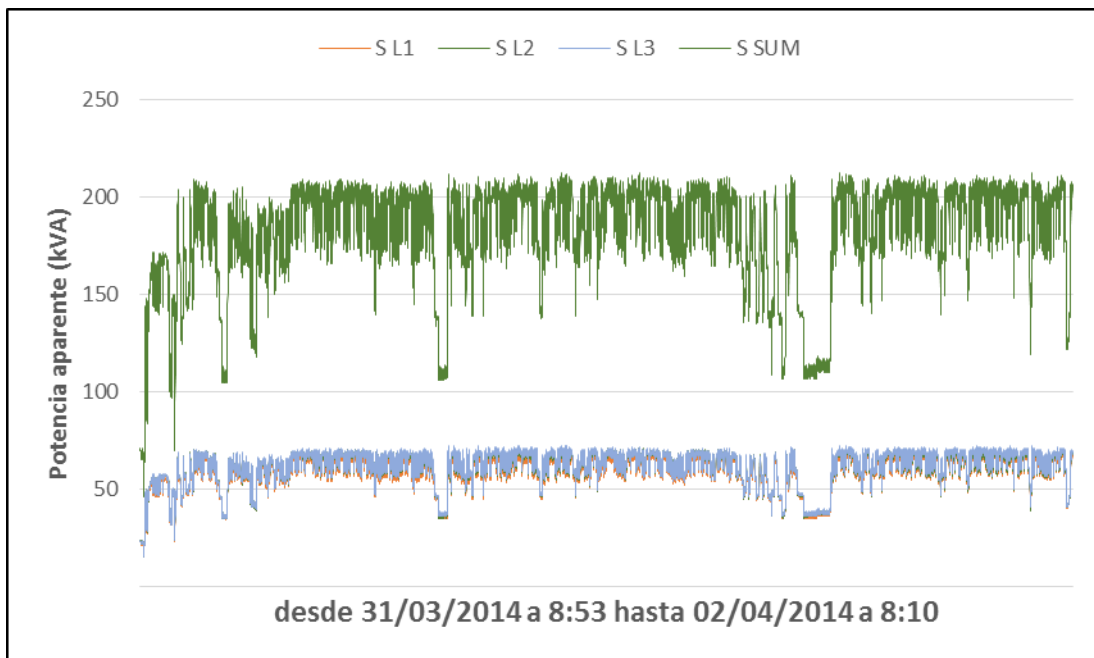


Figura A1. Demanda en el tablero línea 1A.

Se puede observar de la figura A1 que existe un patrón de comportamiento de la demanda que cuando la línea de envasado está en un pleno estado de operación, la potencia medida en este tablero está por encima de los 200 kVA, y siendo la demanda máxima medida de 212,7 kVA.

La demanda mínima medida es cuando la limas de envasado está fuera de operación, que se puede evidenciar al empezar el registro representado en la figura A1 y luego en

la demanda cae a un valor que alrededor 110 kVA cuando se realiza cambios de turno que cuando el personal de operación se releva y hay una parada momentánea de muchos de los procesos de la línea de envasado.

- Corriente medida en el tablero línea 1A

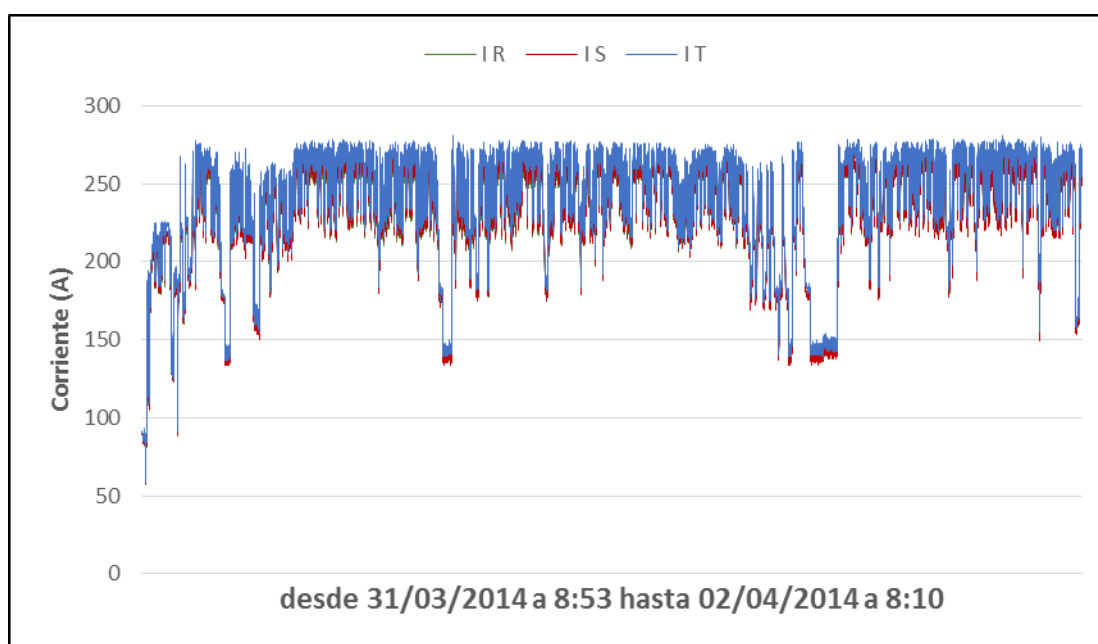


Figura A2. Corriente de las fases R, S, T.

En la figura A2 se muestra el comportamiento de la corriente en el tablero línea 1A donde podemos observar que la corriente llega a un valor máximo de 281 A. Siendo la fase T la más cargada y la fase R la que presenta menor carga al momento de entrar en operación la línea de envasado.

Desbalance de corriente en el tablero línea 1A

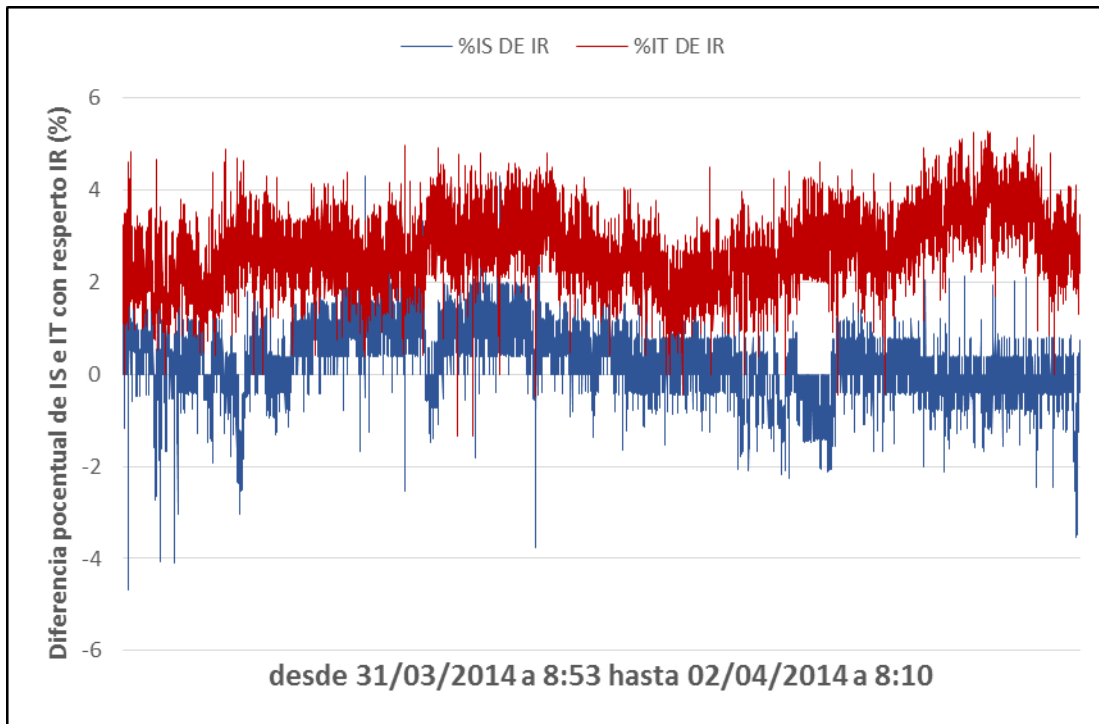


Figura A3. Diferencia porcentual de IS e IT con respecto a IR.

La figura A3 representa la diferencia porcentual que existe entre las corrientes de las fases S y T con respecto la fase con menor carga (R), y se puede observar que no existe un gran desbalance entre las corrientes de este tablero, ya que el valor de las fases S y T no supera al valor de referencia (+10%) estipulado por el Reglamento del Servicio Eléctrico.

- Factor de potencia

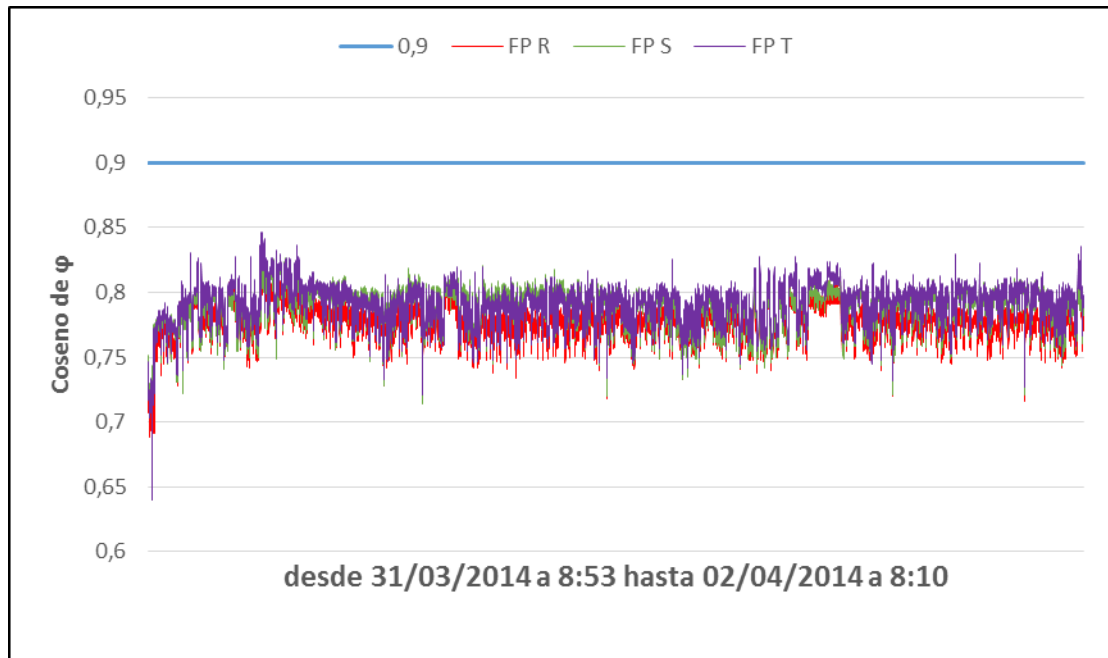


Figura A4. Factor de potencia medido en el tablero línea 1A.

Podemos ver en la figura A4 que el factor de potencia en promedio está en un valor de 0,784 y es relativamente bajo con respecto al parámetro establecido de 0,9 estipulado por el reglamento de servicio eléctrico, pero es de notar que en las barras de las subestación donde están conectados este tablero existe un banco de condensadores dinámico que compensa estos factores de potencia y los lleva a un valor por encima de 0,9. Como muestra los instrumentos de medición ubicados en las subestaciones.

- Tensión medida en el tablero línea 1A

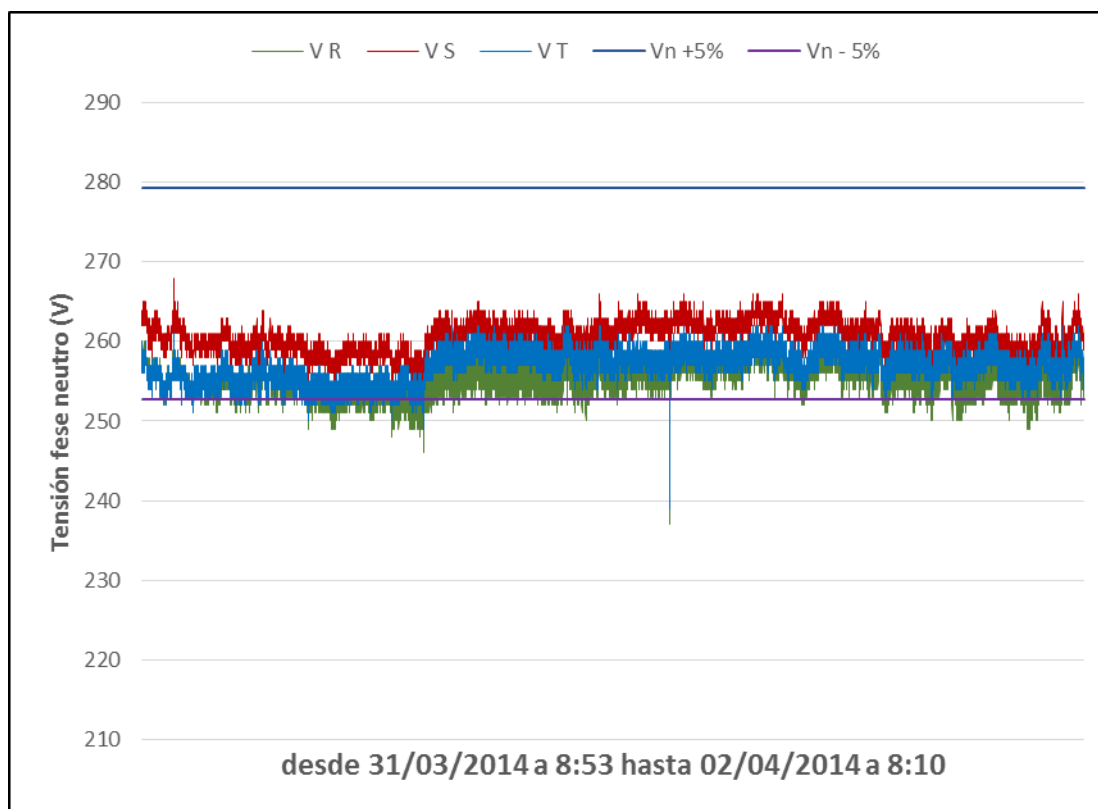


Figura A5. Tensión de medido en el tablero línea 1A.

En la figura A5 se ilustra las tensiones de fase respectivas para el tablero alimentador de la parte A de la línea de envasado 1, y podemos observar que la tensión se mantiene por debajo del valor nominal de tensino indicado por la empresa (265.5 V F-N), incluso por debajo del 5% de la tensión nominal.

- Desbalance de tensión en el tablero 1A

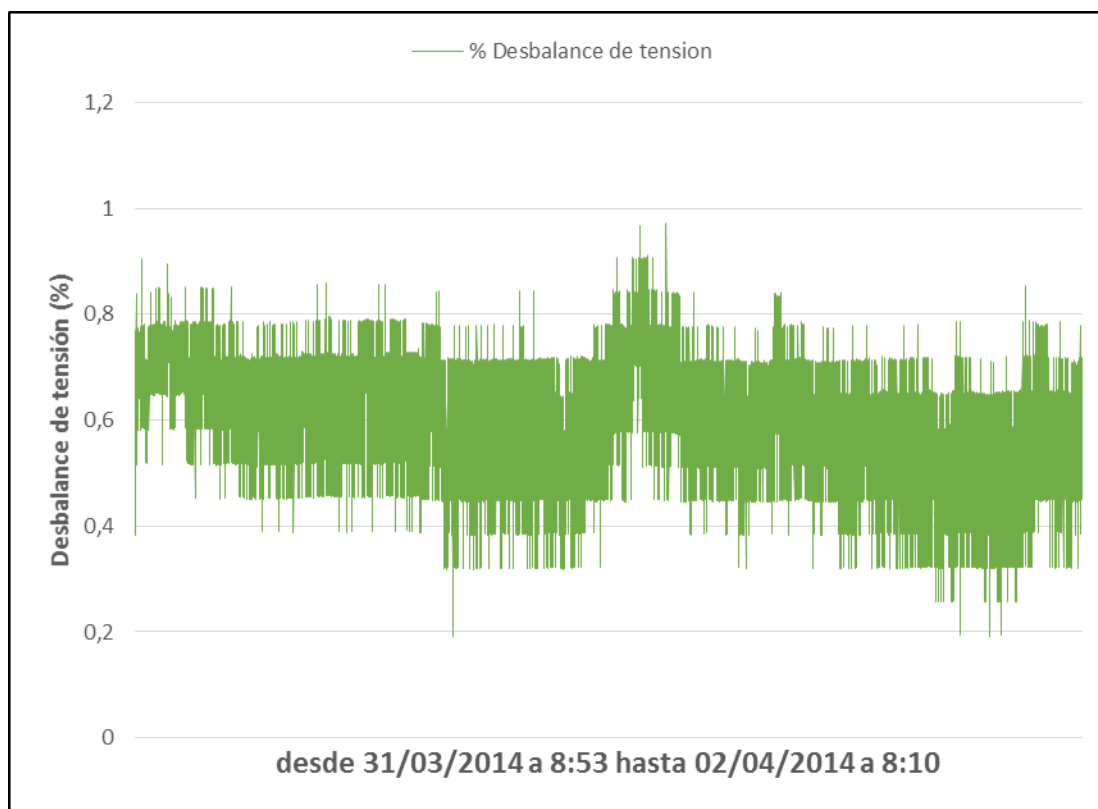


Figura A6. Desbalance de tensión en el tablero línea 1A.

En la figura A6 se muestra la máxima diferencia porcentual de tensión que existe entre dos fases tomando como base en valor promedio de las tensiones medidas, poniendo en evidencia que este desbalance de tensión no excede el 2% al que se recomienda la norma IEEE 1159. Como tampoco el 1% que sugiere la norma NEMA MG1.

- Distorsión armónica de tensión (VTHD)

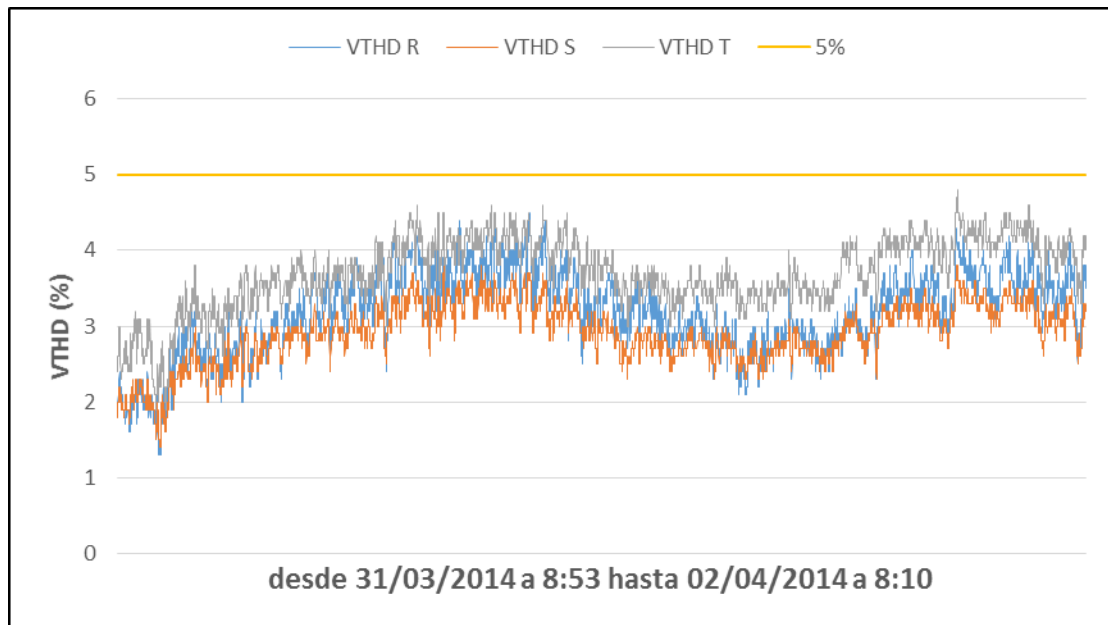


Figura A7. Distorsión armónica de tensión en el tablero línea 1A.

La figura A7 muestra que el porcentaje de distorsión armónica es menor al 5% sugerido por la norma IEEE 519-1992.

TABLERO LÍNEA 1B

- Demanda medida en el tablero línea 1B

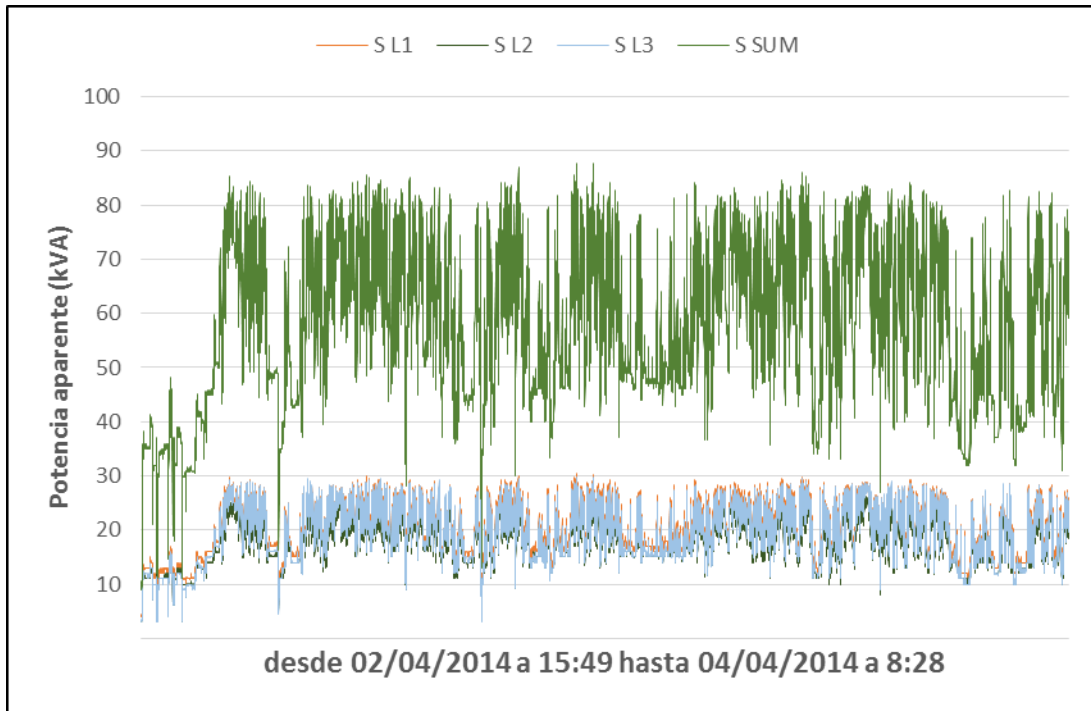


Figura A8. Demanda en el tablero línea 1B.

Podemos observar en la figura A8 que existe un comportamiento de la demanda cuando la línea de envasado está en pleno estado de operación, siendo la demanda máxima medida de 87,6 kVA.

La demanda mínima medida es cuando la limas de envasado está fuera de operación, que se puede evidenciar al empezar el registro representado y luego se realiza cambios de turno.

- Corriente medida en el tablero línea 1B

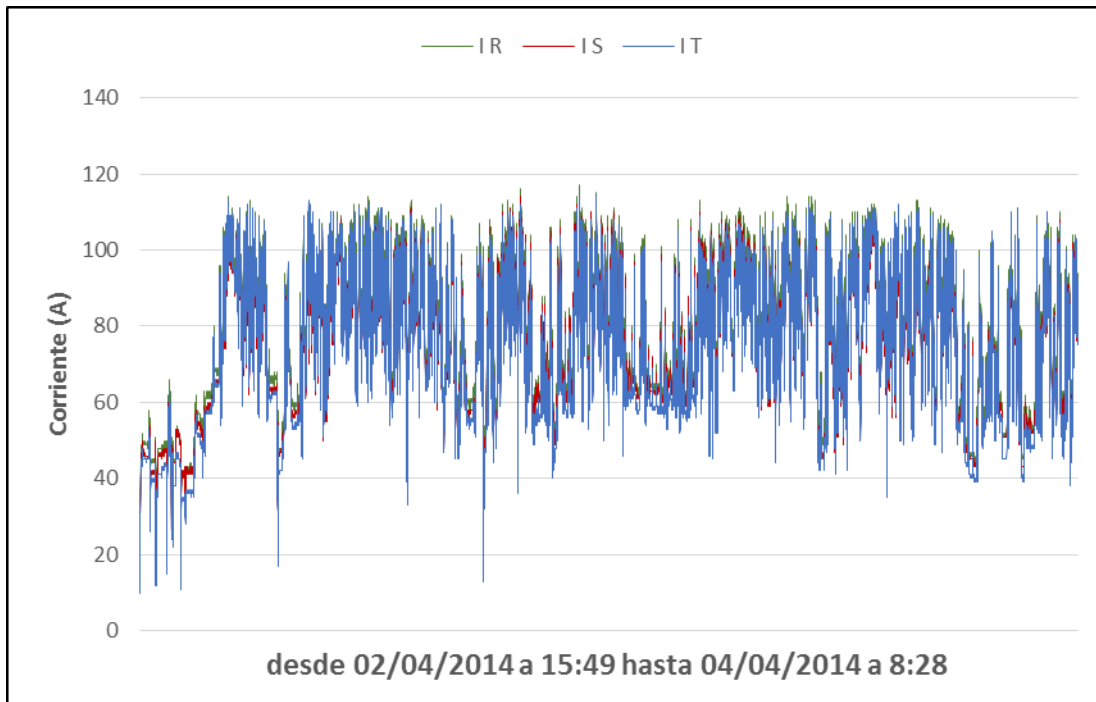


Figura A9. Corriente de las fases R, S, T.

En la figura A9 se muestra el comportamiento de la corriente en el tablero línea 1B donde podemos observar que la corriente llega a un valor máximo de 117 A. Siendo la fase R la más cargada y la fase T la que presenta menor carga al momento de entrar en operación la línea de envasado.

- Desbalance de corriente en el tablero línea 1B

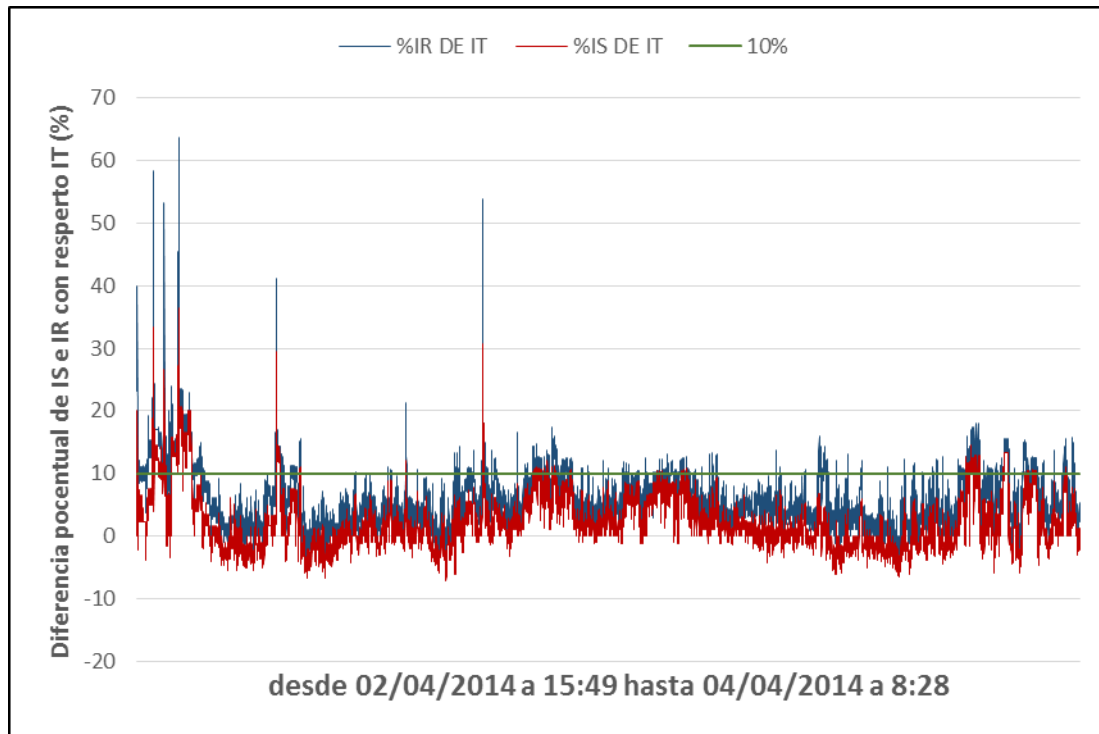


Figura A 10. Diferencia porcentual de IS e IR con respecto a IT.

La figura A10 representa la diferencia porcentual que existe entre las corrientes de las fases R y S con respecto la fase con menor carga (T). Existen partes de la gráfica representativa que superan el 10% estimulado por el reglamento de servicio, pero en estos casos sucede debido a que las diferencias de corriente medidas son del orden de los 6 A o menores, y con respecto a la corriente de la fase T que también es pequeña, este porcentaje supera el 10%. Pero cuando la línea de envasado está operando el desbalance de corriente si se mantiene por debajo del 10%.

- Factor de potencia medida en el tablero línea 1B

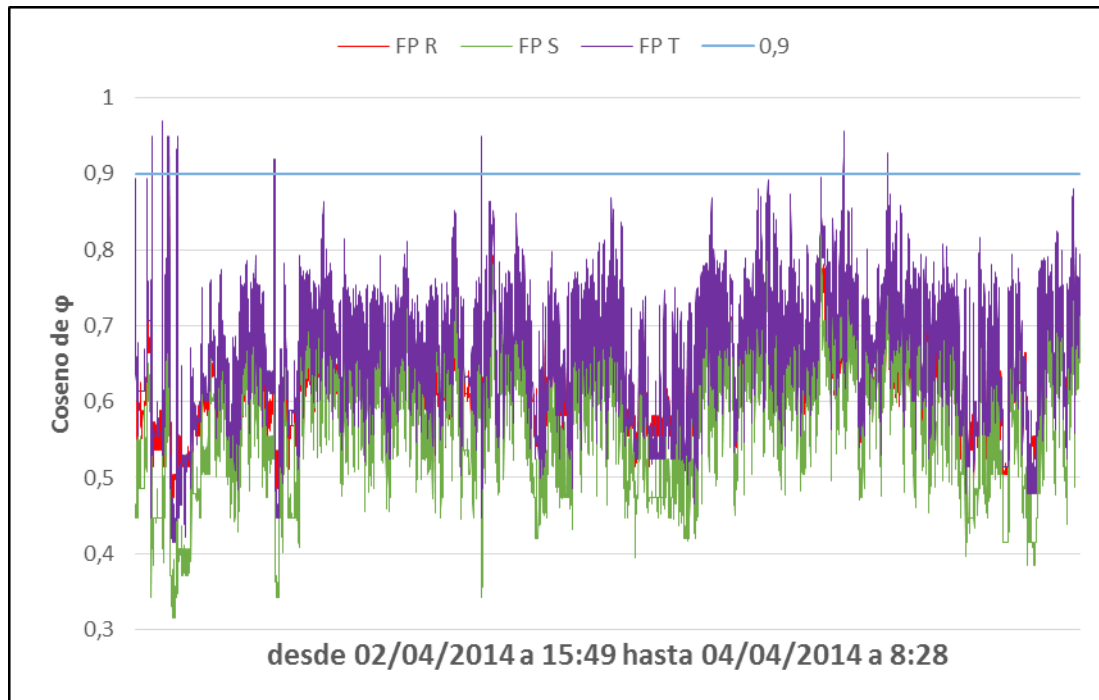


Figura A11. Factor de potencia medido en el tablero línea 1B.

Podemos ver en la figura A11 que el factor de potencia promedio está en un valor de 0,628 y es relativamente bajo con respecto al parámetro establecido de 0,9 estipulado por el reglamento de servicio eléctrico, debido a la naturaleza inductiva de la carga, pero es de notar que en las barras de las subestación donde están conectados este tablero existe un banco de condensadores dinámico que compensa estos factores de potencia y los lleva a un valor por encima de 0,9.

- Tensión medida en el tablero línea 1B

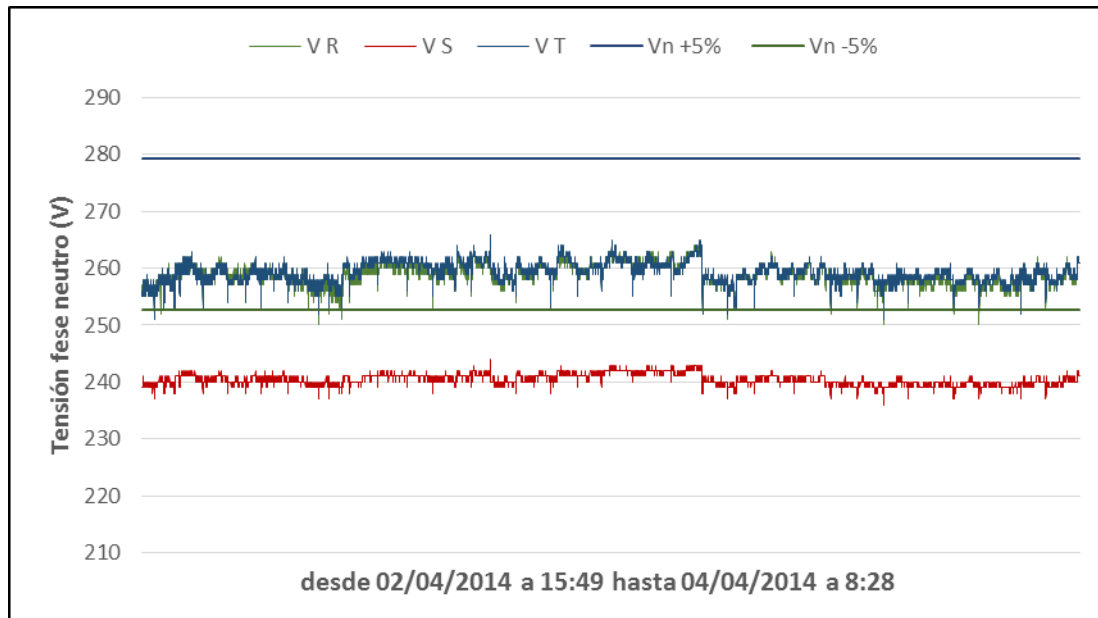


Figura A 12. Tensión de medido en el tablero línea 1B.

La figura A12 se ilustra las tensiones de fase respectivas para el tablero alimentador de la parte B de la línea de envasado 1, y podemos observar que la tensión de la fase S se mantiene muy deprimida con respecto a las otras tensiones de fase y por un valor de aproximadamente 10% por debajo de la corriente nominal.

- Desbalance de tensión en el tablero 1B

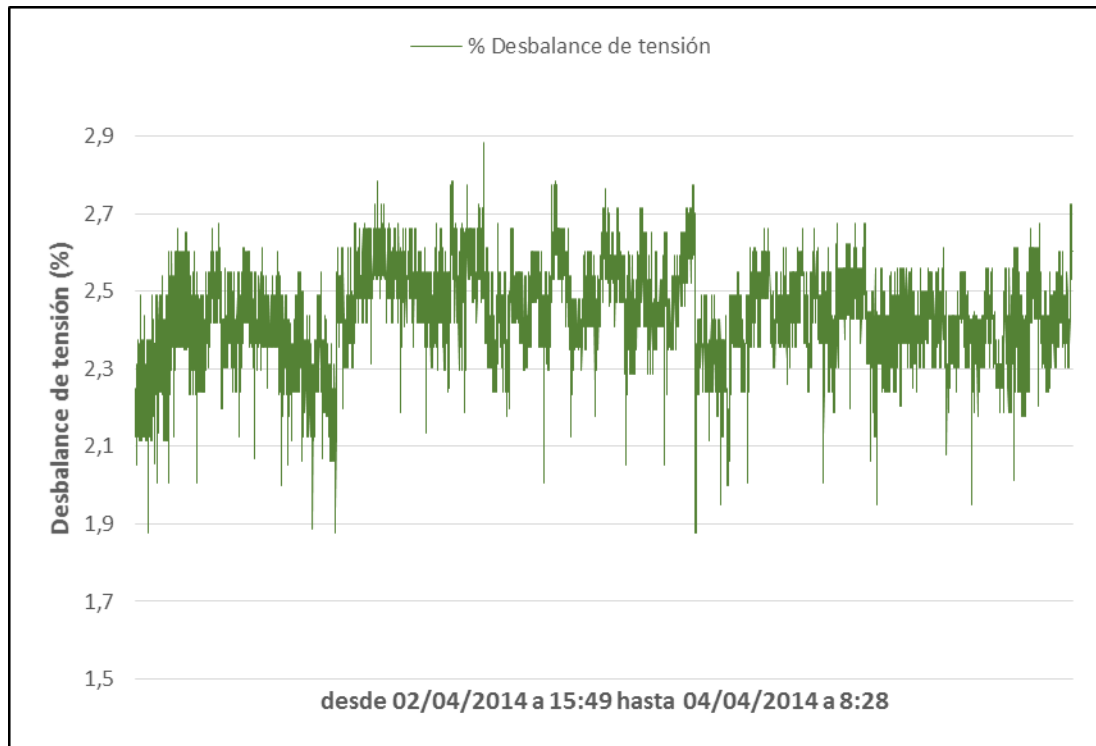


Figura A 13. Desbalance de tensión en el tablero línea 1B.

En la figura A13 se muestra la máxima diferencia porcentual de tensión que existe entre dos fases tomando como base en valor promedio de las tensiones medidas. Este desbalance de tensión excede el 2% al que se recomienda la norma, pero el valor medido puede deberse a un mal contacto de la punta de medición y el punto donde se sujetó.

- Distorsión armónica de tensión (VTHD)

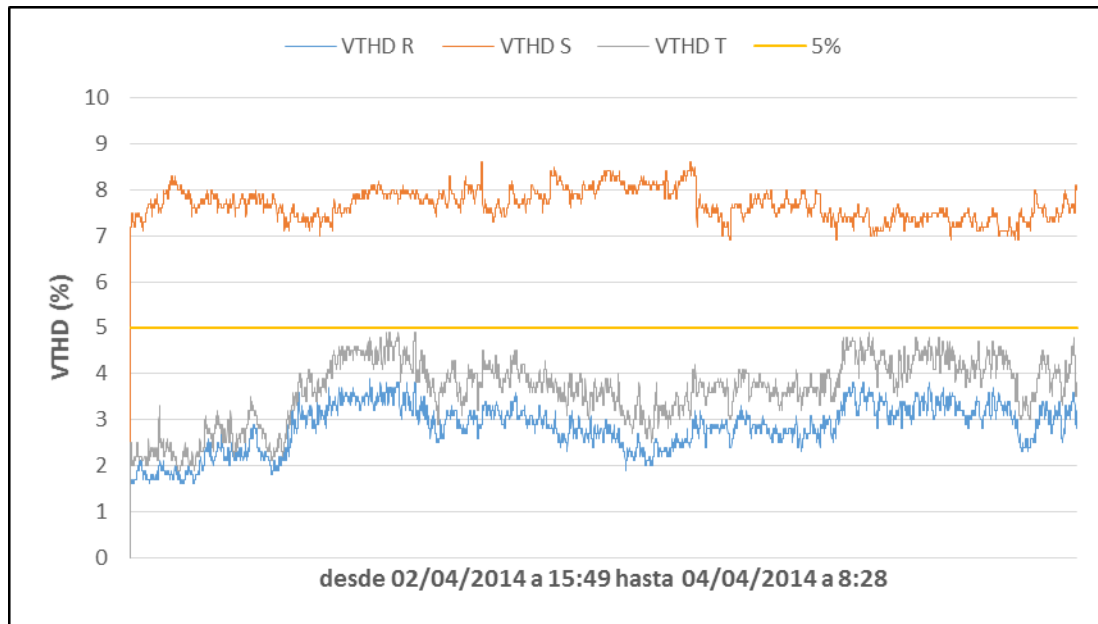


Figura A 14. Distorsión armónica de tensión en el tablero línea 1B.

La figura A14 muestra que el porcentaje de distorsión armónica es mayor al 5% sugerido por la norma IEEE 519-1992.

LINEA DE ENVASADO 2

- Demanda medida en el tablero línea 2

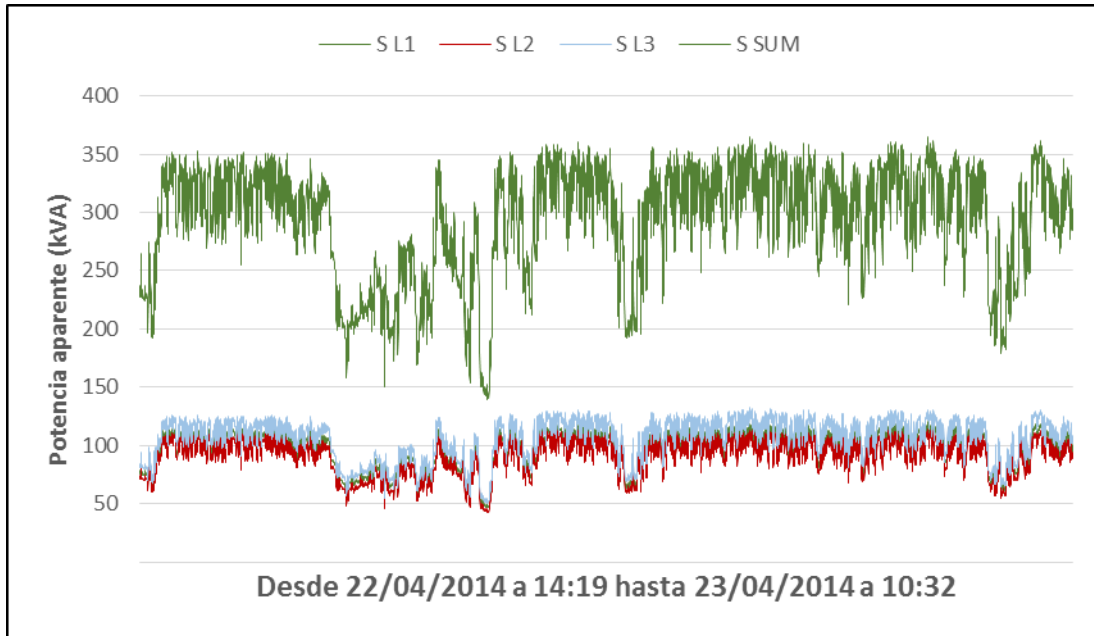


Figura A 15. Demanda en el tablero línea 2.

Podemos observar de la figura A15 que existe un comportamiento de la demanda que cuando la línea de envasado está en un pleno estado de operación, superando los 300 kVA y siendo la demanda máxima medida de 362,6 kVA.

La demanda mínima medida es cuando la limas de envasado está fuera de operación, que se puede evidenciar al empezar el registro representado y luego se realiza cambios de turno.

- Corriente medida en el tablero línea 2

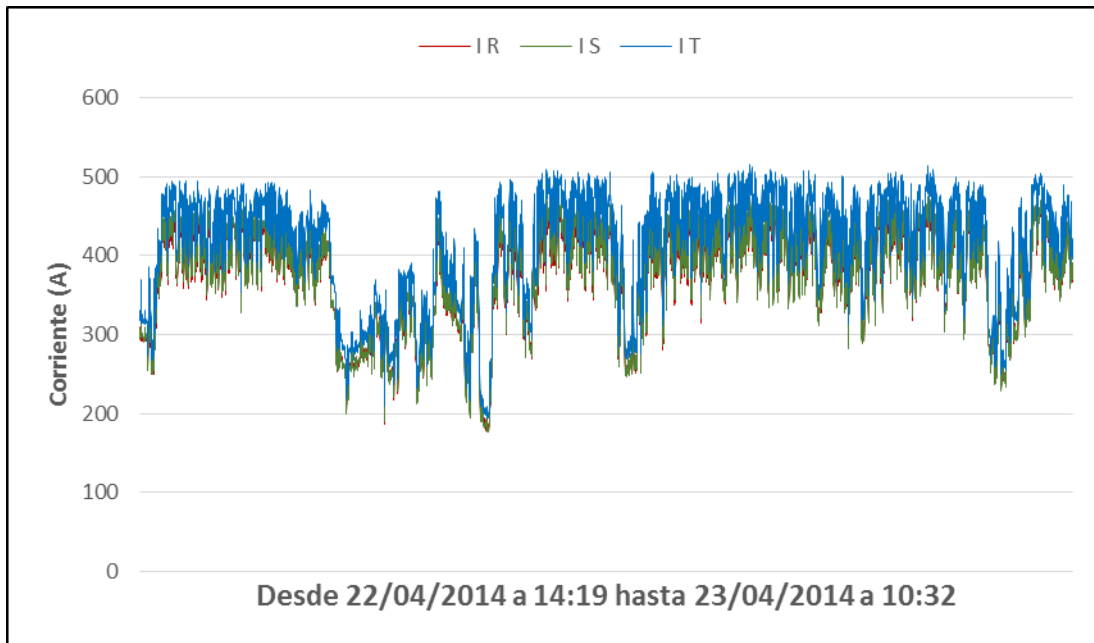


Figura A 16. Corriente de las fases R, S, T.

En la figura A16 se muestra el comportamiento de la corriente en el tablero línea 2 donde podemos observar que la corriente llega a un valor máximo de 507 A. Siendo la fase T la más cargada y la fase R la que presenta menor carga al momento de entrar en operación la línea de envasado.

- Desbalance de corriente en el tablero línea 2

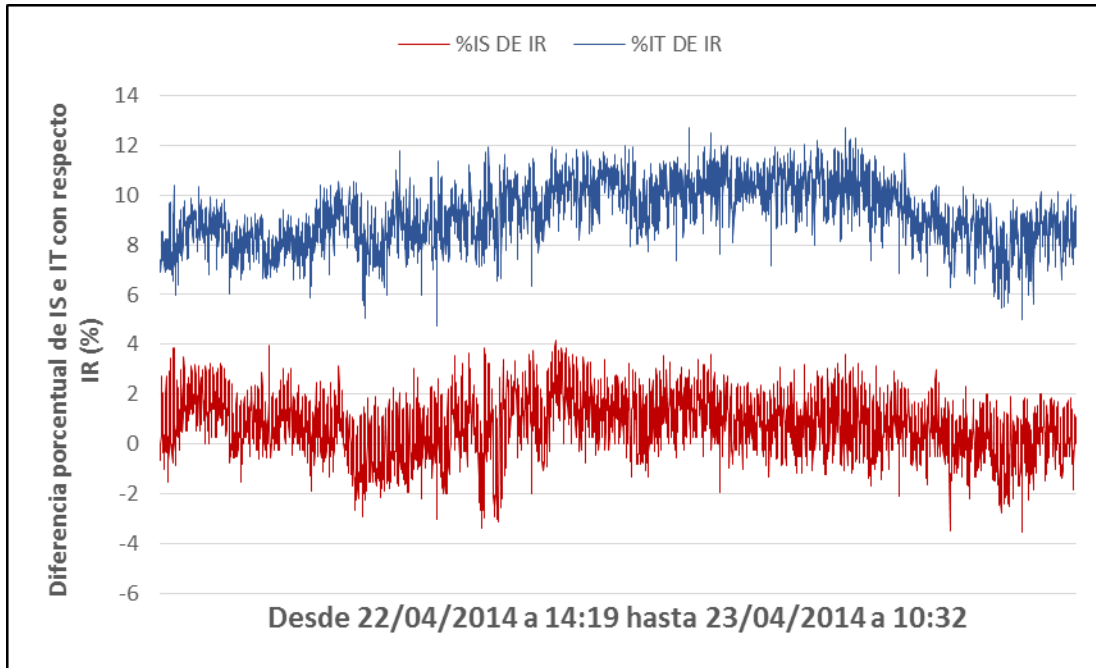


Figura A 17. Diferencia porcentual de IS e IT con respecto a IR.

La figura A17 representa la diferencia porcentual que existe entre las corrientes de las fases S y T con respecto la fase con menor carga (R), y se puede observar que si existe un desbalance entre las corrientes de este tablero, ya que el valor de las fases T supera al valor de referencia (+10%) estipulado por el Reglamento del Servicio Eléctrico.

- Factor de potencia medida en el tablero línea 2

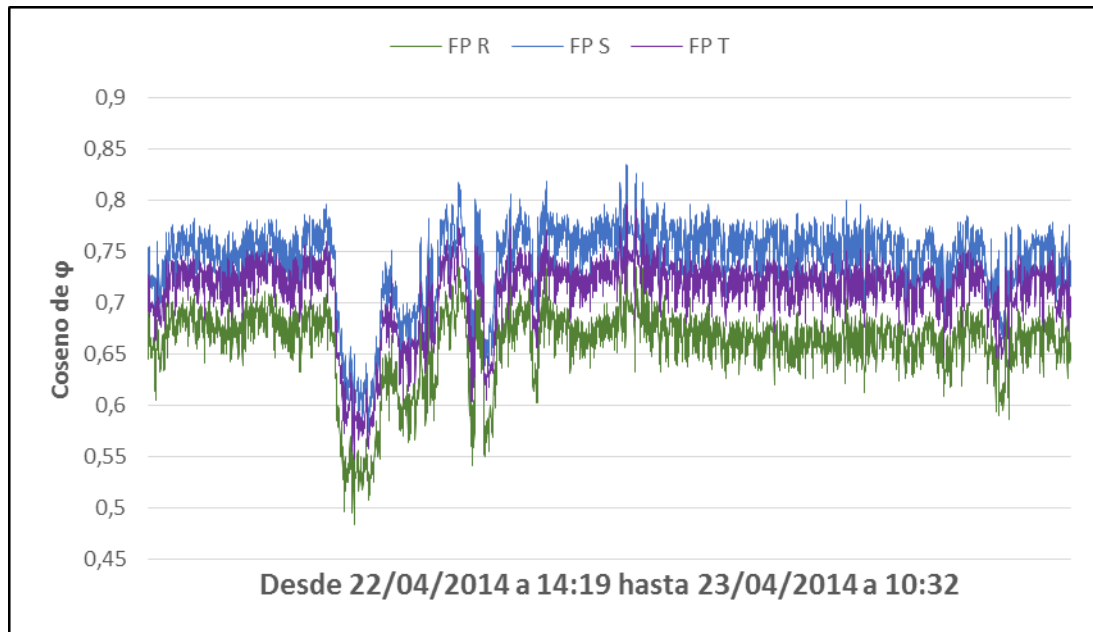


Figura A 18. Factor de potencia medido en el tablero línea 2.

Podemos ver en la figura A18 que el factor de potencia en promedio está en un valor de 0,703 y es relativamente bajo con respecto al parámetro establecido de 0,9 estipulado por el reglamento de servicio eléctrico, pero al igual que sucede con todas los tableros están alimentados por las barras de las subestación donde están conectados este tablero existe un banco de condensadores dinámico que compensa estos factores de potencia y los lleva a un valor por encima de 0,9.

- Tensión medida en el tablero línea 2

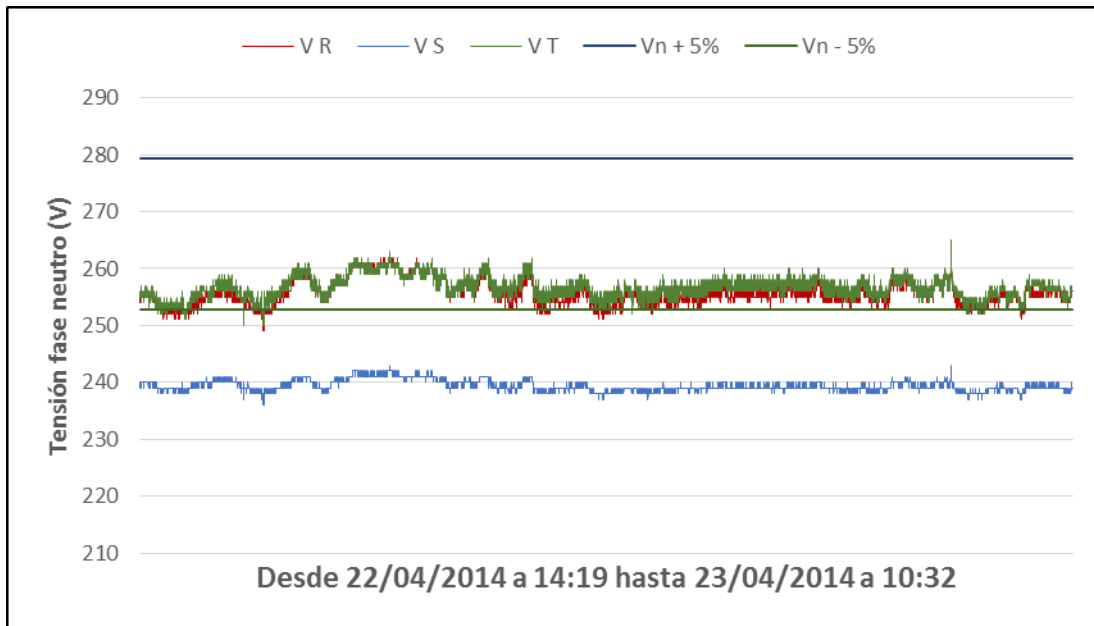


Figura A 19. Tensión de medido en el tablero línea 2.

En la figura A19 se ilustra las tensiones de fase respectivas para el tablero alimentador de la parte B de la línea de envasado 1, y podemos observar que la tensión de la fase S se mantiene muy deprimida con respecto a las otras tensiones de fase y por un valor de aproximadamente 10% por debajo de la corriente nominal.

- Desbalance de tensión en el tablero línea 2

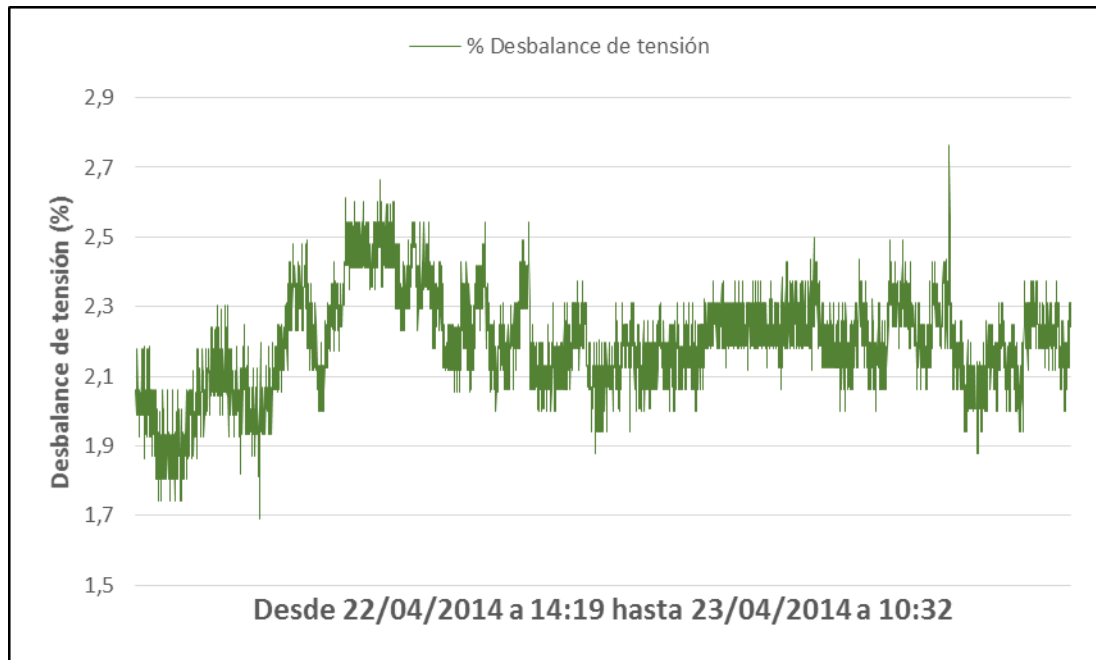


Figura A 20. Desbalance de tensión en el tablero línea 2.

En la figura A20, al igual que en el tablero 1B excede el 2% de desbalance de tensión permitido.

- Distorsión armónica de tensión (VTHD)

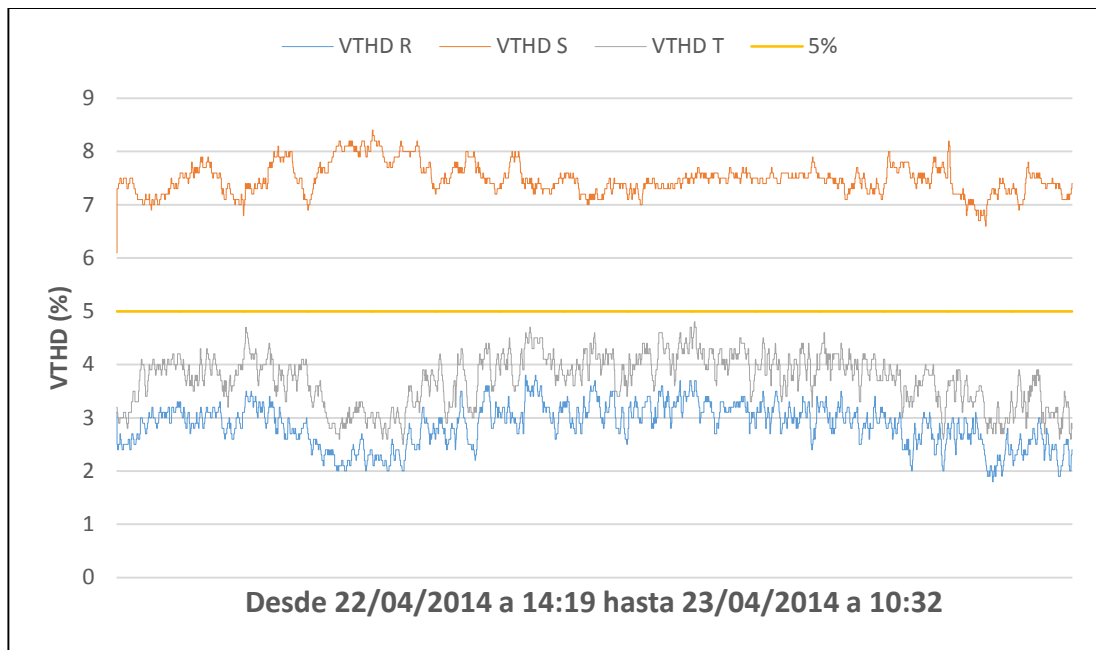


Figura A 21. Distorsión armónica de tensión en el tablero línea 2.

La figura A21 muestra que el porcentaje de distorsión armónica es menor al 5% sugerido por la norma IEEE 519-1992 para las fases R y T.

LINEA DE ENVASADO 3

- Demanda medida en el tablero línea 3

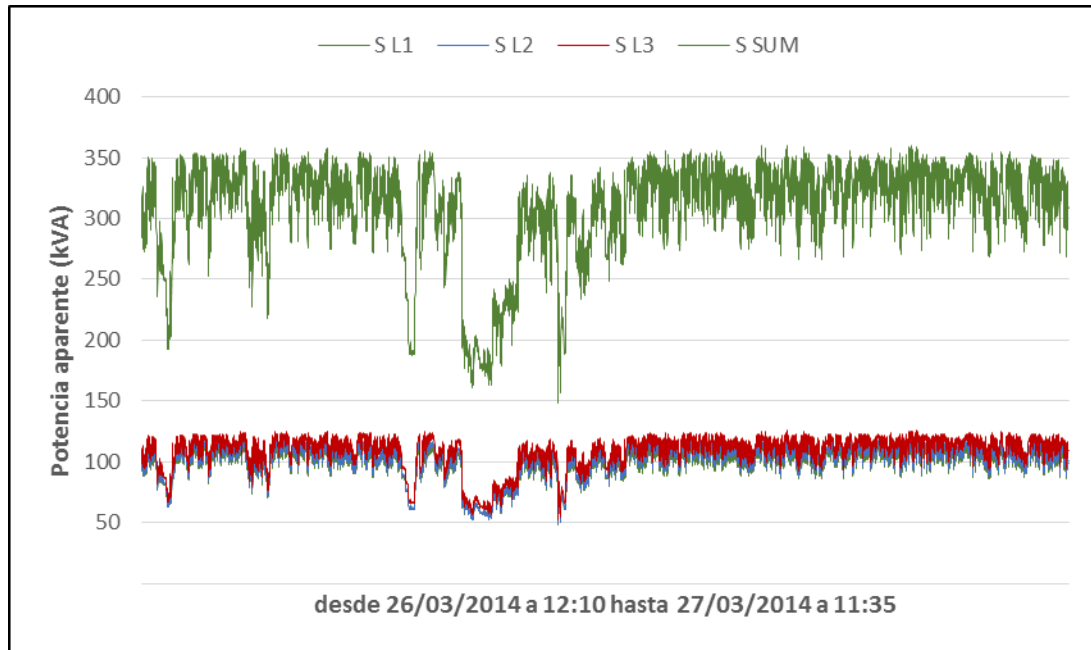


Figura A 22. Demanda en el tablero línea 3.

Podemos observar en la figura A22 que existe un comportamiento de la demanda que cuando la línea de envasado está en un pleno estado de operación, superando los 300 kVA y un siendo la demanda máxima medida de 359,9 kVA.

La demanda mínima medida es cuando la limas de envasado está fuera de operación, que se puede evidenciar al empezar el registro representado y luego se realiza cambios de turno.

- Corriente medida en el tablero línea 3

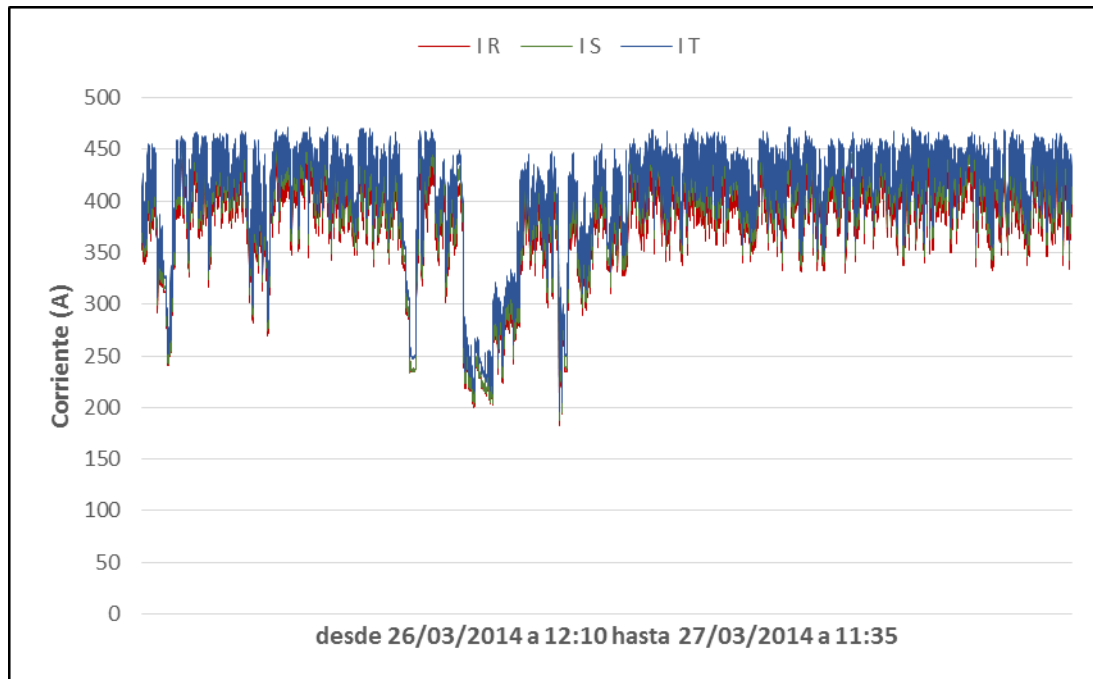


Figura A 23. Corriente de las fases R, S, T.

En la figura A23 se muestra el comportamiento de la corriente en el tablero línea 2 donde podemos observar que la corriente llega a un valor máximo de 472 A. Siendo la fase T la más cargada y la fase R la que presenta menor carga al momento de entrar en operación la línea de envasado.

- Desbalance de corriente en el tablero línea 3

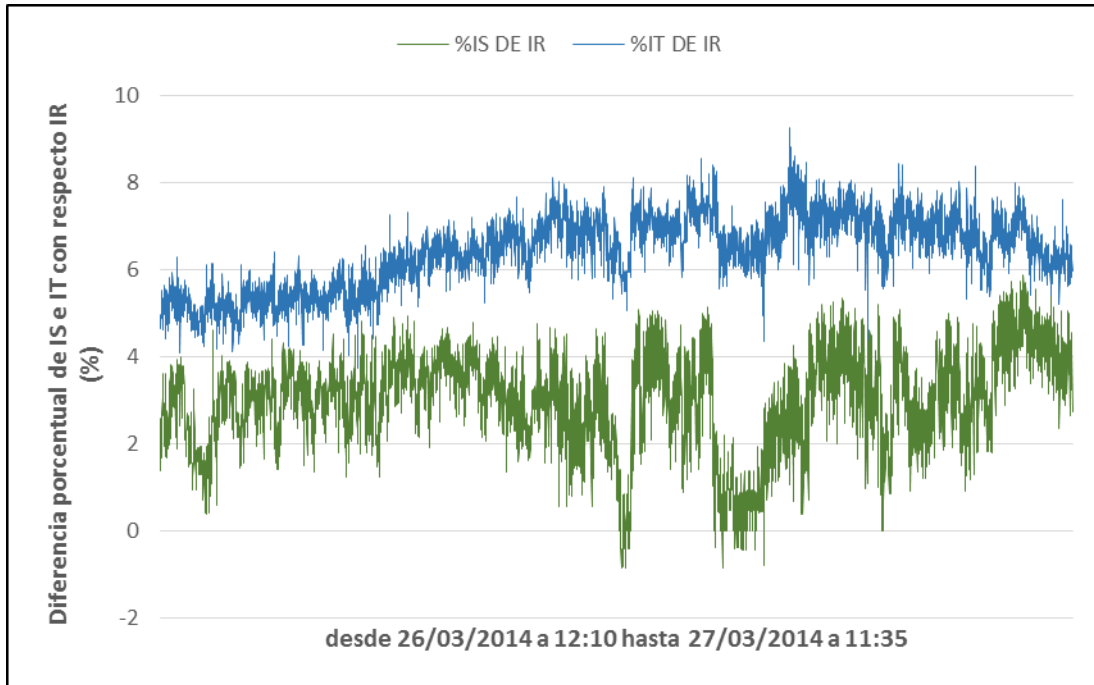


Figura A 24. Diferencia porcentual de IS e IT con respecto a IR.

La figura A24 representa la diferencia porcentual que existe entre las corrientes de las fases S y T con respecto la fase con menor carga (R), y se puede observar que no existe un gran desbalance entre las corrientes de este tablero, ya que el valor de las fases S y T no supera al valor de referencia (+10%) estipulado por el Reglamento del Servicio Eléctrico.

- Factor de potencia medida en el tablero línea 3

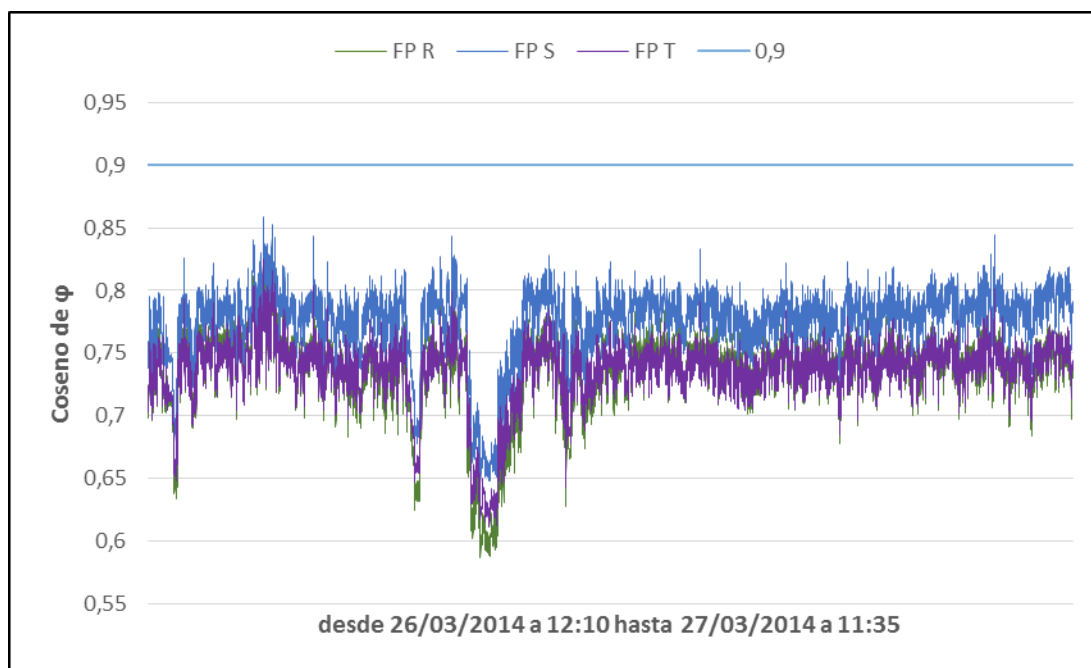


Figura A 25. Factor de potencia medido en el tablero línea 3.

Podemos ver en la figura A18 que el factor de potencia en promedio está en un valor de 0,749 y es relativamente bajo con respecto al parámetro establecido de 0,9 estipulado por el reglamento de servicio eléctrico, pero al igual que sucede con todas los tableros están alimentados por las barras de las subestación donde están conectados, en este tablero existe un banco de condensadores dinámico que compensa estos factores de potencia y los lleva a un valor por encima de 0,9.

- Tensión medida en el tablero línea 3

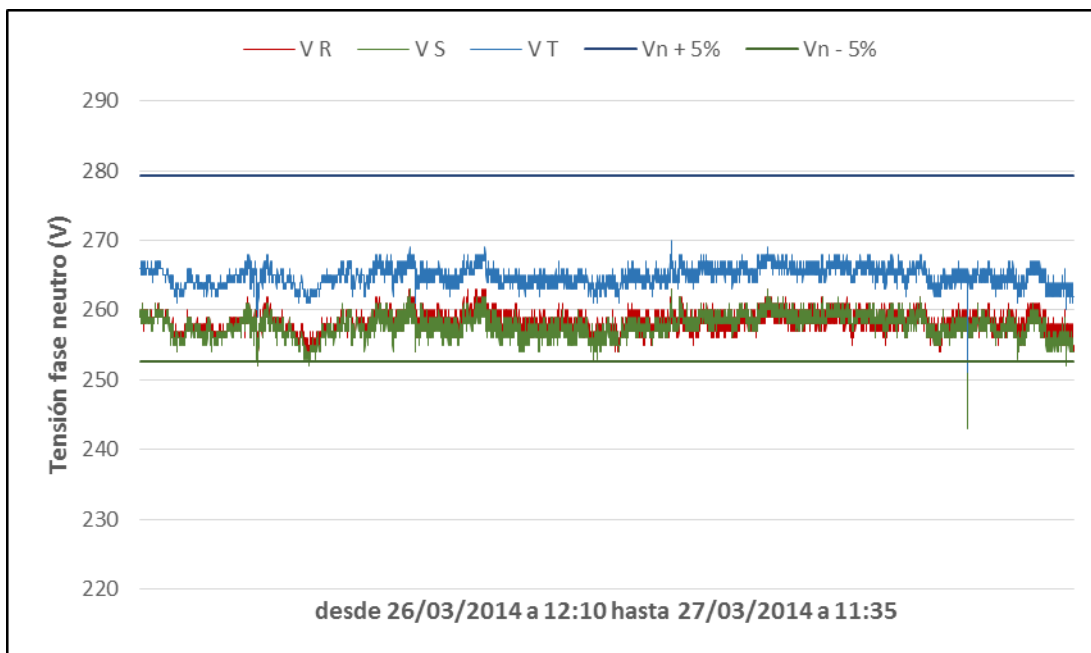


Figura A 26. Tensión de medido en el tablero línea 3.

En la figura A26 se ilustra las tensiones de fase respectivas para el tablero alimentador de la línea de envasado 3, y podemos observar que la tensión se mantiene en los límites establecidos.

- Desbalance de tensión en el tablero 3

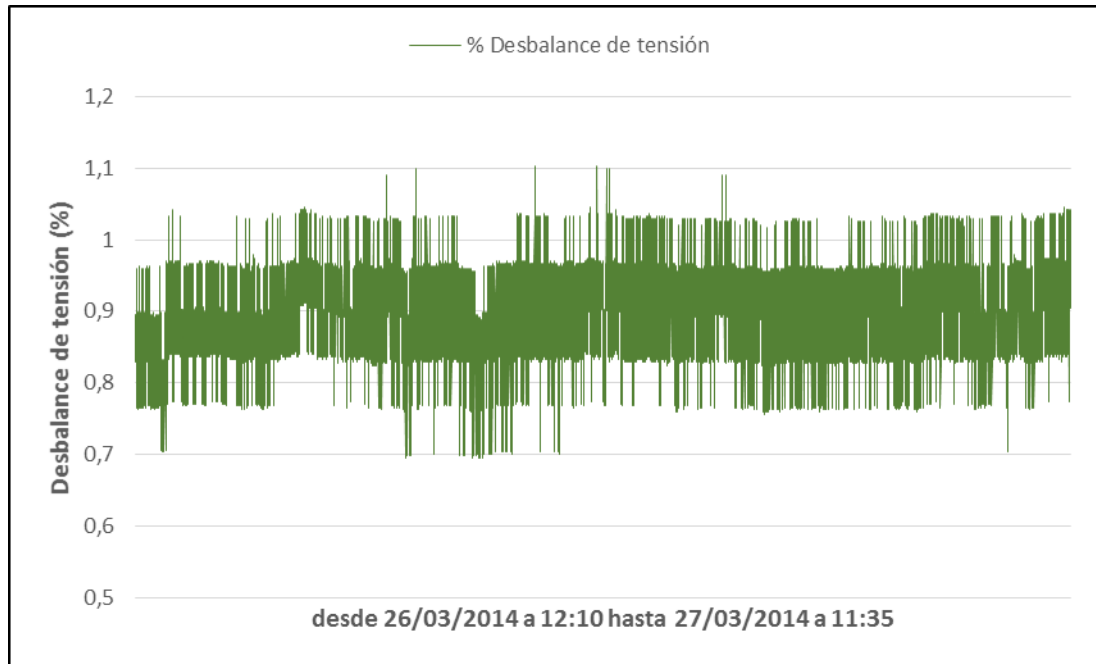


Figura A 27. Desbalance de tensión en el tablero línea 3.

En la figura A27 se muestra la máxima diferencia porcentual de tensión que existe entre dos fases tomando como base en valor promedio de las tensiones medidas, poniendo en evidencia que este desbalance de tensión no excede el 2% al que se recomienda la norma IEEE 1159.

- Distorsión armónica de tensión (VTHD)

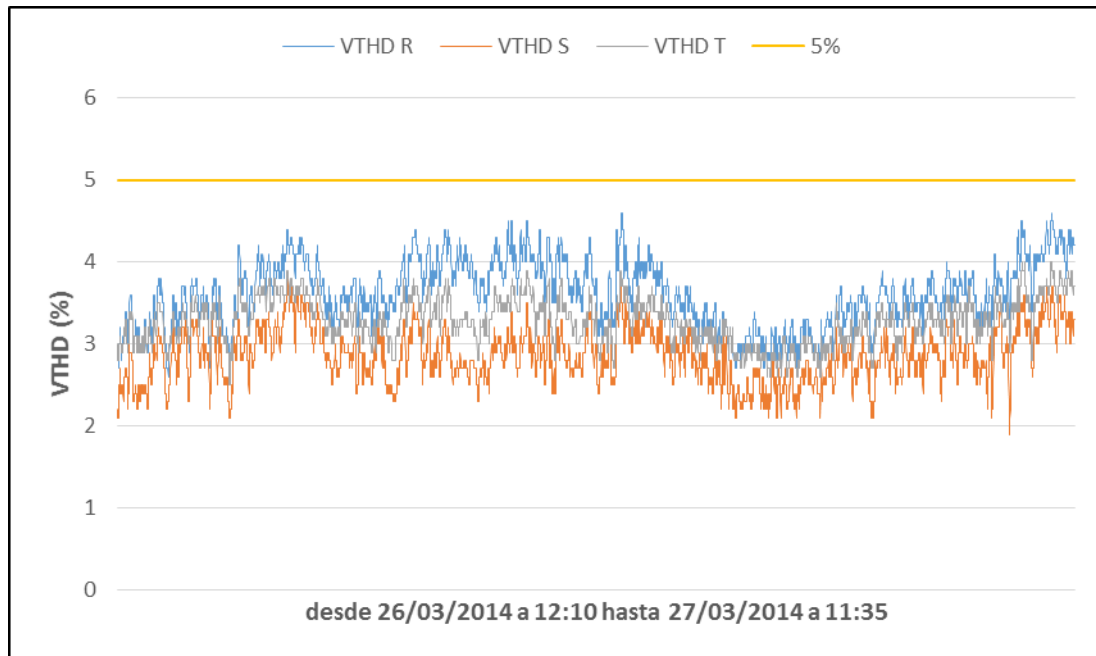


Figura A 28 Distorsión armónica de tensión en el tablero línea 1A.

La figura A28 muestra que el porcentaje de distorsión armónica es menor al 5% sugerido por la norma IEEE 519-1992.

LINEA DE ENVASADO 4

- Demanda medida en el tablero línea 4

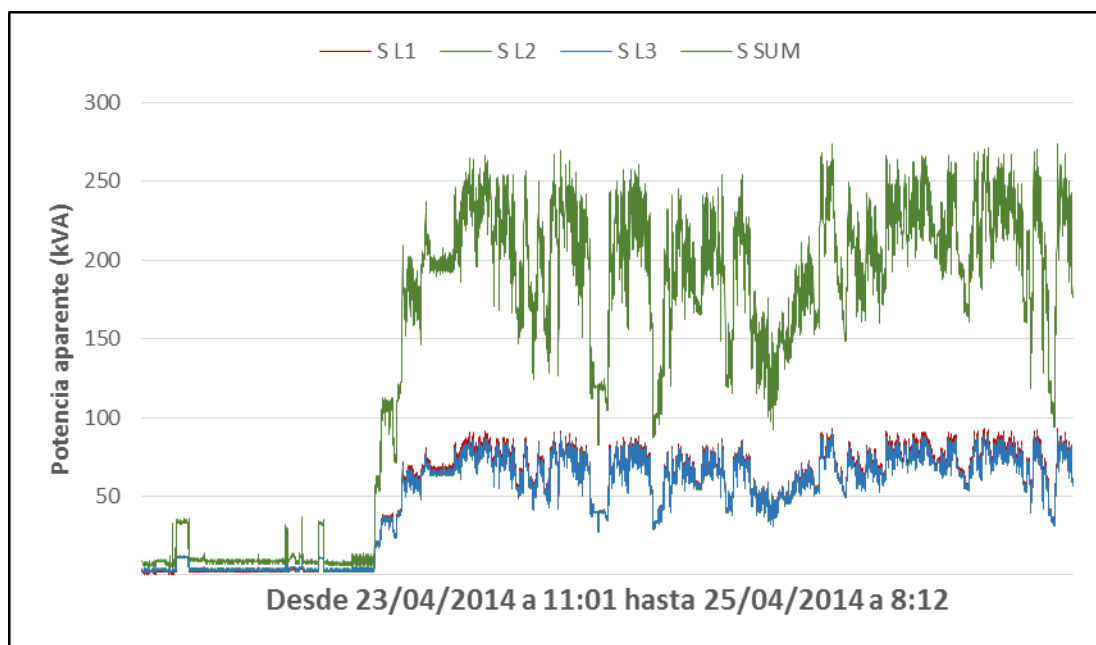


Figura A 29. Demanda en el tablero línea 4.

Podemos observar en la figura A29 que existe un comportamiento de la demanda que cuando la línea de envasado está en un pleno estado de operación, siendo la demanda máxima medida de 273.7 kVA.

La demanda mínima medida es cuando la limas de envasado está fuera de operación, que se puede evidenciar al empezar el registro representado y luego se realiza cambios de turno.

- Corriente medida en el tablero línea 4

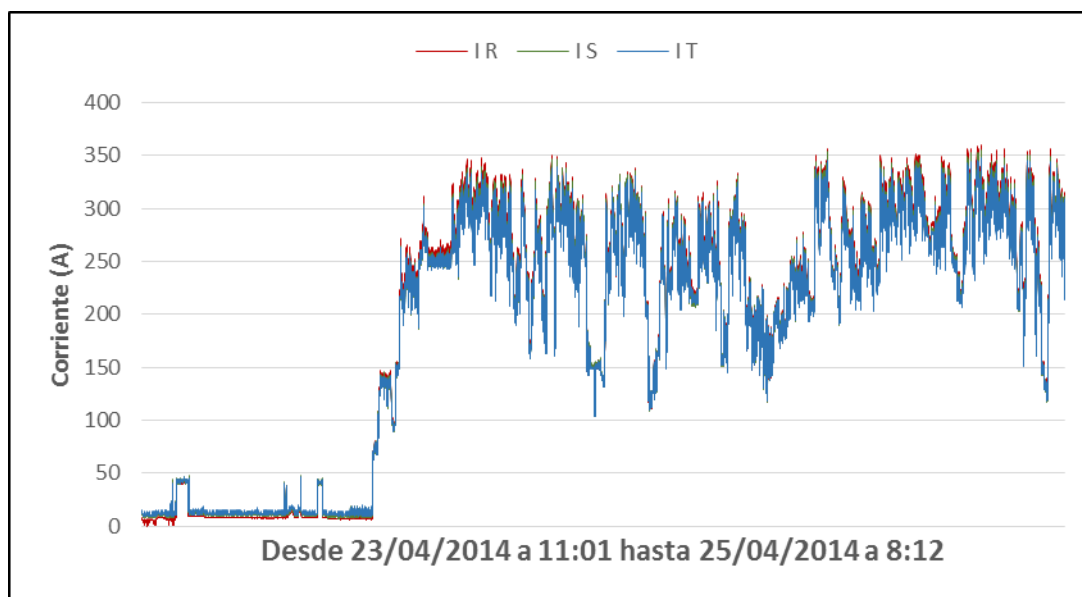


Figura A 30. Corriente de las fases R, S, T.

En la figura A30 se muestra el comportamiento de la corriente en el tablero línea 4 donde podemos observar que la corriente llega a un valor máximo de 360 A. Siendo la fase R la más cargada y la fase T la que presenta menor carga al momento de entrar en operación la línea de envasado.

- Desbalance de corriente en el tablero línea 4

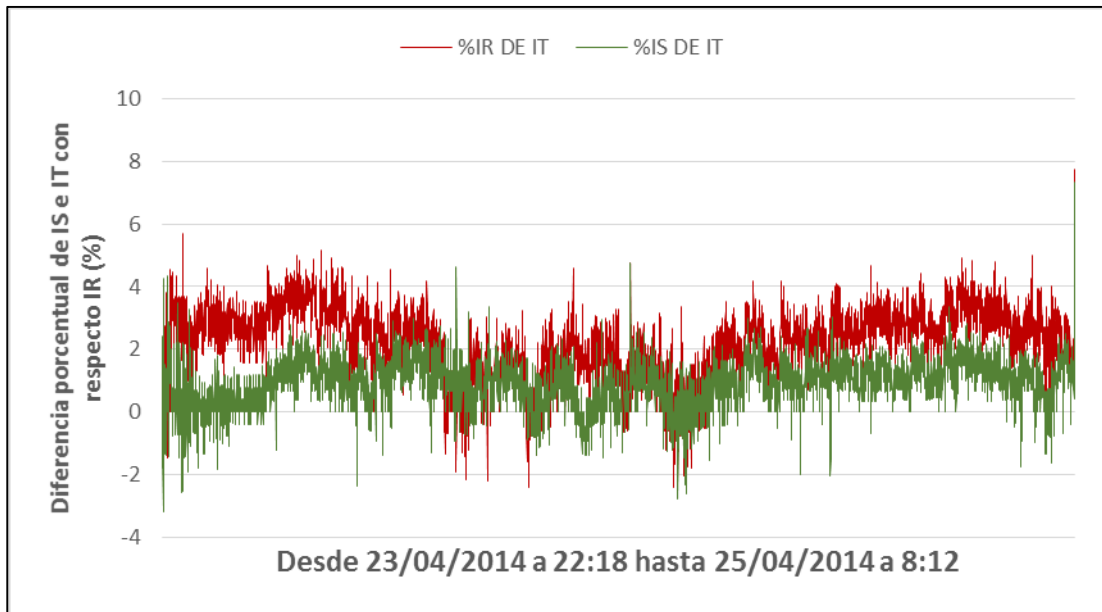


Figura A 31. Diferencia porcentual de IS e IT con respecto a IR.

La figura A31 representa la diferencia porcentual que existe entre las corrientes de las fases S y T con respecto la fase con menor carga (R), y se puede observar que no existe un gran desbalance entre las corrientes de este tablero, ya que el valor de las fases S y T no supera al valor de referencia (+10%) estipulado por el Reglamento del Servicio Eléctrico.

- Factor de potencia medida en el tablero línea 4

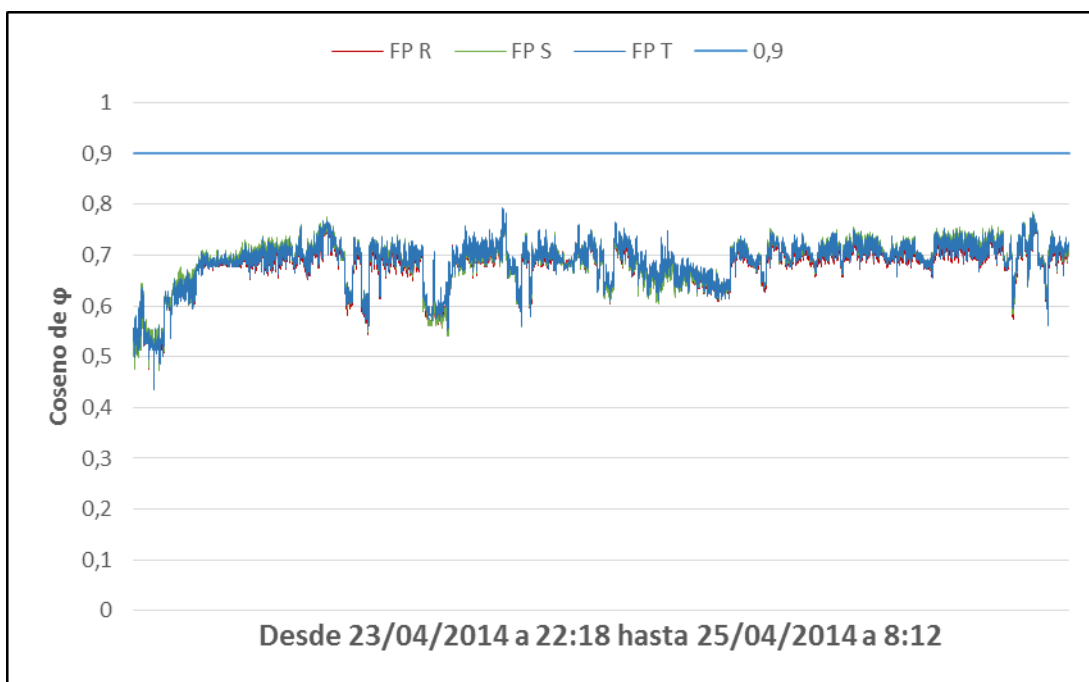


Figura A 32. Factor de potencia medido en el tablero línea 4.

Podemos ver en la figura A32 que el factor de potencia en promedio está en un valor de 0,689 y es relativamente bajo con respecto al parámetro establecido de 0,9 estipulado por el reglamento de servicio eléctrico.

- Tensión medida en el tablero línea 4

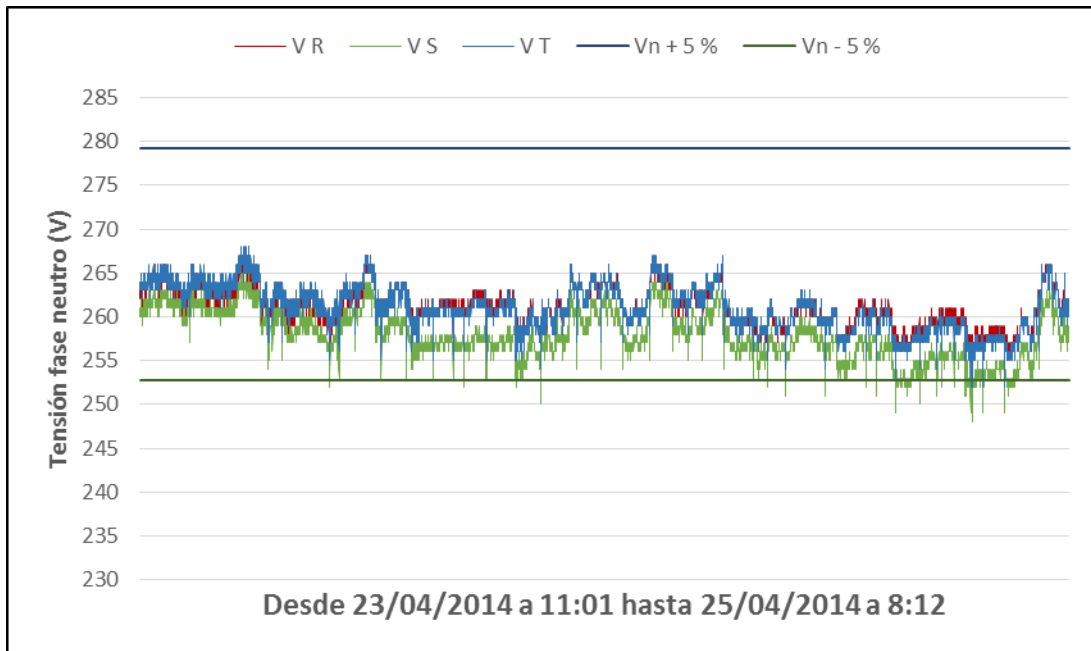


Figura A 33. Tensión de medido en el tablero línea 4.

En la figura A33 se ilustra las tensiones de fase respectivas para el tablero alimentador de la parte A de la línea de envasado 1, y podemos observar que la tensión se mantiene por debajo del valor nominal de tensino indicado por la empresa (265.5 V F-N), incluso en algunos momentos por debajo del 5% de la tensión nominal.

- Desbalance de tensión en el tablero 4

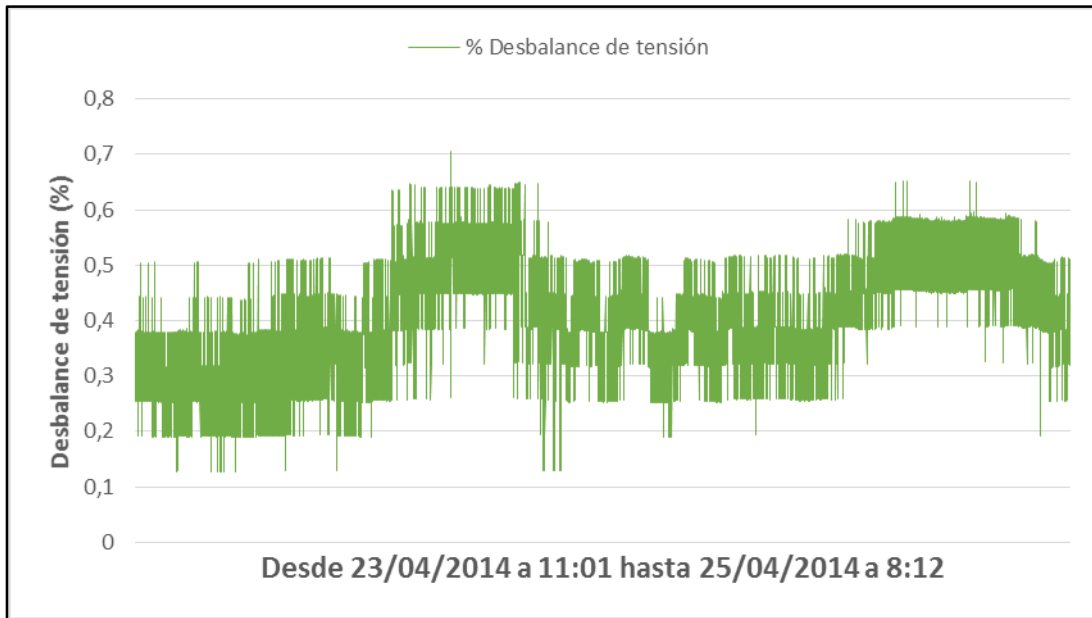


Figura A 34. Desbalance de tensión en el tablero línea 4.

En la figura A34 se muestra la máxima diferencia porcentual de tensión que existe entre dos fases tomando como base en valor promedio de las tensiones medidas, poniendo en evidencia que este desbalance de tensión no excede el 2% al que se recomienda la norma IEEE 1159.

- Distorsión armónica de tensión (VTHD)

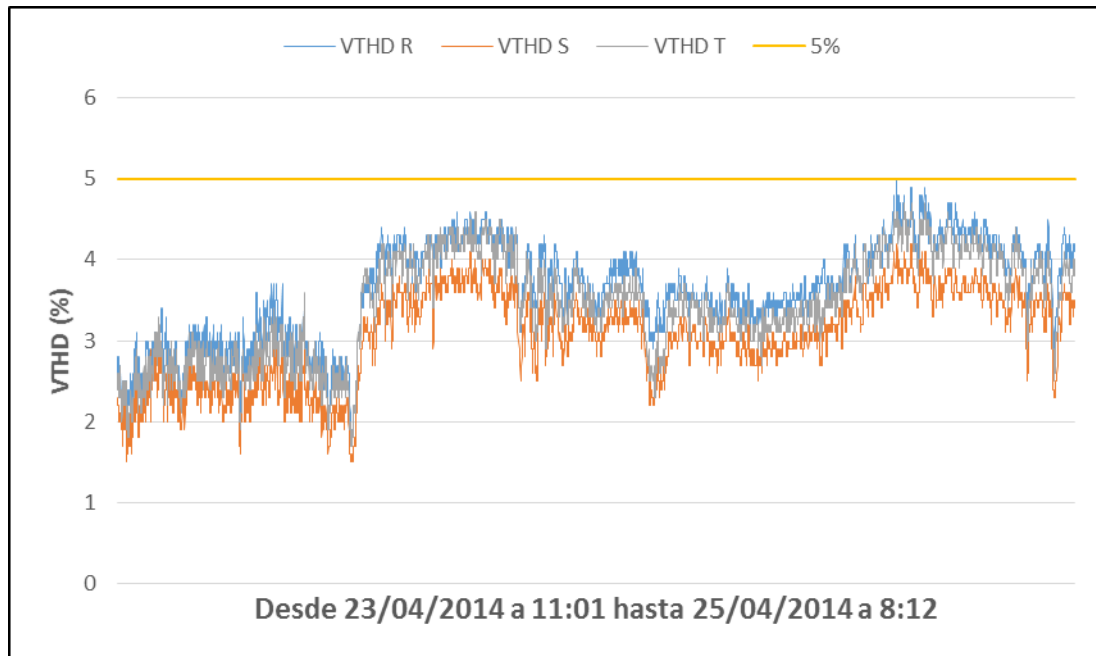


Figura A 35. Distorsión armónica de tensión en el tablero línea 4.

La figura A35 muestra que el porcentaje de distorsión armónica es menor al 5% sugerido por la norma IEEE 519-1992.

LINEA DE ENVASADO 5

- Demanda medida en el tablero línea 5

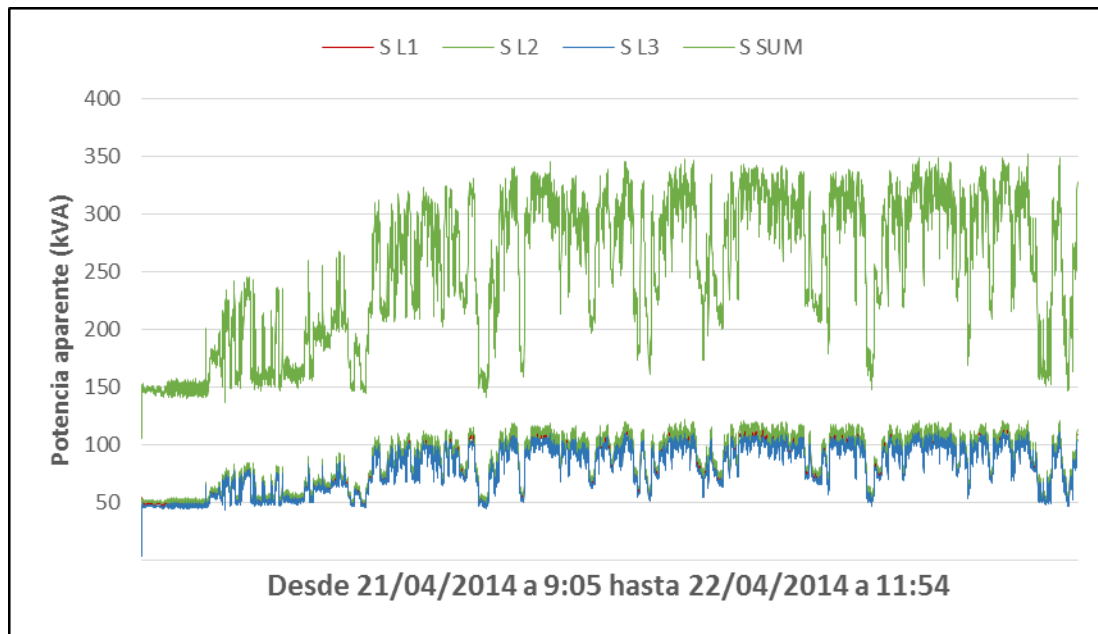


Figura A 36. Demanda en el tablero línea 5.

Podemos observar de la figura A36 que existe un comportamiento de la demanda que cuando la línea de envasado está en un pleno estado de operación, siendo la demanda máxima medida de 352,8 kVA.

La demanda mínima medida es cuando la limas de envasado está de parada o fuera de operación, que se puede evidenciar al empezar el registro representado y luego se realiza cambios de turno.

- Corriente medida en el tablero línea 5

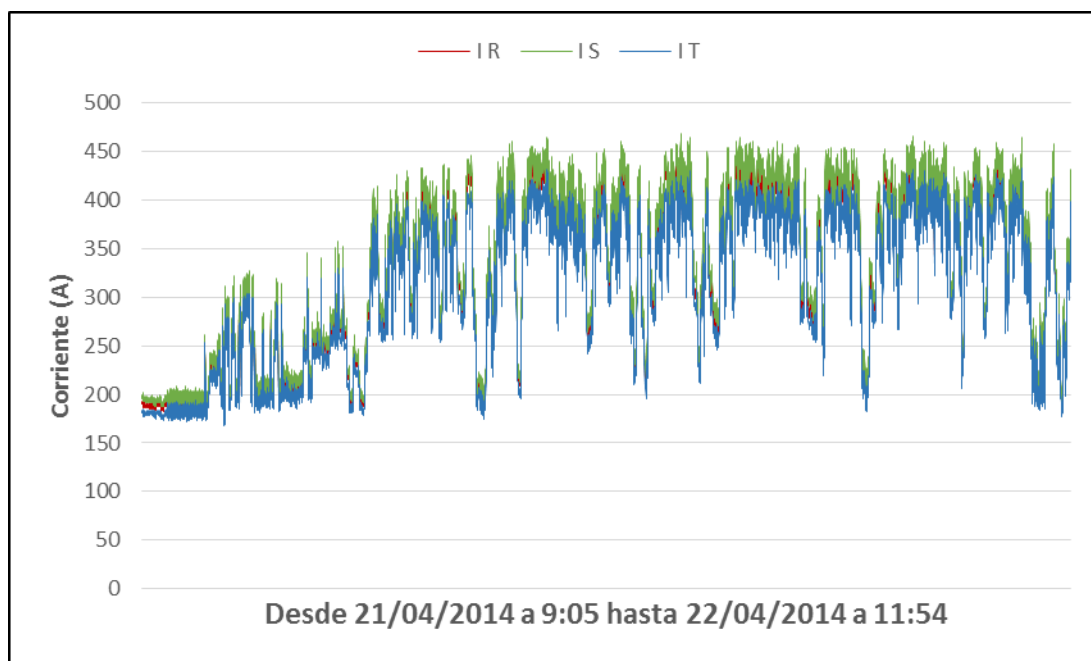


Figura A 37. Corriente de las fases R, S, T.

En la figura A37 se muestra el comportamiento de la corriente en el tablero línea 4 donde podemos observar que la corriente llega a un valor máximo de 468 A. Siendo la fase S la más cargada y la fase T la que presenta menor carga al momento de entrar en operación la línea de envasado.

- Desbalance de corriente en el tablero línea 5

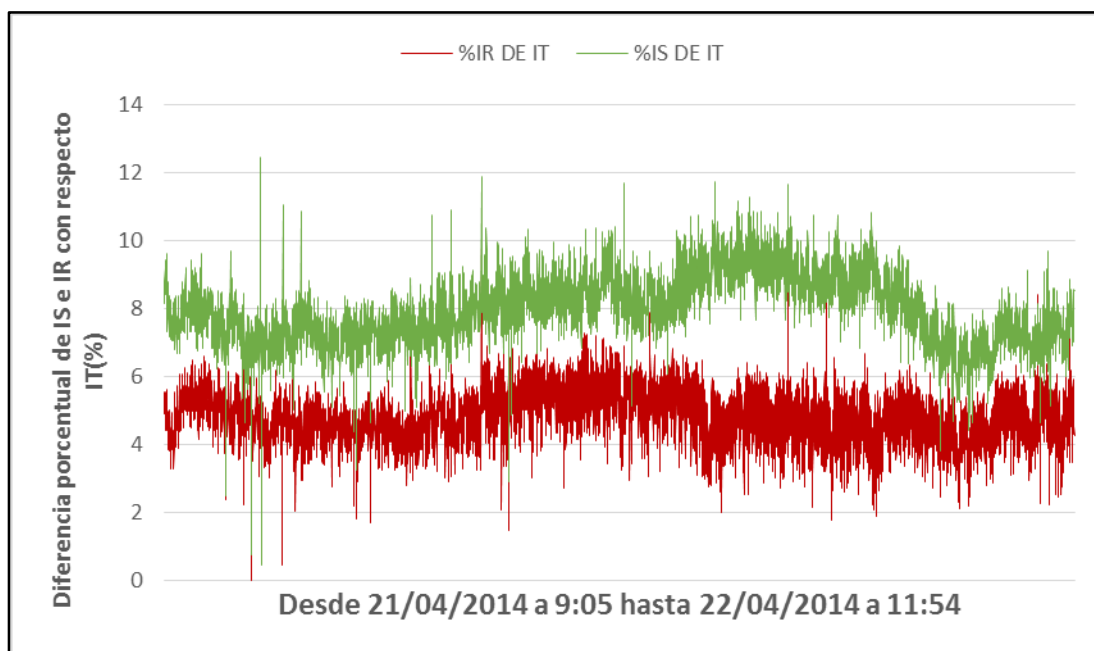


Figura A 38. Diferencia porcentual de IS e IR con respecto a IT.

La figura A38 representa la diferencia porcentual que existe entre las corrientes de las fases S y R con respecto la fase con menor carga (T). Existe un desbalance mayor al 10% entre las magnitudes de corrientes de este tablero, ya que el valor de las fases S supera al valor de referencia estipulado por el Reglamento del Servicio Eléctrico.

- Factor de potencia medida en el tablero línea 5

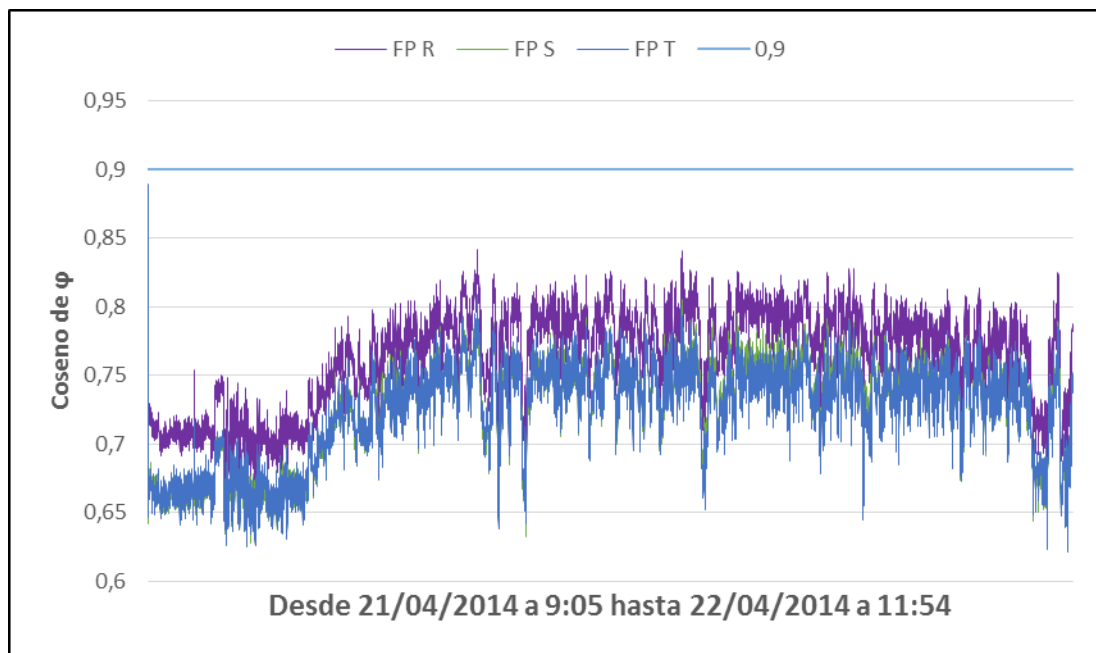


Figura A 39. Factor de potencia medido en el tablero línea 4.

Podemos ver en la figura A39 que el factor de potencia en promedio está en un valor de 0,738 y es relativamente bajo con respecto al parámetro establecido de 0,9 estipulado por el reglamento de servicio eléctrico.

- Tensión medida en el tablero línea 5

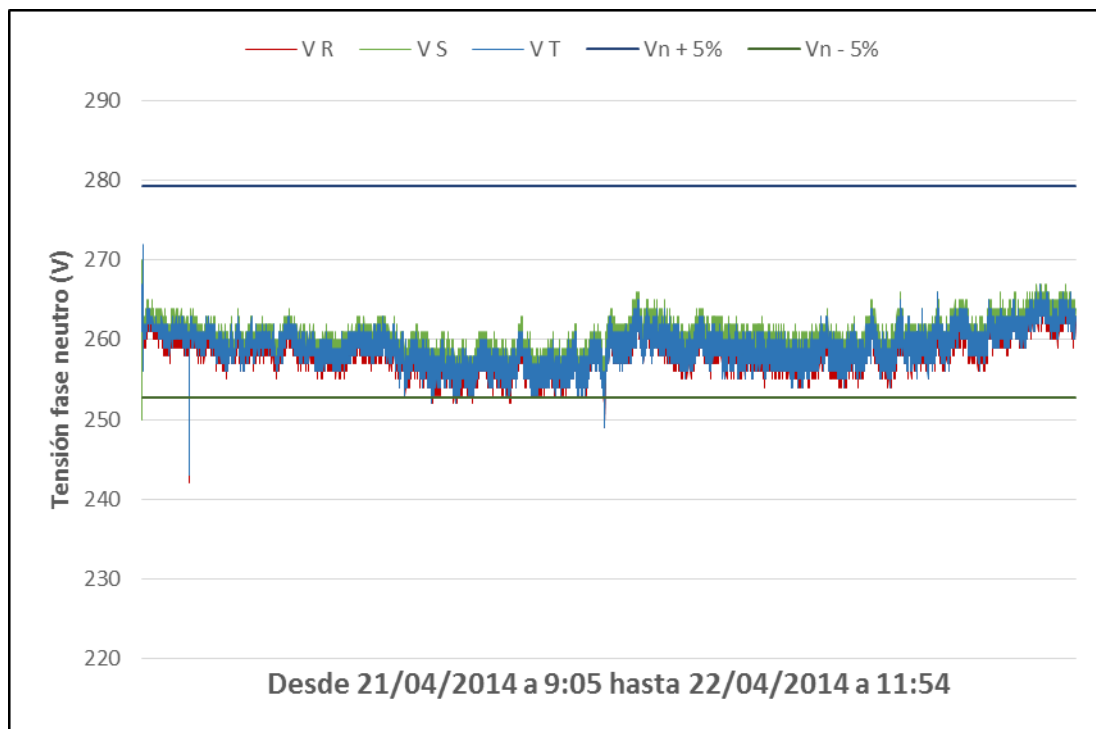


Figura A 40. Tensión de medido en el tablero línea 5.

En la figura A40 se ilustra las tensiones de fase respectivas para el tablero alimentador la línea de envasado 5, y podemos observar que la tensión en algunos puntos se ve menor que el 5% de la tensión nominal.

- Desbalance de tensión en el tablero 5

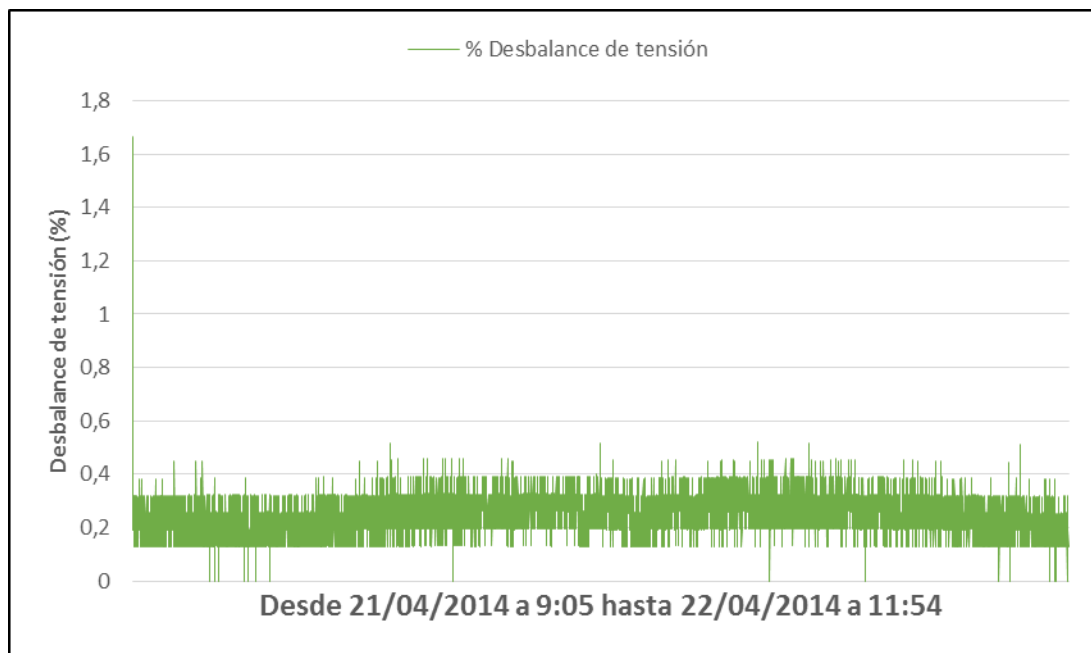


Figura A 41. Desbalance de tensión en el tablero línea 5.

En la figura A41 se muestra la máxima diferencia porcentual de tensión que existe entre dos fases tomando como base en valor promedio de las tensiones medidas, poniendo en evidencia que este desbalance de tensión no excede el 2% al que se recomienda la norma IEEE 1159.

- Distorsión armónica de tensión (VTHD)

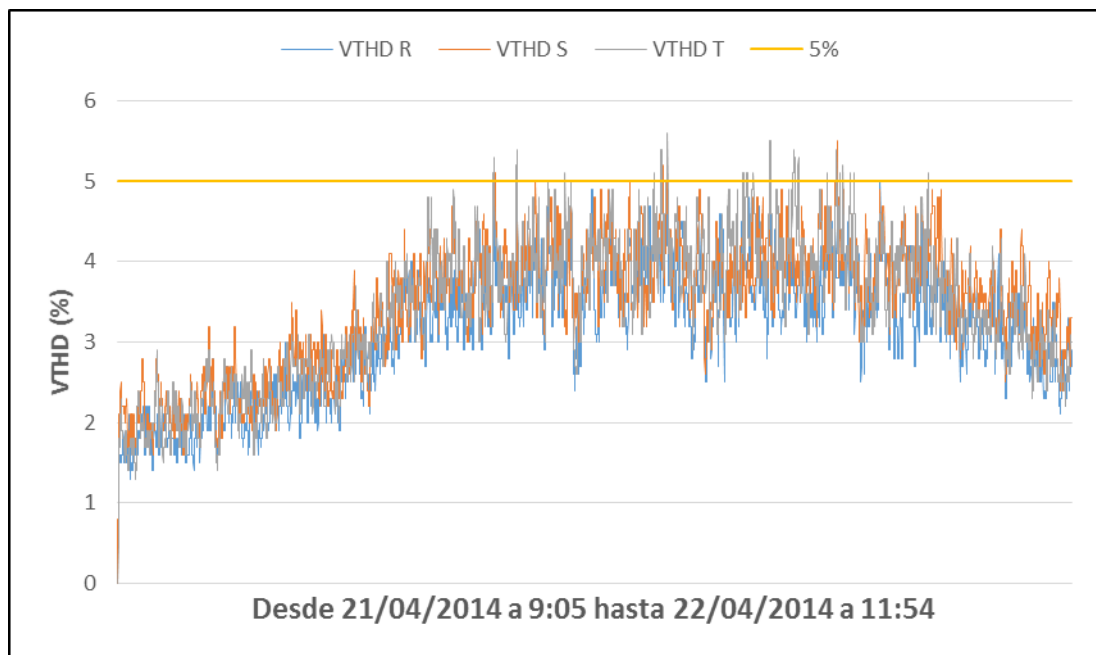


Figura A 42. Distorsión armónica de tensión en el tablero línea 5.

La figura A42 muestra que el porcentaje de distorsión armónica máximo es mayor al 5% sugerido por la norma IEEE 519-1992.

SUBESTACIÓN PET

- Demanda medida en la subestación PET

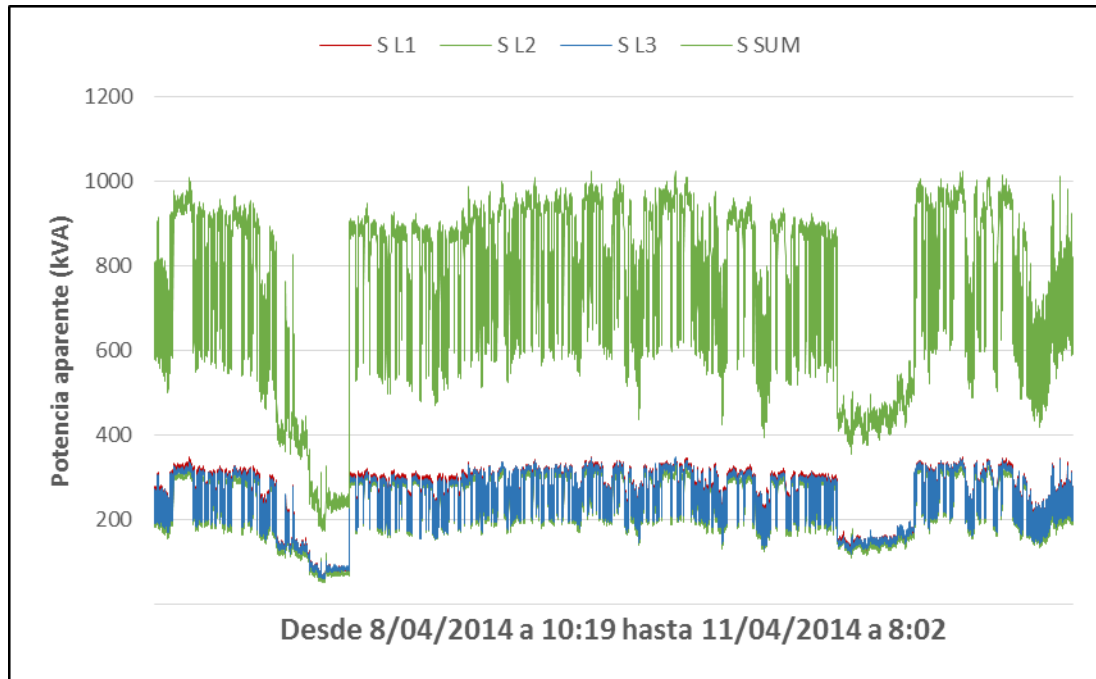


Figura A 43. Demanda en la subestación PET.

Podemos observar de la figura A43 que existe un comportamiento de la demanda cuando la línea de envasado está en un pleno estado de operación por encima de los 600 kVA, siendo la demanda máxima medida de 1026 kVA.

- Corriente medida en la subestación PET

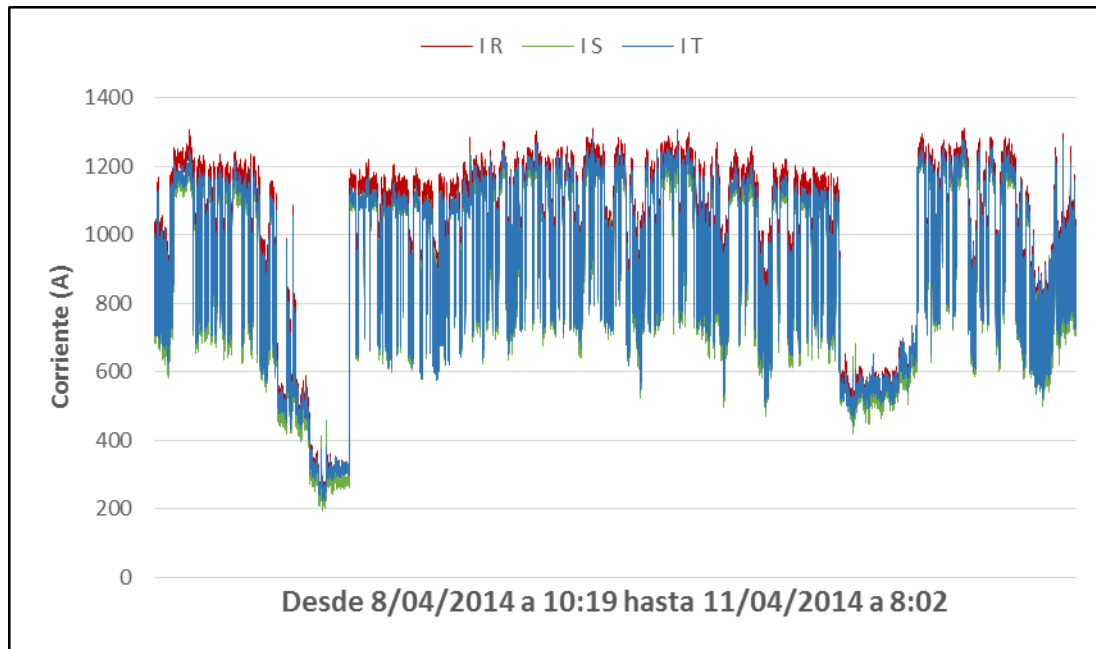


Figura A 44. Corriente de las fases R, S, T.

En la figura A44 se muestra el comportamiento de la corriente en el tablero línea 4 donde podemos observar que la corriente llega a un valor máximo de 1311 A. Siendo la fase R la más cargada y la fase S la que presenta menor carga al momento de entrar en operación la línea de envasado.

- Desbalance de corriente en la subestación PET

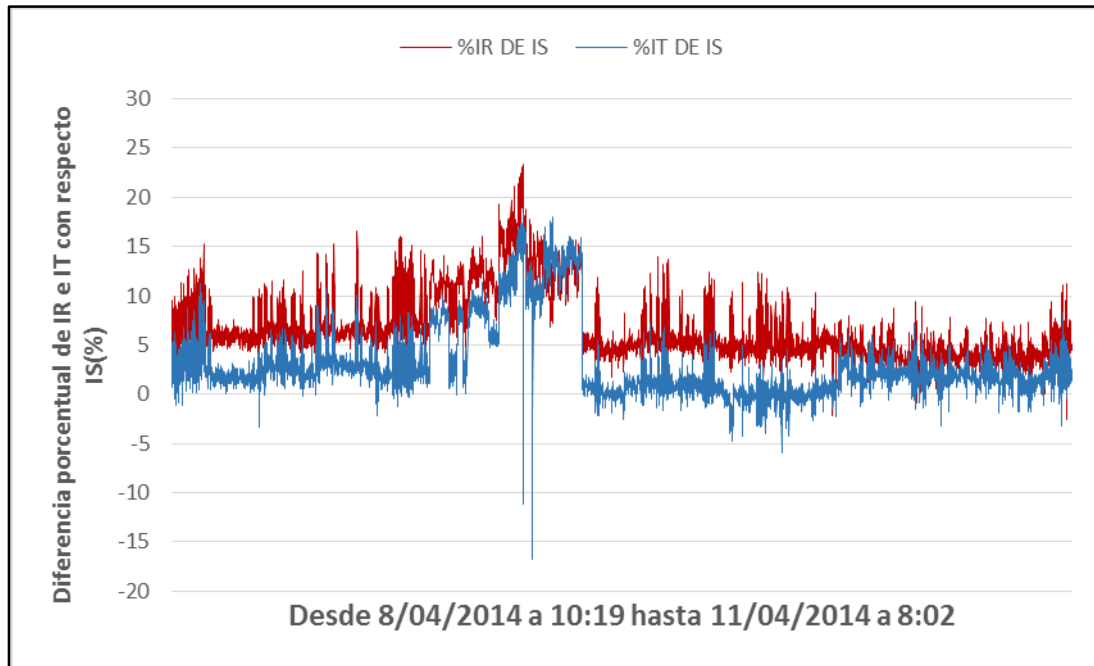


Figura A 45. Diferencia porcentual de IT e IR con respecto a IS.

La figura A45 representa la diferencia porcentual que existe entre las corrientes de las fases T y R con respecto la fase con menor carga (S). Existe un desbalance mayor al 10% entre las magnitudes de corrientes de este tablero, ya que el valor de las fases R y S supera al valor de referencia estipulado por el Reglamento del Servicio Eléctrico.

- Factor de potencia medido en la subestación PET

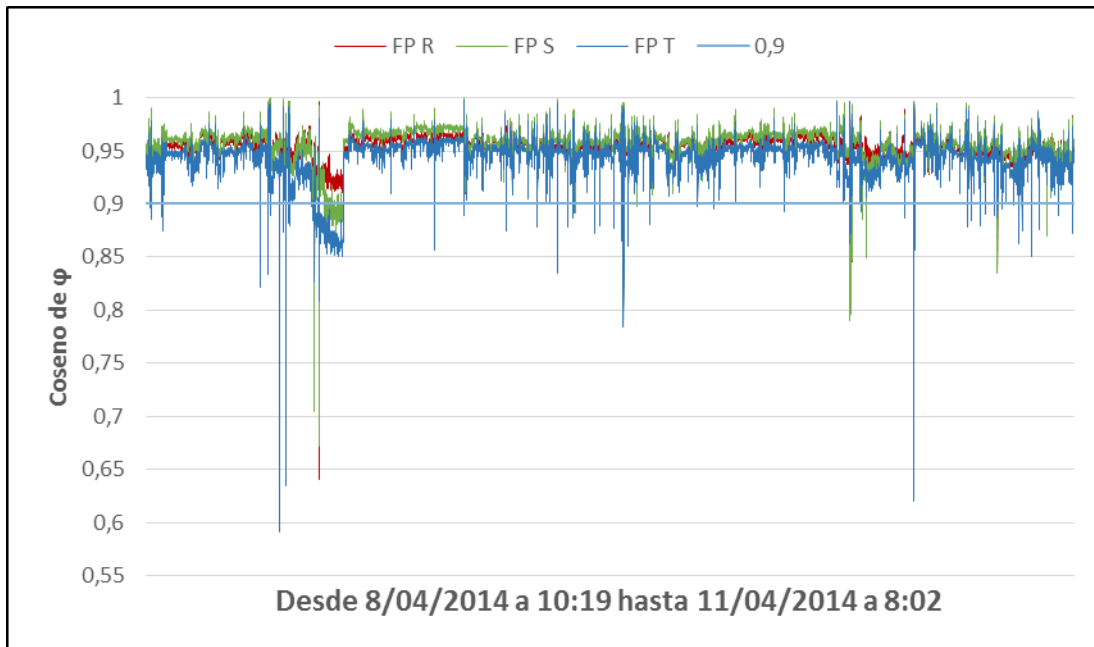


Figura A 46. Factor de potencia medido en la subestación PET.

Podemos ver en la figura A46 que el factor de potencia en promedio está en un valor de 0,95 y es relativamente superior con respecto al parámetro establecido de 0,9 estipulado por el reglamento de servicio eléctrico. Los puntos o momentos donde el factor de potencia se mostrado en el gráfica se refleja como picos de caída, se debe a la naturaleza del compensador dinámico, que releva la carga capacitiva y en estos cambios, la carga se presenta altamente inductiva. De 8:30 pm a 10:00 pm del día 8/4/2014 vemos un bloque donde cae el factor de potencia debido a las limitaciones del compensador.

- Tensión medida en la subestación PET

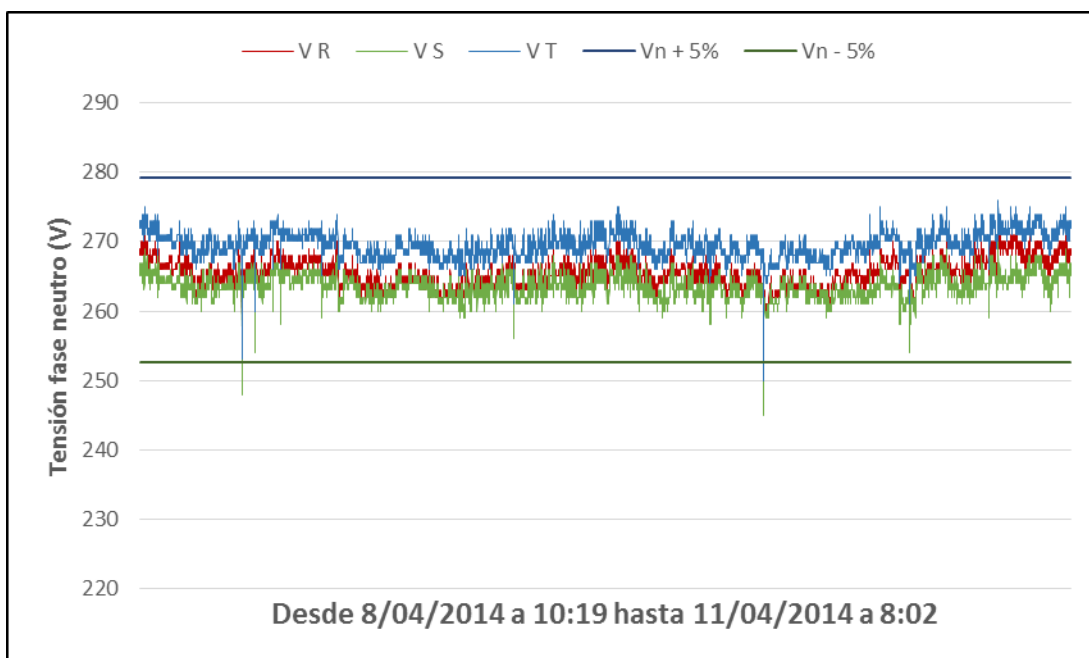


Figura A 47 Tensión de medido en la subestación PET.

En la figura A26 se ilustra las tensiones de fase, y podemos observar que la tensión se mantiene en los límites establecidos.

- Desbalance de tensión en la subestación PET

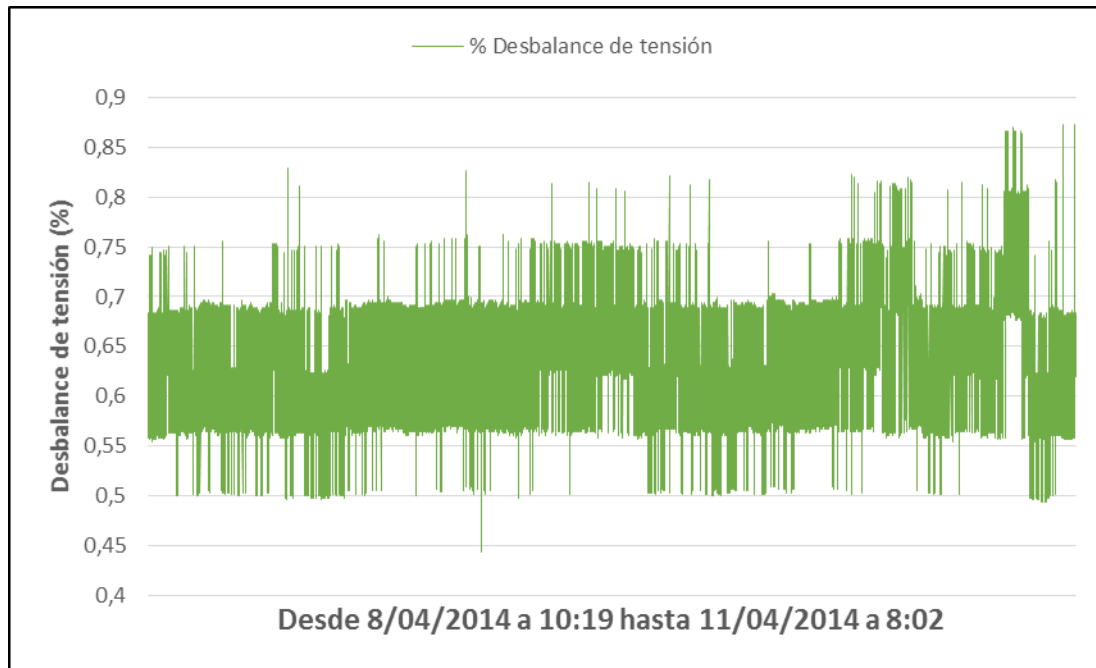


Figura A 48. Desbalance de tensión en la subestación PET.

En la figura A48 se muestra la máxima diferencia porcentual de tensión que existe entre dos fases tomando como base en valor promedio de las tensiones medidas, poniendo en evidencia que este desbalance de tensión no excede el 2% al que se recomienda la norma IEEE 1159.

- Distorsión armónica de tensión (VTHD)

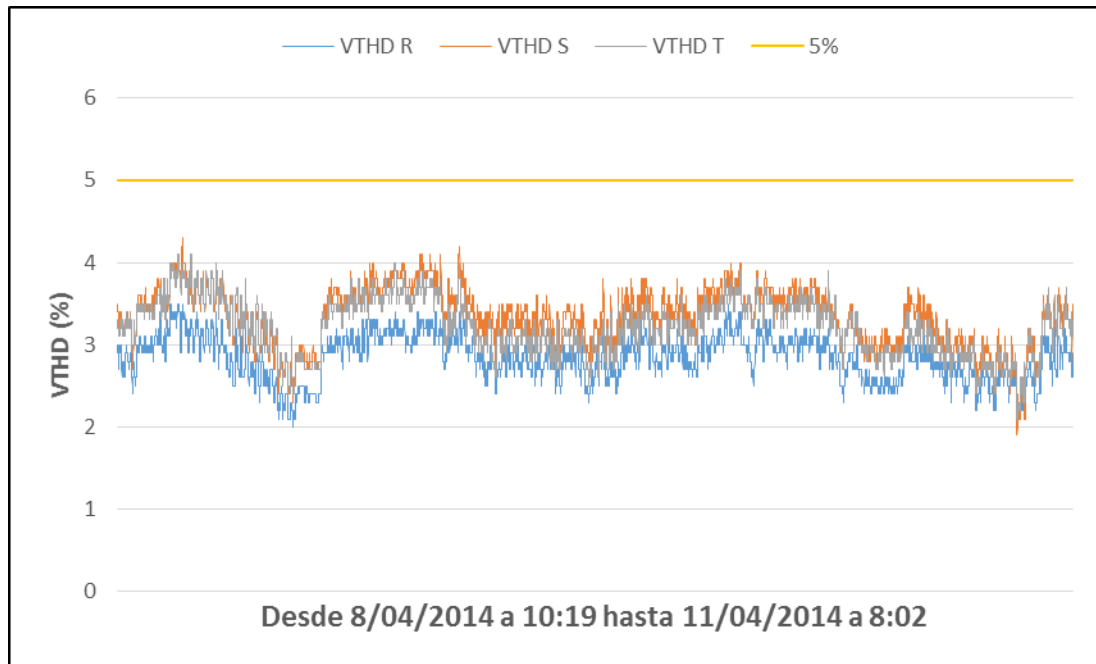


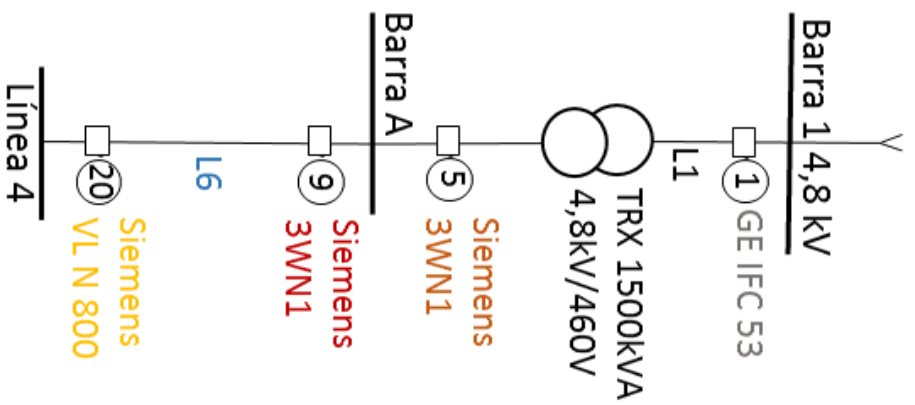
Figura A 49. Distorsión armónica de tensión en subestación PET.

La figura A49 muestra que el porcentaje de distorsión armónica es menor al 5% sugerido por la norma IEEE 519-1992.

ANEXO 2

COORDINACIÓN DE PROTECCIONES

Diagrama de protecciones Coordinación línea 4



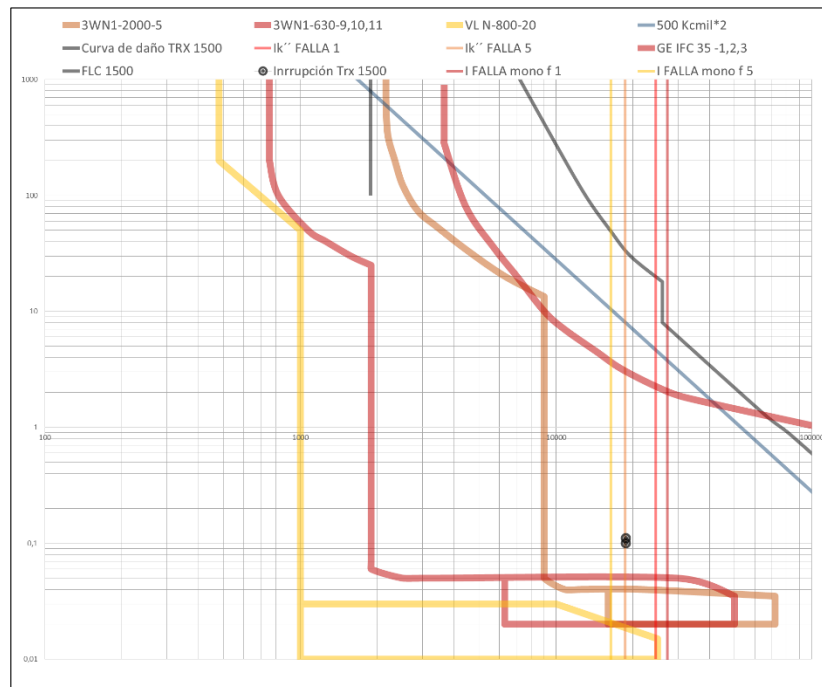


Figura B 1. Coordinación de protecciones. Línea 4.
Ajustes actuales.

No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores si protegen los conductores y el transformador asociado.

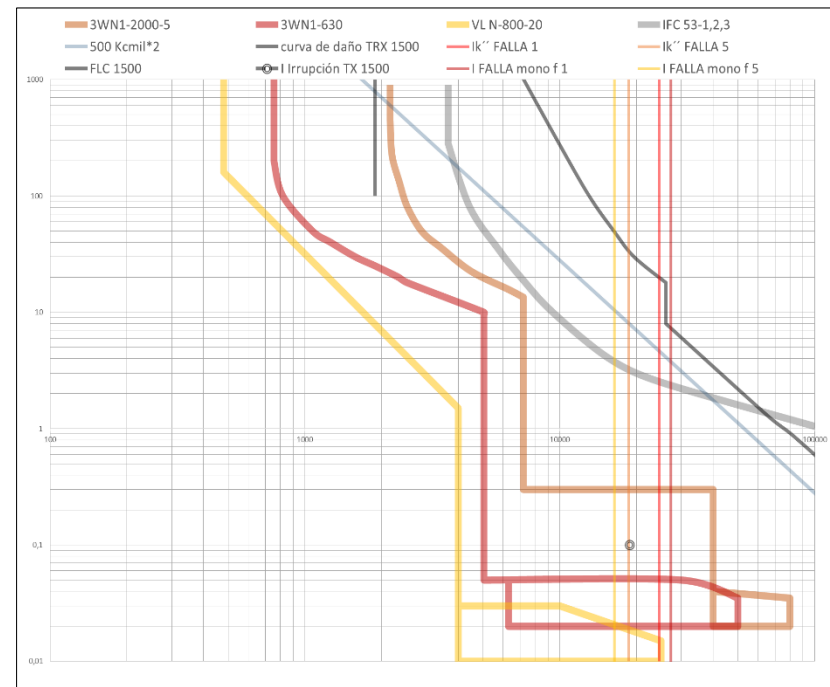
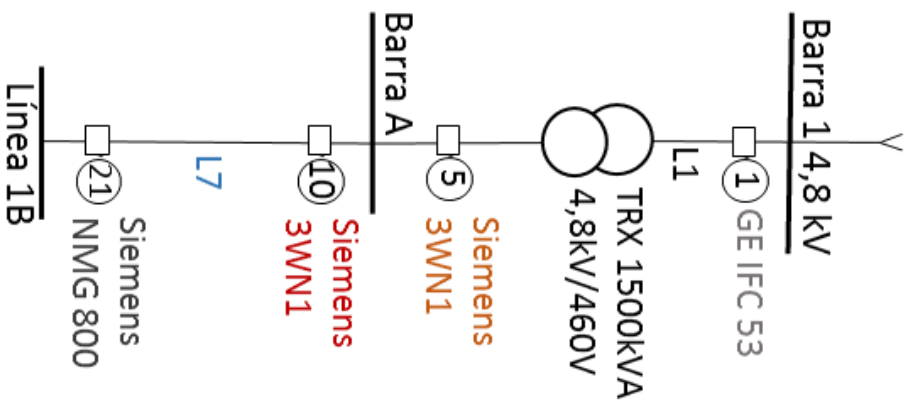


Figura B 2. Coordinación de protecciones. Línea 4.
Ajustes propuestos.

Debido a las características del interruptor de aguas arriba el tablero principal donde el rango de actuación de la parte instantánea de la curva es muy veloz y el interruptor del tablero se solapa con el área de actuación de este y puede ocasionar la actuación no selectiva de los interruptores.

Diagrama de protecciones Coordinación línea 1B



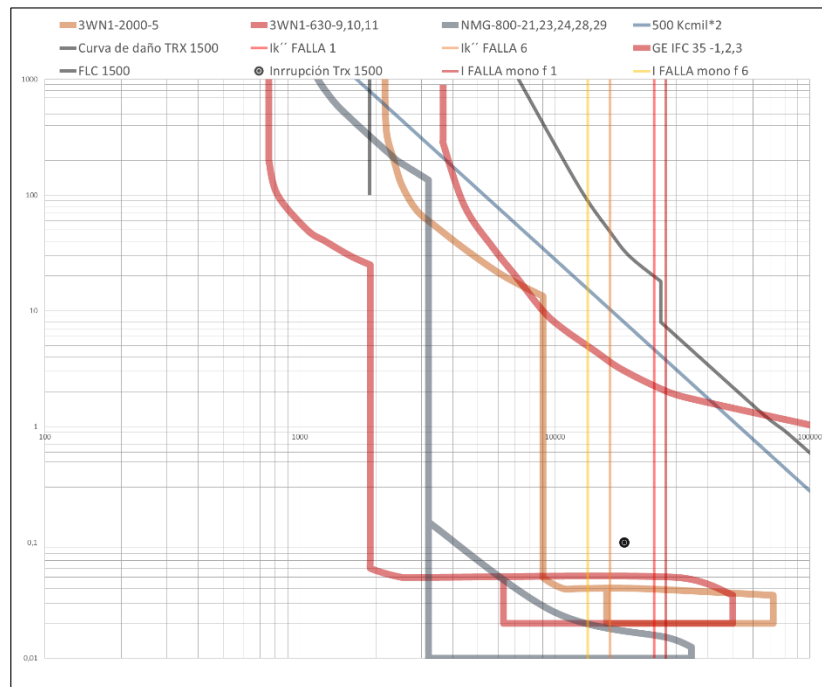


Figura B 3. Coordinación de protecciones. Línea 1B.
Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores si protegen debidamente los conductores y el transformador asociado.

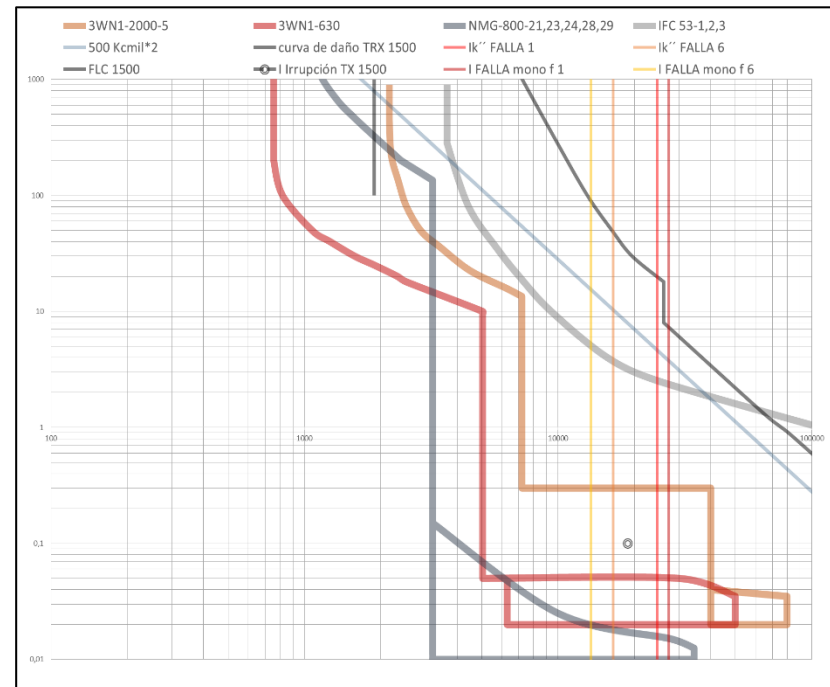
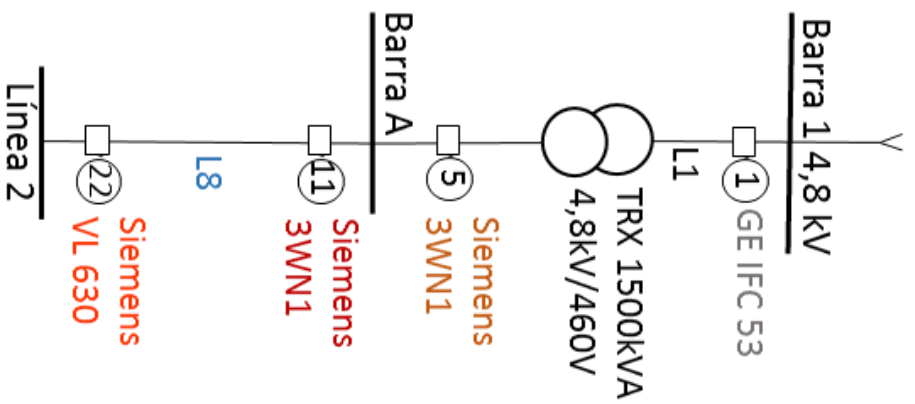


Figura B 4. Coordinación de protecciones. Línea 1B.
Ajustes propuesta.

Al igual que en el caso anterior no se puede lograr una completa coordinación entre el interruptor principal del tablero y el interruptor de aguas arriba, debido a las características del interruptor de aguas arriba el tablero principal donde el rango de actuación de la parte instantánea de la curva es muy veloz. Además que la corriente nominal del interruptor del tablero el superior al de la protección de aguas arriba.

Diagrama de protecciones Coordinación línea 2



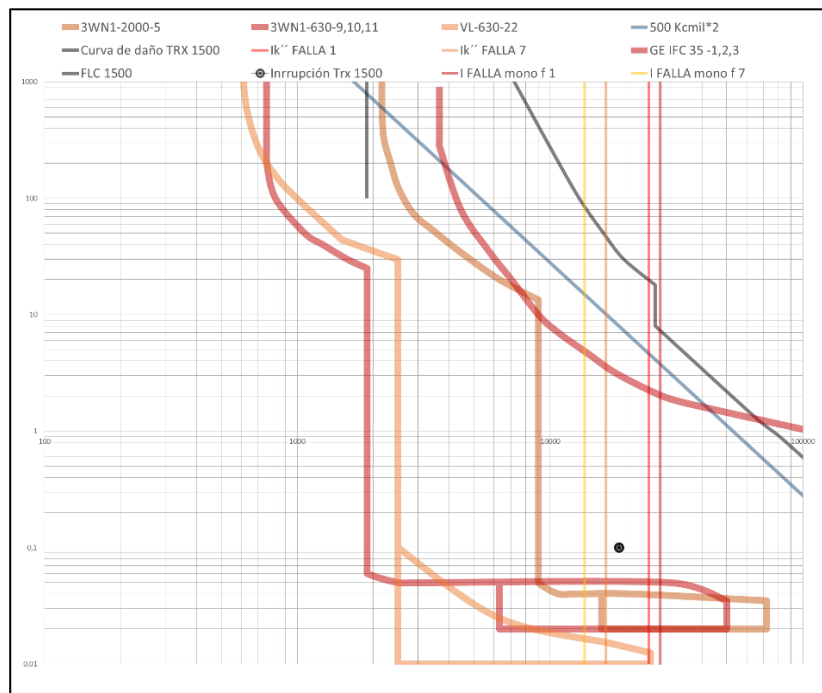


Figura B 5. Coordinación de protecciones. Línea 2.
Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores si protegen los conductores y el transformador asociado.

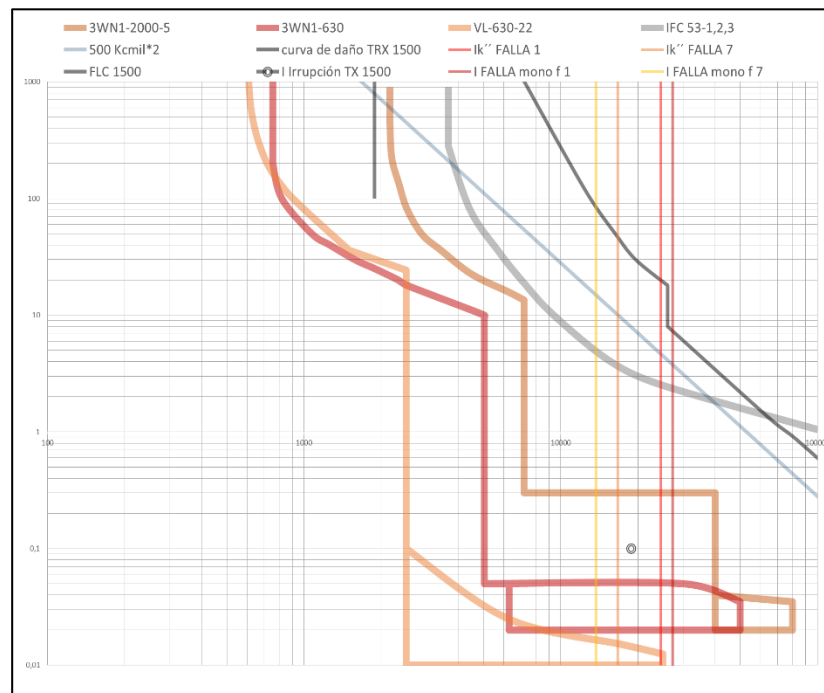
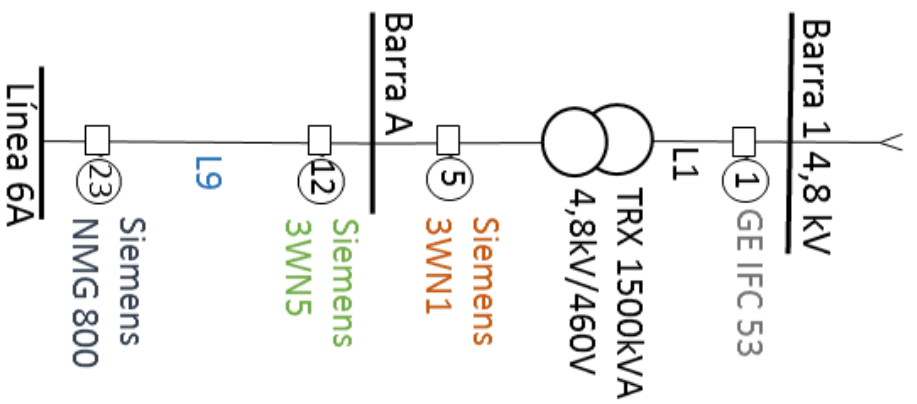


Figura B 6. Coordinación de protecciones. Línea 2.
Ajustes propuestos.

Para este caso podría decirse que sí existe una selectividad al momento de presentarse las fallas, pero como vemos no se logra una plena coordinación, donde las curvas de actuación no se solapan en ningún punto.

Diagrama de protecciones Coordinación línea 6A



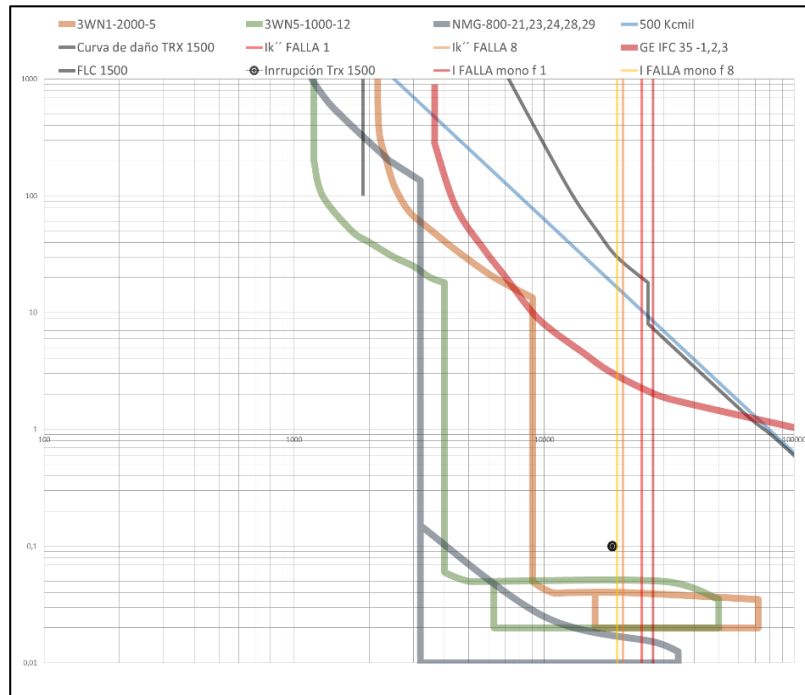


Figura B 7. Coordinación de protecciones. Línea 6A.
Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores sí protegen los conductores y el transformador asociado.

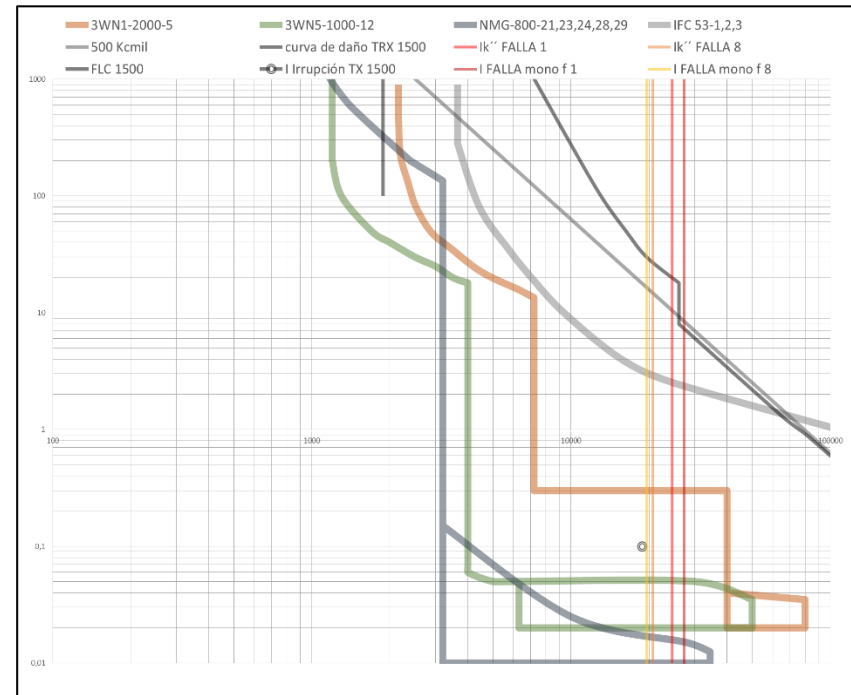
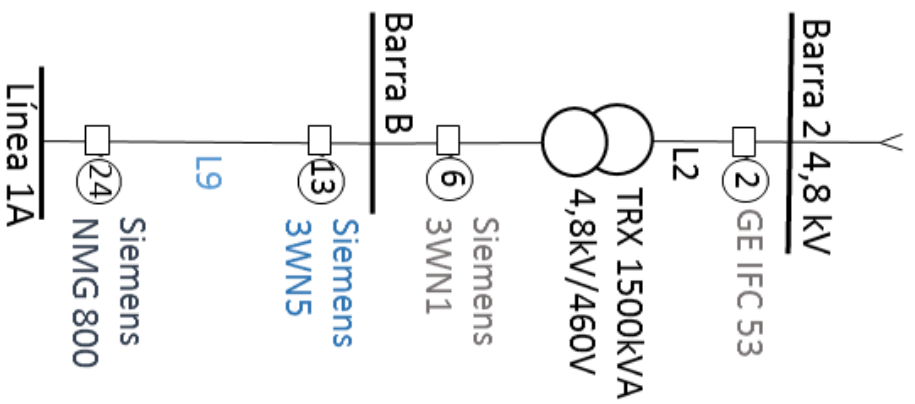


Figura B 8. Coordinación de protecciones. Línea 6A.
Ajustes propuestos.

En este caso es semejante que el análisis de la figura B 6.

Diagrama de protecciones Coordinación línea 1A



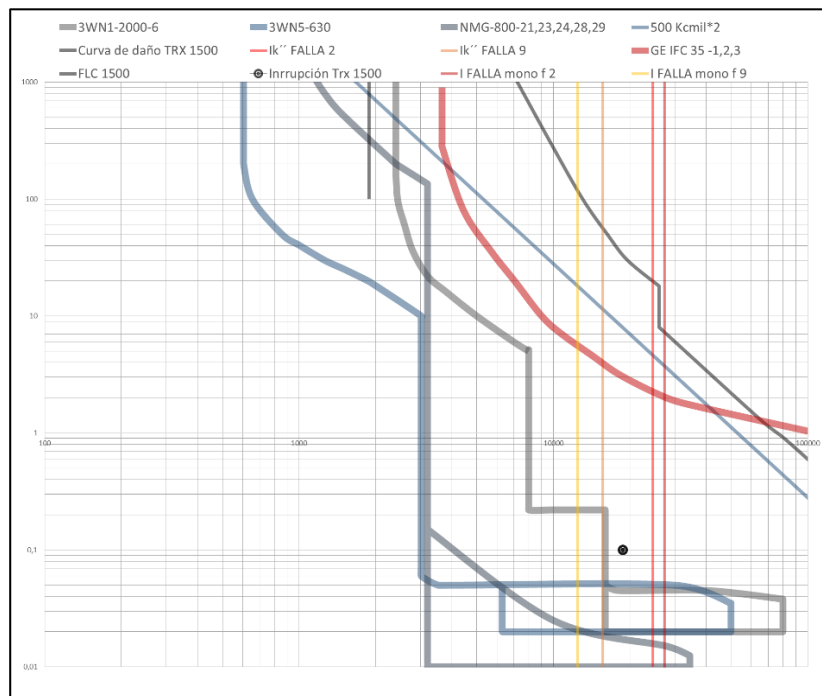


Figura B 9. Coordinación de protecciones. Línea 1A.
Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores sí protegen los conductores y el transformador asociado.

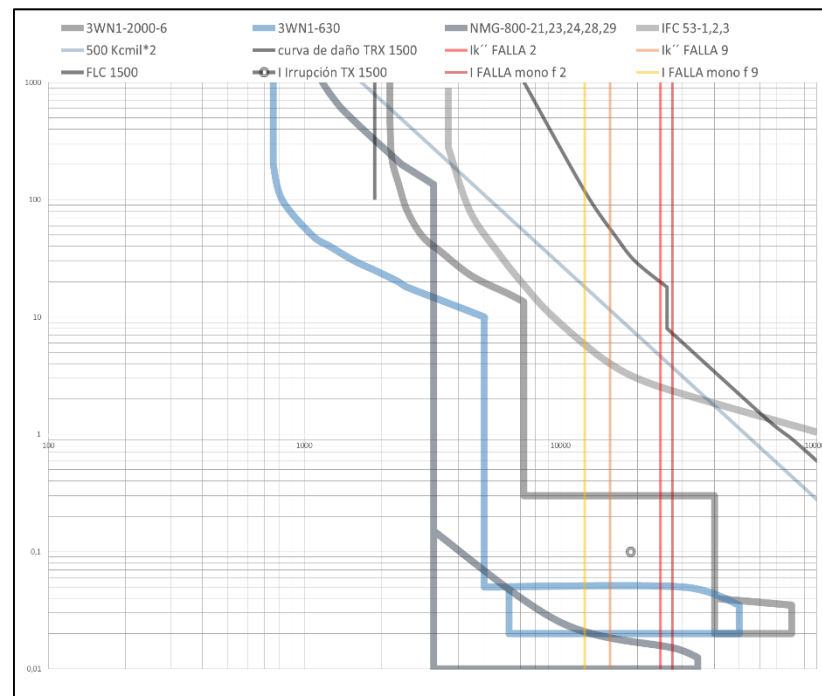
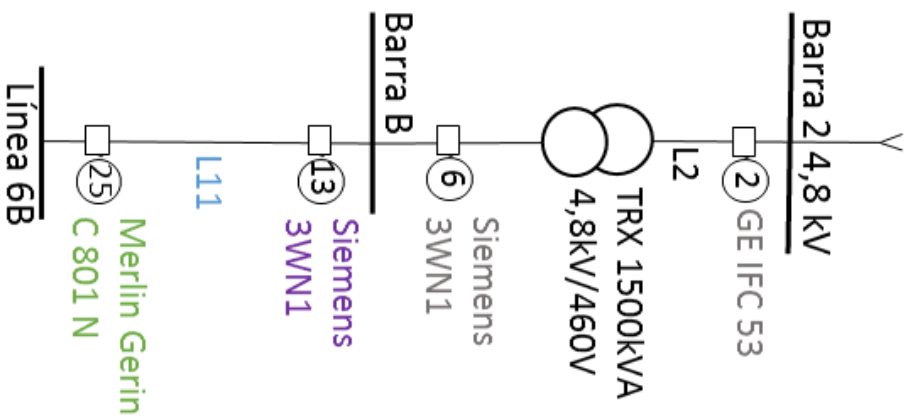


Figura B 10. Coordinación de protecciones. Línea 1A.
Ajustes propuesta.

En este caso es semejante que el análisis de la figura B 4.

Diagrama de protecciones Coordinación línea 6B



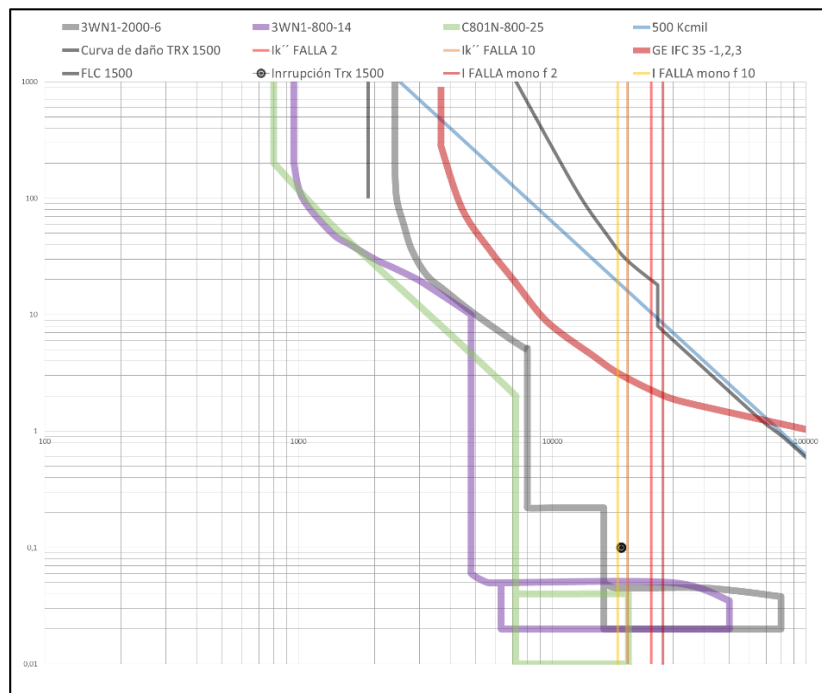


Figura B 11. Coordinación de protecciones. Línea 6B.
Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores sí protegen los conductores y el transformador asociado.

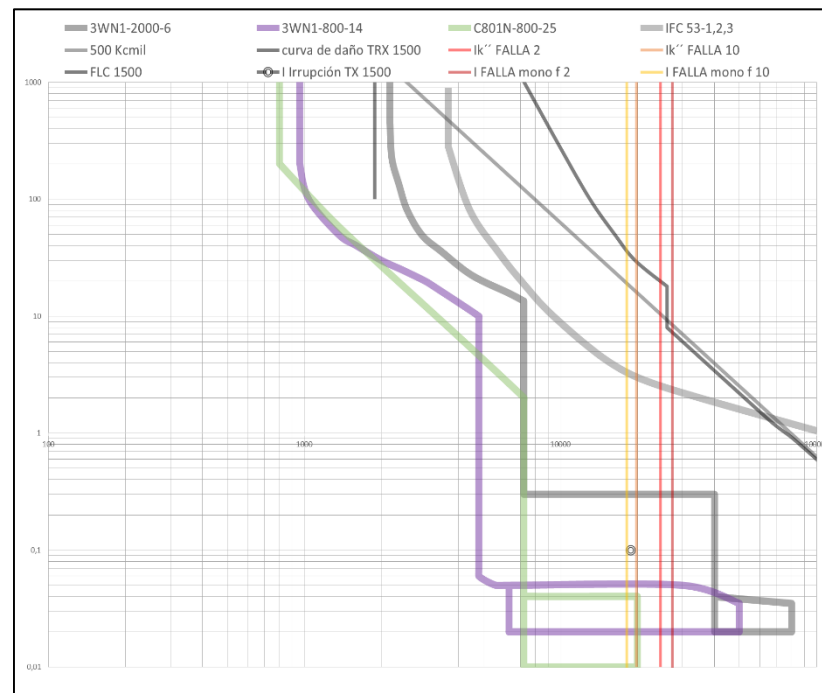
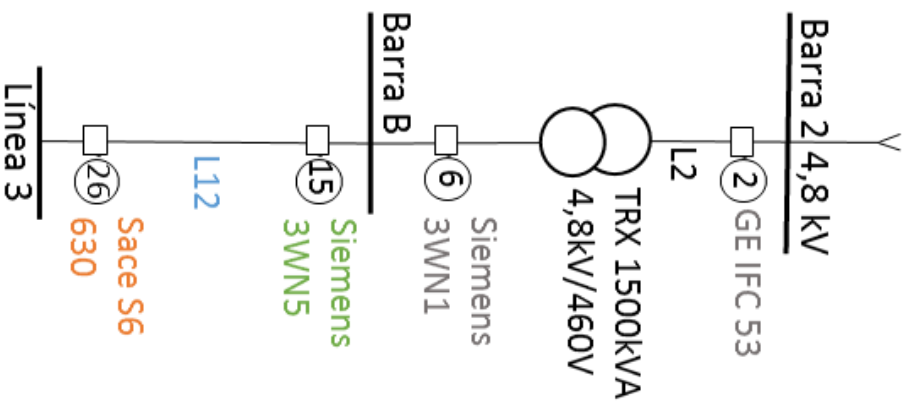


Figura B 12. Coordinación de protecciones. Línea 6B.
Ajustes propuestos.

El interruptor del tablero principal no tiene capacidad de ajuste y es imposible lograr una buena coordinación con los interruptores de aguas arriba.

Diagrama de protecciones Coordinación línea 3



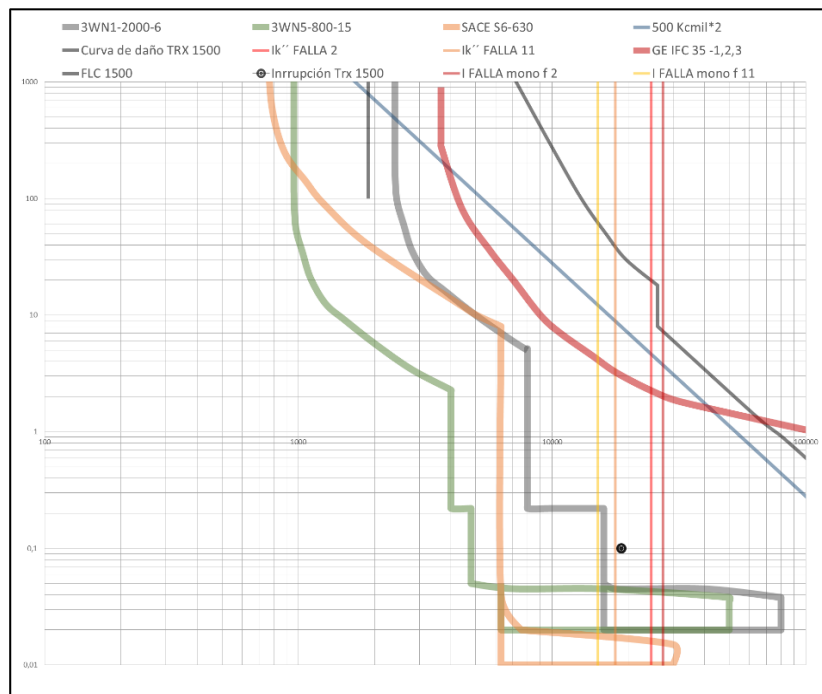


Figura B 13. Coordinación de protecciones. Línea 3.

Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores si protegen los conductores y el transformador asociado.

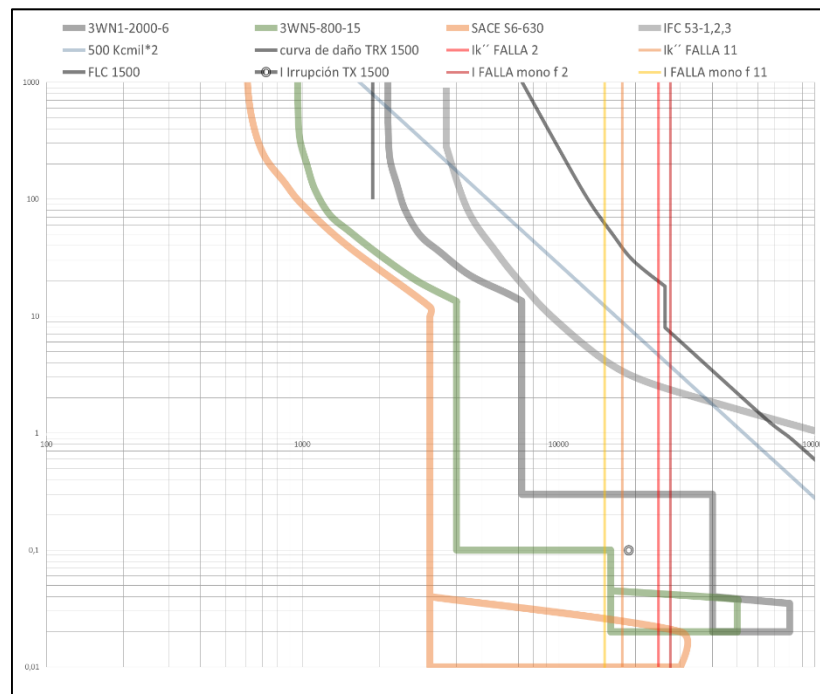
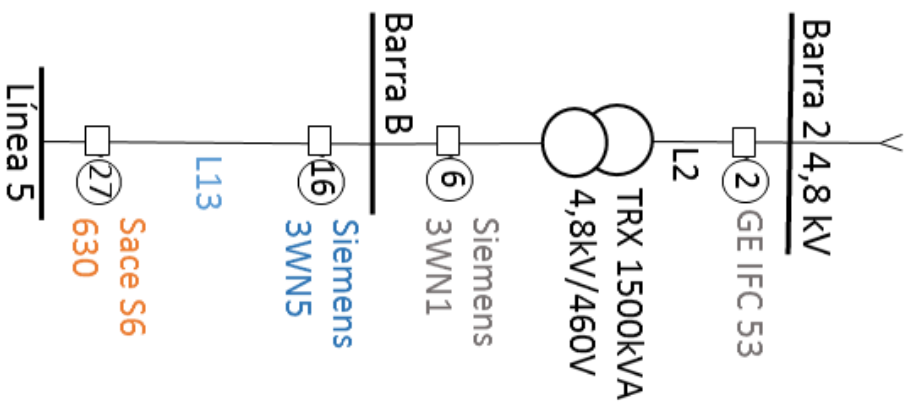


Figura B 14. Coordinación de protecciones. Línea 3.

Ajustes propuestos.

Como en los casos anteriores para el caso de falla 11, a las características del interruptor de aguas arriba el tablero principal donde el rango de actuación de la parte instantánea de la curva es muy veloz y el interruptor del tablero podría no actuar antes del interruptor de respaldo.

Diagrama de protecciones Coordinación línea 5



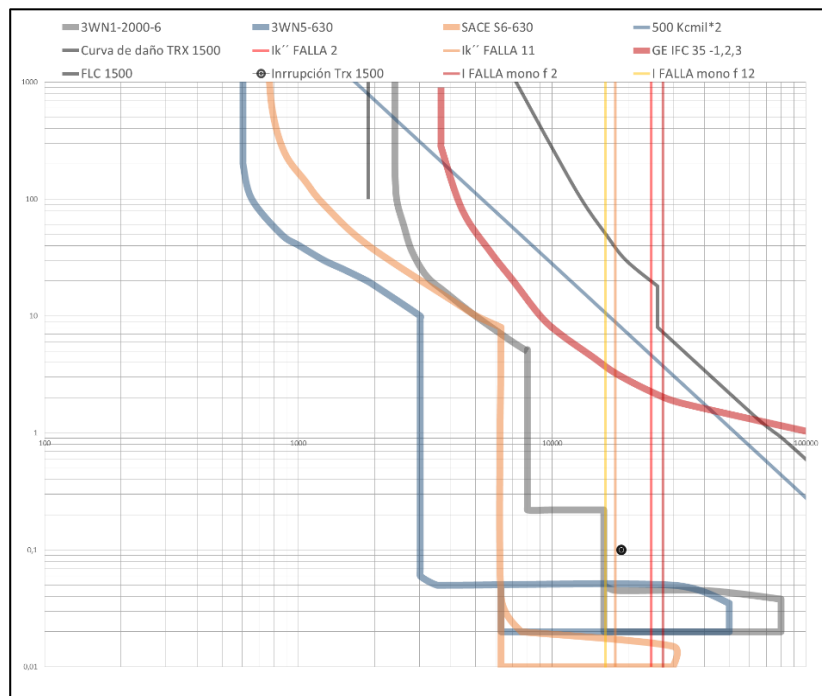


Figura B 15. Coordinación de protecciones. Línea 5.

Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores sí protegen los conductores y el transformador asociado.

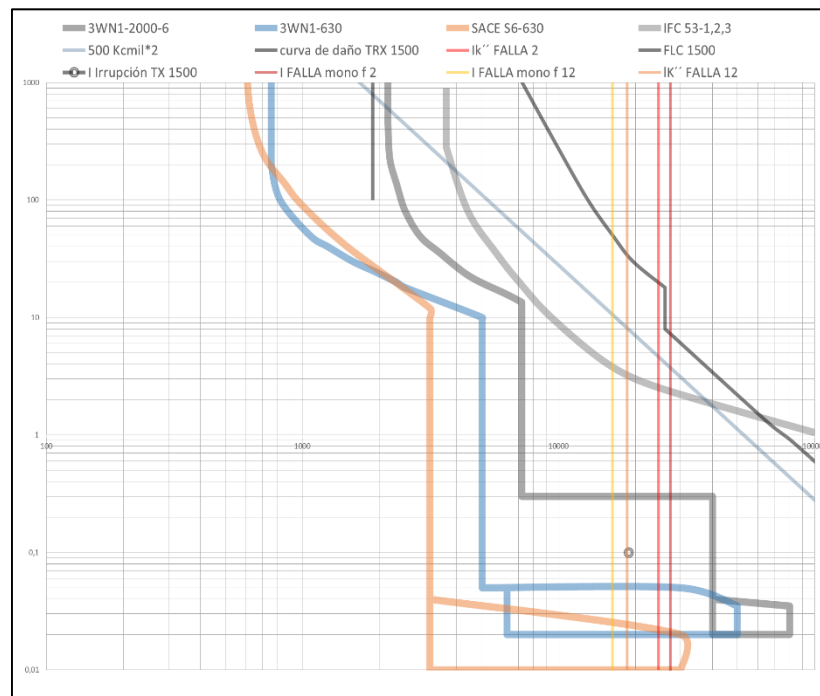
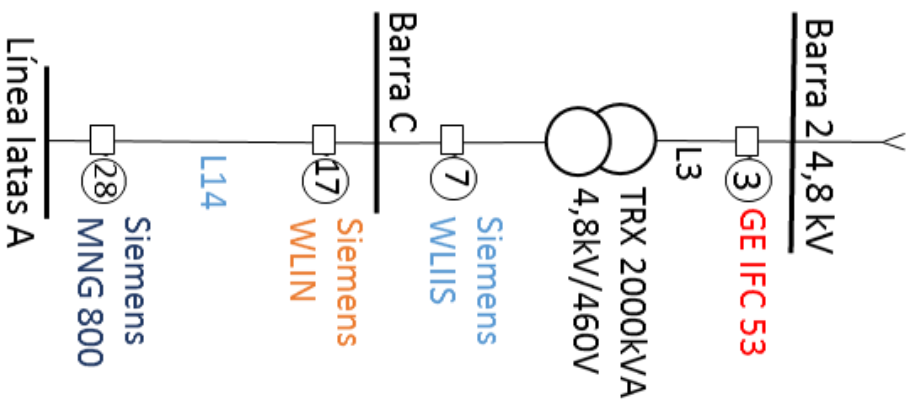


Figura B 16. Coordinación de protecciones. Línea 5.

Ajustes propuesto.

Al igual que en el caso anterior no se puede lograr una completa coordinación entre el interruptor principal del tablero y el interruptor de aguas arriba.

Diagrama de protecciones Coordinación línea latas A



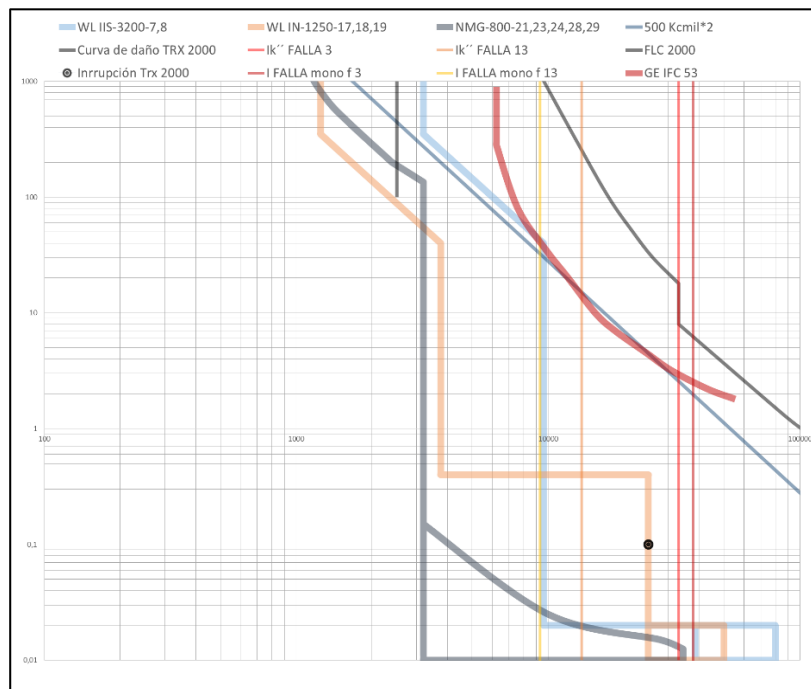


Figura B 17. Coordinación de protecciones. Línea latas A.
Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores sí protegen los conductores y el transformador asociado.

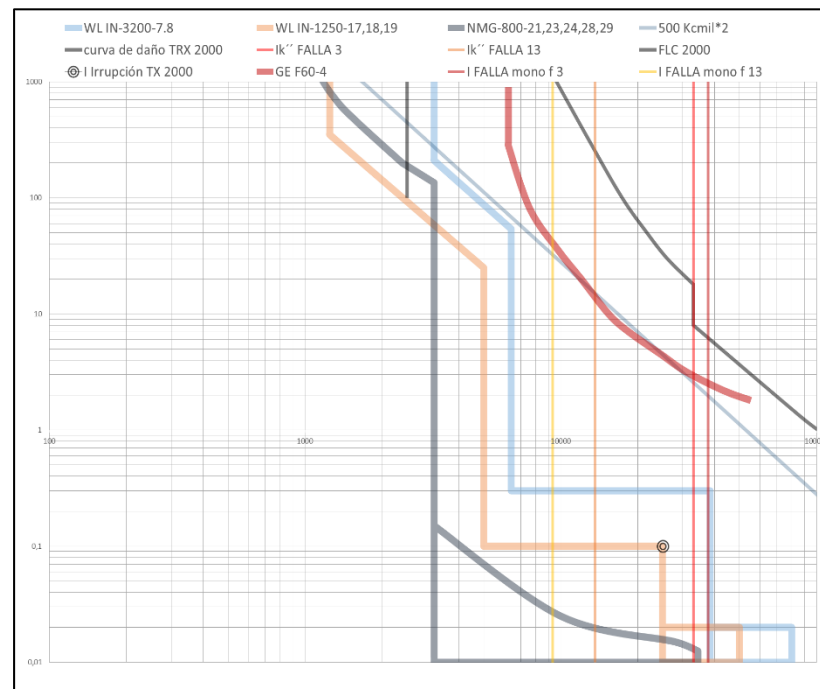
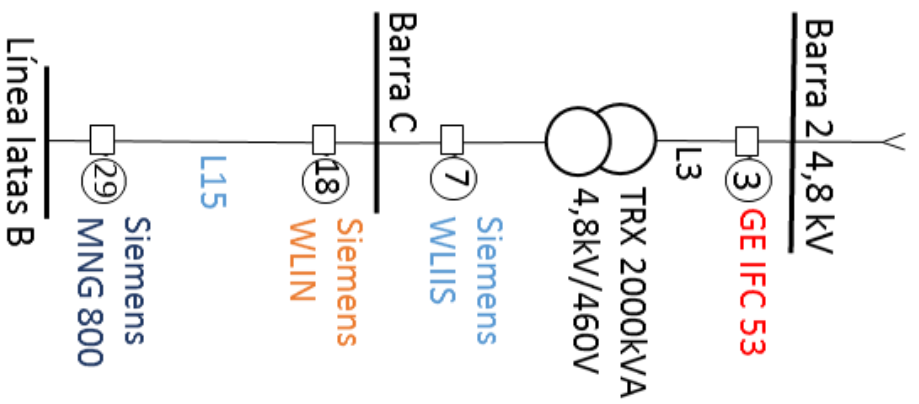


Figura B 18. Coordinación de protecciones. Línea latas A.
Ajustes propuesto.

El interruptor del tablero actúa lentamente en comparación con el interruptor de respaldo siendo imposible que con esta configuración las curvas no se solapen.

Diagrama de protecciones Coordinación línea latas B



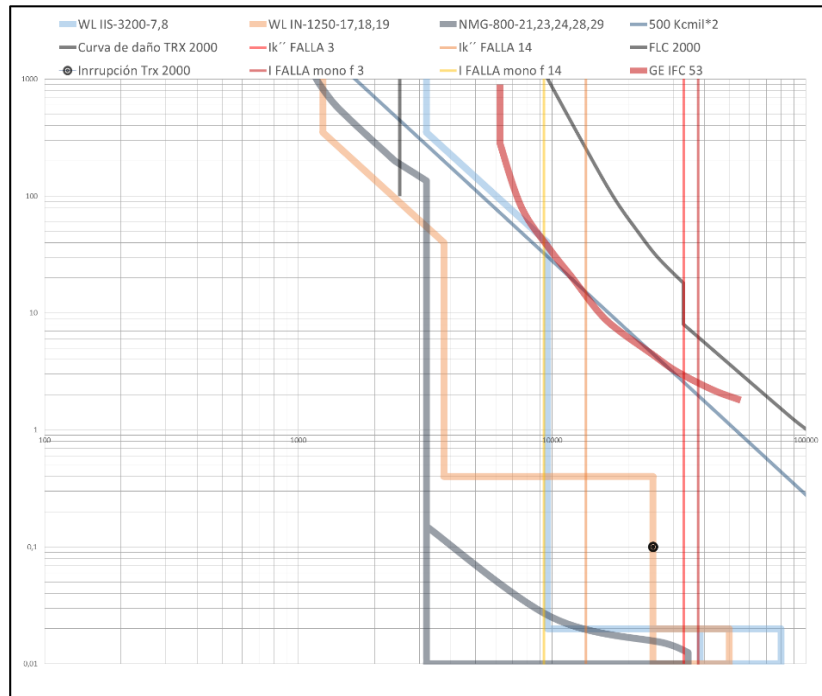


Figura B 19. Coordinación de protecciones. Línea latas B.

Ajustes actuales.

Este caso es igual al caso anterior ya que presentan una configuración exacta.

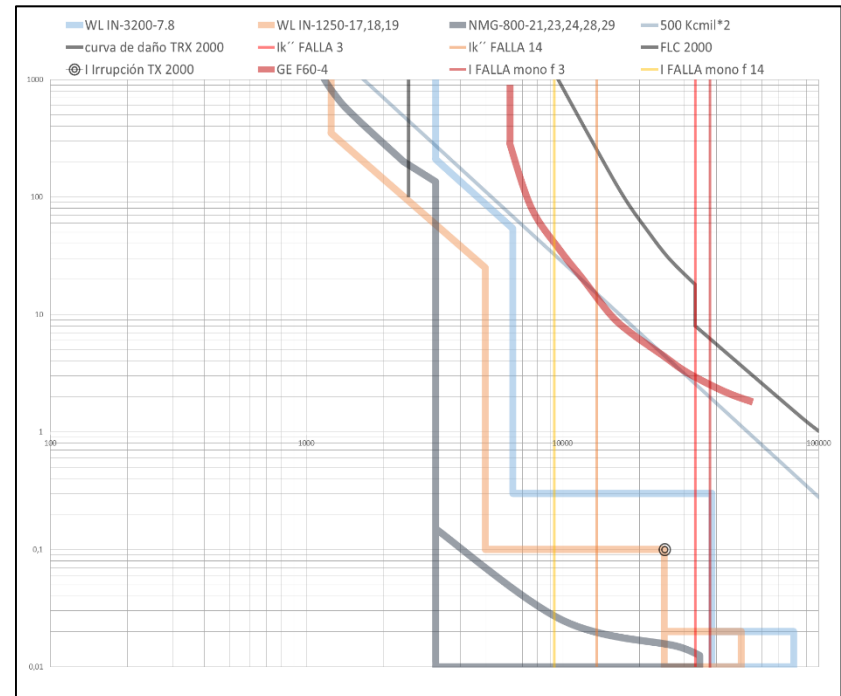
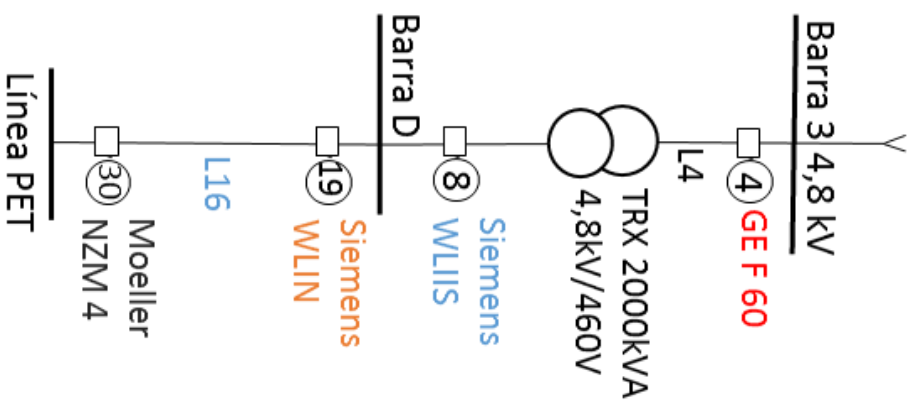


Figura B 20. Coordinación de protecciones. Línea latas B.

Ajustes propuesto.

Este caso es igual al caso anterior ya que presentan una configuración exacta.

Diagrama de protecciones Coordinación línea PET



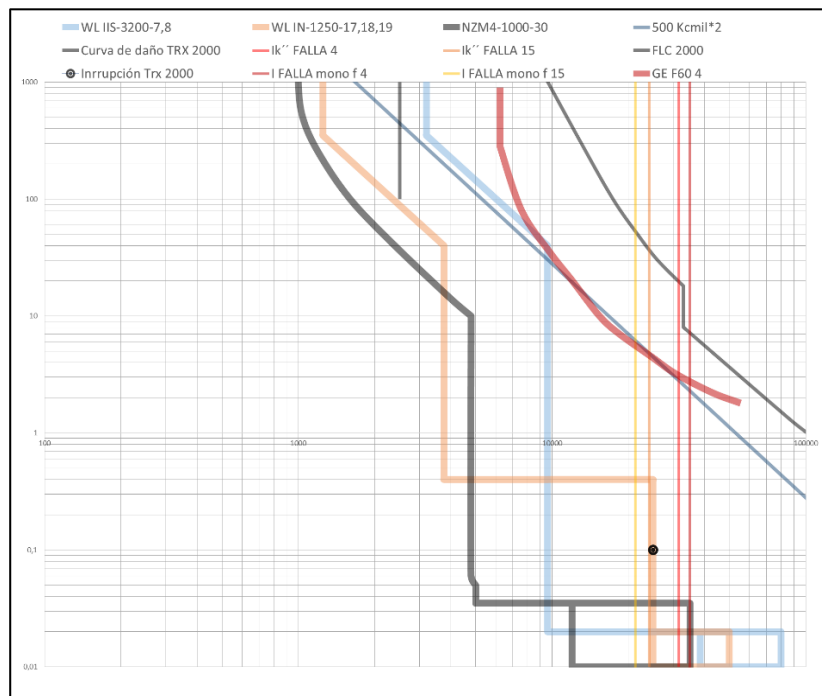


Figura B 21. Coordinación de protecciones. Línea PET.
Ajustes actuales.

Como en el caso anterior. No hay una coordinación de protecciones para las condiciones de falla. Sin embargo los interruptores sí protegen los conductores y el transformador asociado.

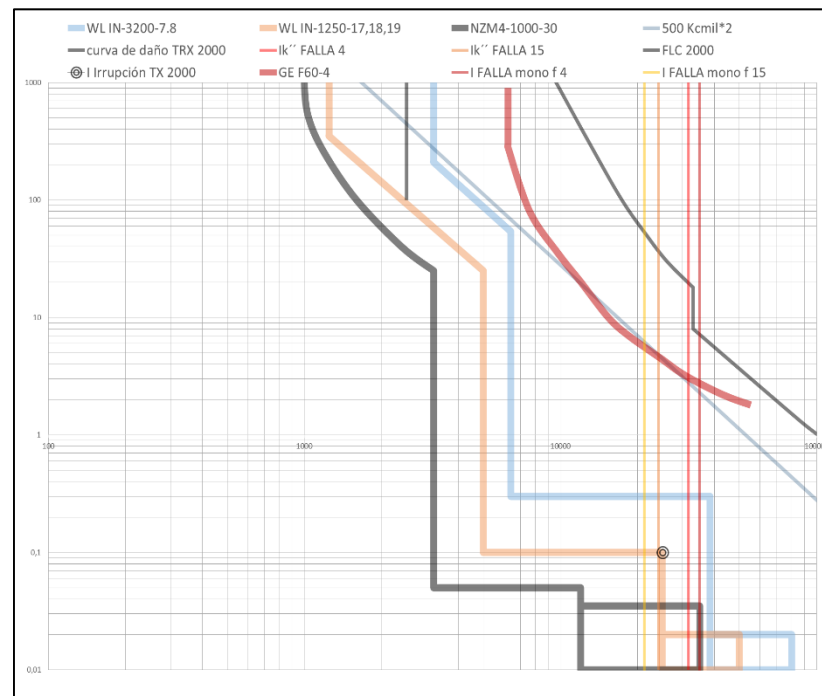


Figura B 22. Coordinación de protecciones. Línea PET. Ajustes
propuestos.

Para el caso de la línea de envasado PET la coordinación se puede lograr de forma satisfactoria gracias a las capacidades de ajuste de los interruptores involucrados.

ANEXO 3

Evaluación de los conductores.

Tabla 1. Evaluaciones los conductores alimentadores de las líneas de envasado

Alimentadores	Conductores kcmil THW	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A calculada (cmil)
LINEA 1A	2 # 500	41,5	806	15638	281	0,6394	38961,3
LINEA 1B	2 # 500	63,5	806	16490	117	0,2390	41084,7
LINEA 2	2 # 500	61,5	806	16665	507	0,9402	41521,8
LINEA 3	2 # 500	37	806	17765	472	0,7448	44261,0
LINEA 4	2 # 500	74	806	18640	360	0,4810	46442,1
LINEA 5	2 # 500	47,5	806	18548	468	0,6944	46213,9
LINEA 6A	3 # 500	50	1209	20685	453,4	0,3634	51537,8
LINEA 6B	3 # 500	42,5	1209	19805	448,9	0,4619	49344,7
LATAS B	2 # 500	135	806	13601	87,6	0,8471	33887,4
LATAS A	2 # 500	135	806	13601	193,1	0,3842	33887,4
LINEAPET	2 # 500	31	806	24169	413,5	0,4166	60217,6

Tabla 2. Evaluaciones los conductores de la línea de envasado 1, tablero A

Línea 1A								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Desemba	10 THW	51	35	1352	10	1,251	10380	3368
Bomba cerv	10 THW	10	35	5763	8,3	0,739	10380	14358
Embalador	2*10 THW	41	70	3167	28	1,328	20760	7892
llenadora	1/0 THHN	20	169	1138	59,8	0,827	105600	28374
paster	250 THHN	8	295	14233	132,4	0,737	250000	35462
lavadora	400 THHN	15	399	13484	74,6	0,719	400000	33595

Tabla 3. Evaluaciones los conductores de la línea de envasado 1, tablero B

Línea 1B

Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
ventiladores	12 THW	10	25	3802	9,6	0,395	6530	9473
Lina tronic	8 THHN	8	55	8962	11	0,297	16510	22329
Via cajas	250 THHN	12	295	14263	66,5	0,312	250000	35537
Via botellas	250 THHN	13	295	14102	28,8	0,273	250000	35134
Trx 480/220	6 THW	2	65	15073	37,5	0,272	26240	37553

Tabla 4. Evaluaciones los conductores alimentadores de la línea de envasado 2

Línea 2								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Paster	2/0 THW	5	172	15397	113,5	1,016	133100	38363
Desembala	2 THHN	12	190	12506	61,2	1,105	66360	31158
Llenadora 2	2/0 THW	8	172	14694	50,3	0,994	133100	36609
Llenadora 1	2/0 THW	8	172	14694	60,8	1,005	133100	36609
Inspector 2	2/0 THW	9	172	14469	12,2	0,955	133100	36049
Inspector 1	2/0 THW	9	172	14469	14,4	0,957	133100	36049
Trx 480/220	6 THW	15	65	8014	42,6	1,248	133100	19967
Lavadora	2/0 THW	8	172	14694	180	1,134	26240	36609
Embaladora	4 THHN	10	150	11880	66,5	1,154	133100	29599

Tabla 5. Evaluaciones los conductores alimentadores de la línea de envasado 3

Línea 3								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A min calculada (cmil)
Lavadora	2 THW	6	170	15313	6,8	0,754	66360	38153
Paster	4/0 THW	8	263	15951	134	0,852	211600	39741
Llenadora 1	2/0 THHN	12	195	14594	60,1	0,843	133100	36361
Llenadora 2	2*4 THW	12	170	14417	48,8	0,843	83480	35921
Inspector 1	2*4 THW	9	170	15238	5,9	0,753	83480	37965
Inspector 2	2*4 THW	9	170	15238	9,8	0,759	83480	37965
Desemba	2 THW	13	170	12810	61,9	0,932	66360	31917
Embaladora	2 THW	14	170	12497	8,6	0,772	66360	31136
Vías embala	2 THW	9	170	14177	38,5	0,825	66360	35321
Trx 480/220	2 THW	13	170	12810	42,6	0,873	66360	31917
Vías salida	1/0 THHN	9	169	15107	21	0,774	105600	37639

Tabla 6. Evaluaciones los conductores alimentadores de la línea de envasado 4

Línea 4								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Paster	2/0 THHN	6	195	16811	110,3	0,569	133100	41885
Lavadora	2/0 THHN	10	195	15712	103,9	0,620	133100	39146
Llenadora 2	2/0 THHN	12	195	15199	57,8	0,573	133100	37869
Llenadora 1	2/0 THHN	12	195	15199	57,8	0,573	133100	37869
Desembala	1/0 THHN	14	169	14384	60,9	0,609	105600	35837
Embaladora	1/0 THHN	15	169	14130	50,4	0,594	105600	35204
Rec agua	10 THW	20	35	3318	3,17	0,548	10380	8268
Trx 480/220	6 THW	15	65	8412	42,6	0,784	26240	20959

Tabla 7. Evaluaciones los conductores alimentadores de la línea de envasado 5

Línea 5								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Desembala	1/0 THW	6	150	16587	47,1	0,738	105600	41326
Trx 480/220	6 THW	12	65	9663	42,6	0,950	26240	24074
Lavadora	1/0 THW	8	150	15981	53,1	0,759	105600	39817
Paster	4/0 THHN	10	263	16153	144,6	0,839	211600	40245
Ext etiqueta	1/0 THW	9	150	15689	49,1	0,762	105600	39088
Vías llena	1/0 THW	15	150	14076	28,7	0,760	105600	35070
Llenadora 1	4/0 THW	14	263	15332	59,3	0,777	211600	38200
Vías salida	1/0 THW	8	150	15981	5,8	0,701	105600	39817
Llenadora 2	4/0 THW	14	263	15332	48,5	0,762	211600	38200
Etiquetador	8 THHN	65	55	1614	50	3,182	33020	4022

Tabla 8. Evaluaciones los conductores de la línea de envasado 6, tablero A

Línea 6A								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Horno A	350 RHH	71	370	10099	107	0,942	350000	25161
Via bot 1y2	1/0 THW	10	150	16909	17,2	0,390	105600	42129
Llenadora A	1/0 TTU	6	169	18330	77,6	0,436	105600	45668
Kister A	4/0 TTU	71	263	9086	24,2	0,535	211600	22638
Via llana A	1/0 TTU	12	169	16251	17,4	0,396	105600	40489
Trx 480/220	6 THW	15	65	8775	42,6	0,697	26240	21864
Inspector 1	8 THHW	8	55	9998	10	0,427	16510	24910
Despaletiza	4/0 TTU	30	263	13674		0,363	211600	34068
M.E.A.D	1/0 THW	60	150	7804		0,3634	105600	19445

Trans paleta	10 THW	20	35	3361		0,363	10380	8374
Rinser A	10 THW	20	35	3361		0,363	10380	8374
Etiqueta A	1/0 THW	9	150	17251	26,8	0,401	105600	42982
C.I.P	6 THW	20	65	7084		0,363	26240	17650

Tabla 9. Evaluaciones los conductores de la línea de envasado 6, tablero B

Línea 6B								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Horno B	350 RHH	71	370	9875	107,4	1,043	350000	24604
Paster	4/0 TTU	10	263	17121	145	0,607	211600	42657
Vía bot 3, 4	1/0 THW	12	150	15680	16,7	0,493	105600	39066
Llenadora B	1/0 TTU	6	169	17614	65,8	0,523	105600	43886
Kister B	4/0 TTU	71	263	8905	24,6	0,636	211600	22187
Inspector 2	8 THHN	8	55	9801	10	0,526	16510	24420
Trx 480/220	6 THW	15	65	8625	42,6	0,795	26240	21490
Rinser B	10 THW	20	35	3343		0,461	10380	8331
Etiqueta B	1/0 THW	9	150	16612	26,6	0,499	105600	41388

Tabla 10. Evaluaciones los conductores de la línea de envasado Latas, tablero A

Línea latas A								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Rinser	12 THW	30	25	1343		0,768	6530	3347
Trx 120	6 THW	2	65	12496	18,8	0,788	26240	31134
Trx 220	6 THW	2	65	12496	42,6	0,813	26240	31134
No se	2*10 THW	20	70	5423		0,768	20760	13511
Despaletiza	4 THHN	80	95	2904	55,3	2,299	41740	7235
Control line	2*4/0 THHN	6	526	12870	84	0,803	423200	32065
C.I.P	2 THW	20	170	9407		0,768	66360	23438
llenadora	1/0 THW	12	150	11356	43	0,849	105600	28294

Tabla 11. Evaluaciones los conductores de la línea de envasado Latas, tablero A

Línea latas B								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
Hi cone B	4 THHN	35	95	5500	30	2,057	41740	13703

Hi cone A	4 THHN	35	95	5500	30	2,057	41740	13703
No se	12 THW	10	25	3625	12	1,933	6530	9033
Kister A	4/0 THHN	35	263	9603	84	1,988	211600	23927
Kister B	2x2 THW	40	340	9001	84	2,094	132720	22425
Pasteuriza	250 THHN	2	295	13307	164,5	1,724	250000	33154
Trans cajas	2x10 THW	8	70	9077	10	1,742	20760	22616

Tabla 12. Evaluaciones los conductores de la línea de envasado PET

Línea PET								
Alimentador	Conductor Awg/kcmil	Longitud (m)	Capacidad Corriente (A)	Nivel de cc (A)	Corriente Medida (A)	Caída de Tensión %	A instalada (cmil)	A calculada (cmil)
fusible p	2*8 MTW	1	140	23123	10	0,420	33020	57611
cip	4 THHN	69	95	3591		0,416	417040	8947
fusible	2*8 MTW	1	140	23123	2,4	0,417	33020	57611
cargada khs	4 THHN	85	95	2961	12,8	0,793	417040	7379
etiquetadora	8 XHHW-2	76	80	1396	9,5	0,995	16510	3479
pester rap	1/0 THW	71	170	7138	39,6	0,857	105600	17786
paster	500 TTU	10	455	20935	149,5	0,513	500000	52160
encajonador	500 TTU	75	455	11114	89,4	0,851	500000	27690
trans envase	1/0 THW	8	170	19865	23,9	0,446	105600	49492
reserva	1/0 THW	10	170	18941	0,1	0,416	105600	47192
trans aire	1/0 THW	4	170	21900	26,8	0,433	105600	54563
llenadora	1/0 THW	70	170	7216	13,3	0,562	105600	17978

Nota: para las tablas de evaluación de los conductores las áreas resaltadas en color rojo indican que el conductor no suporta el nivel de cortocircuito.

Evaluación de las protecciones

OBSERVACIÓN GENERAL DE LAS PROTECCIONES EN LAS SALAS DE CONTROL

Tablero línea 1A	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Desembaladora	15	10 awg THW	35	-	OK
Bomba de cerve	20	10 awg THW	35	10	OK
Embalador	40	2*10 awg THW	70	-	OK
llenadora	125	1/0 awg THHN	169	-	OK
pasteurizador	250	250 kcmil THHN	295	250	NO COORDINA
lavadora	350	400 kcmil THHN	399	400	NO COORDINA

Propuesta de remplazo línea 1A					
Alimentador			Corrección		
Pasteurizador			Remplazar int llegada por int 200A		
Lavadora			Remplazar int llegada por int 300A		
Tablero línea 1B	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
ventiladores	35	12 THW	25	30	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Lina tronic	40	8 THHN	55	32	OK
Via cajas	225	250 kcmil THHN	295	250	NO COORDINA
Via botellas	250	250 kcmil THHN	295	250	NO CORRINA
Trx 480/220	50	6 THW	65	-	OK

Propuesta de remplazo línea 1B	
Alimentador	Corrección
ventiladores	Remplazar int salida por int 20A
Via cajas	Remplazar int llegada por int 200A
Via botellas	Remplazar int llegada por int 200A

Tablero línea 2	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Pasteurizador	250	2/0 awg THW	172	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Desembaladores	125	2 awgTHHN	190	80	OK
Llenadora 202	160	2/0 awg THW	172	125	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Llenadora 201	125	2/0 awg THW	172	125	NO COORDINA
Inspector 202	125	2/0 awg THW	172	125	NO COORNINA
Inspector 201	125	2/0 awg THW	172	125	NO COORDINA
Trx 480/220	125	6 awg THW	65	-	NO PROTEJE TRANSFORMADOR
Lavadora	125	2/0 awg THW	172	125	NO COORDINA
Embaladora	125	1/0 awg THW	150	125	NO COORDINA
Reserva	125	-	-	-	

Propuesta de remplazo línea 2	
Alimentador	Corrección
Pasteurizador	Reemplazar int salida por int 125A
Llenadora 202	Reemplazar int salida por int 125A
Llenadora 201	Reemplazar int llegada por int 100A
Inspector 202	Reemplazar int llegada por int 100A
Inspector 201	Reemplazar int llegada por int 100A
Trx 480/220	Reemplazar int salida por int 125A
Lavadora	Reemplazar int llegada por int 100A
Embalador	Reemplazar int llegada por int 100A

Tablero línea 3	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Lavadora	160	2 awg THW	170	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Pasteurizador	250	4/0 awg TTU	263	250	NO COORDINA Y NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Llenadora 301	125	2/0 awg THHN	195	125	NO COORDINA
Llenadora 302	125	2*4 awg THW	170	125	NO COORDINA
Inspector 301	125	2*4 awg THW	170	125	NO COORDINA
Inspector 302	125	2*4 awg THW	170	125	NO COORDINA
Desembaladora	125	2 awg THW	170	125	NO COORDINA
Embaladora	125	2 awg THW	170	-	OK
Vías desembalado	125	2 awg THW	170	125	NO COORDINA
Vías embalado	125	2 awg THW	170	-	OK
Trx 480/220	125	2 awg THW	170		NO PROTEJE TRANSFORMADOR
Vías salida llena	125	1/0 awg THHN	169	100	OK

Propuesta de remplazos línea 3	
Alimentador	Corrección
Lavadora	Remplazar int salida por int 125A
Pasteurizador	Remplazar int salida por int 200A e int llegada 160A
Llenadora 301	Remplazar int llegada por int 100A
Llenadora 302	Remplazar int llegada por int 100A
Inspector 301	Remplazar int llegada por int 100A
Inspector 302	Remplazar int llegada por int 100A
Desembaladora	Remplazar int llegada por int 100A
Vías desembalado	Remplazar int llegada por int 100A
Trx 480/220	Remplazar int salida por int 50A

Tablero línea 4	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Pasteurizador	250	2/0 awg THHN	195	500	NO COORDINA Y NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Lavadora	250	2/0 awg THHN	195	160	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Llenadora 402	160	2/0 awg THHN	195	160	NO COORDINA
Llenadora 401	160	2/0 awg THHN	195	160	NO COORDINA
Desembalador	160	1/0 awg THHN	169	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR

Embaladoras	160	1/0 awg THHN	169	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Rec agua paster	125	10 awg THW	35	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Trx 480/220	125	6 awg THW	65	-	NO PROTEJE TRANSFORMADOR

Propuesta de remplazos línea 4	
Alimentador	Corrección
Pasteurizador	Remplazar int salida por int 150A e int llegada 125A
Lavadora	Remplazar int salida por int 150A e int llegada 125A
Llenadora 402	Remplazar int llegada por int 125A
Llenadora 401	Remplazar int llegada por int 125A
Desembaladora	Remplazar int salida por int 125A
Embaladoras	Remplazar int salida por int 125A
Rec agua paster	Remplazar int salida por int 30A
Trx 480/220	Remplazar int salida por int 50A

Tablero línea 5	protección				Observación
	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Alimentador	125	1/0 awg THW	150	-	OK
Desembalador	125	1/0 awg THW	150	-	OK
Trx 480/220	125	6 awg THW	65	-	NO PROTEJE TRANSFORMADOR
Lavadora	160	1/0 awg THW	150	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Pasteurizador	250	4/0 awg THHN	263	400	NO COORDINA Y NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Extra etiquetas	125	1/0 awg THW	150	-	OK
Vías llena	125	1/0 awg THW	150	-	OK
Llenadora 501	125	4/0 awg THW	263	-	OK (SOBRE DIMENSIONADO)
Vías salida paster	125	1/0 awg THW	150	-	OK
Llenadora 502	125	4/0 awg THW	263	-	OK (SOBRE DIMENSIONADO)
Etiquetadora	125	2*8 awg THHN	110	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR

Propuesta de remplazos línea 5	
Alimentador	Corrección

Trx 480/220	Reemplazar int salida por int 50A
Lavadora	Reemplazar int salida por int 125A
Pasteurizador	Reemplazar int salida por int 200A e int llegada 160A
Etiquetadora	Reemplazar int salida por int 40A

Tablero línea 6A	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Horno A	400	350 awg RHH	370	315	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Via botellas 1y2	200	1/0 awg THW	150	160	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Llenadora A	125	1/0 awg TTU	169	-	OK
Kister A	125	4/0 awg TTU	263	100	OK (SOBRE DIMENCIONADO)
Via de llana A	125	1/0 awg TTU	169	250	NO COORDINA
Trx 480/220	125	6 awg THW	65		NO PROTEJE TRANSFORMADOR
Inspector 601	125	8 awg THHW	55	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Despaletizado	100	4/0 awg TTU	263	125	NO COORDINA
M.E.A.D	63	1/0 awg THW	150	125	NO COORDINA
Transporte paleta	40			/	-
Rinser A	40	10 awg THW	35	/	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Etiquetadora	40	1/0 awg THW	150	/	OK (SOBRE DIMENCIONADO)
Alimen C.I.P	125	6 awg THW	65	/	NO PROTEJE EL CONDUCTOR

Propuesta de remplazos línea 6A	
Alimentador	Corrección
Horno A	Reemplazar int salida por int 300A e int llegada 250A
Via botellas 1y2	Reemplazar int salida por int 125A e int llegada 100A
Vías de llana A	Reemplazar int llegada por int 100A
Trx 480/220	Reemplazar int salida por int 50A
Inspector 601	Reemplazar int salida por int 40A
despaletizador	Reemplazar int llegada por int 80A
M.E.A.D	Reemplazar int llegada por int 50A
Rinser A	Reemplazar int salida por int 30A
Alimentación CIP	Reemplazar int salida por int 50A

Tablero línea 6B	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Horno B	400	350 kcmil RHH	370	315	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Paster	400	4/0 awg TTU	263	250	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Vías botellas 3, 4	200	1/0 awg THW	150	160	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Llenadora B	125	1/0 awg TTU	169	-	OK
Kister B	125	4/0 awg TTU	263	-	OK (SOBRE DIMENSIONADO)
Inspector 602	125	8 awg THHN	55	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Trx 480/220	125	6 awg THW	65		NO PROTEJE TRANSFORMADOR
Rinser B	40	10 awg THW	35	/	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Etiquetadora B	40	1/0 awg THW	150	/	OK (SOBRE DIMENSIONADO)

Propuesta de remplazos línea 6B	
Alimentador	Corrección
Horno B	Remplazar int salida por int 300A e int llegada 250A
Paster	Remplazar int salida por int 200A e int llegada 180A
Via botellas 3y4	Remplazar int salida por int 125A e int llegada 100A
Inspector 602	Remplazar int salida por int 40A
Trx 480/220	Remplazar int salida por int 50A
Rinser B	Remplazar int salida por int 30A

Tablero línea Latas A	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Rinser	20	12 awg THW	25	-	OK
Trx 120	40	6 awg THW	65	/	OK
Trx 220	50	6 awg THW	65	/	OK
No determinado	60	2*10 awg THW	70	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR

Despaletizador	100	4 awg THHN	95	70	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Control línea	400	2x4/0 awg THHN	526	400	NO COORDINA
Alimen C.I.P	125	2 awg THW	170	100	OK
llenadora	110	1/0 awg THW	150	100	OK

Propuesta de remplazos línea latas A	
Alimentador	Corrección
No determinado	Reemplazar int salida por int 50
Despaletizador	Reemplazar int salida por int 70A
Control línea	Reemplazar int llegada 350A

Tablero línea Latas B	protección				Observación
Alimentador	Int. Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
Hi cone B	60	4 awg THHN	95	30	OK
Hi cone A	60	4 awg THHN	95	30	OK
No determinado	100	12 awg THW	25	-	NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Kister A	200	4/0 awg THHN	263	250	NO COORDINA
Kister B	200	2x2 awg THW	340	315	NO COORDINA
Pasteurizador	250	250 kcmil THHN	295	250	NO COORDINA Y NO PROTEJE EL CONDUCTOR
Transporte cajas	50	2x10 awg THW	70	50	NO COORDINA

Propuesta de remplazos línea latas B	
Alimentador	Corrección
No determinado	Reemplazar int salida por int 20A
Kister A	Reemplazar int llegada 180A
Kister B	Reemplazar int llegada 180A
Pasteurizador	Reemplazar int salida por int 225A e int llegada 200A
Transporte cajas	Reemplazar int llegada 40A

Tablero línea PET	protección				Observación
Alimentador	fusible Salida	conductor	Capacidad (A)	Int. llegada	Condición
fusible previo	63	2*8 awg MTW	140	-	OK
cip	63	4 awg THHN	95	100	OK
fusible	63	2*8 MTW	140	-	OK
cargador khs	63	4 awg THHN	95	100	NO COORDINA
etiquetadora	35	8 awg XHHW-2	80	63	NO COORDINA
pester rapido	100	1/0 awg THW	170	80	OK
pasteurizador	250	500 awg TTU	455	200	OK
encajonadora/	200	500 awg TTU	455	200	OK
trasporte envase	160	1/0 awg THW	170	100	OK
reserva	100	1/0 awg THW	170	80	OK
transporte aire	160	1/0 awg THW	170	100	OK
llenadora	100	1/0 awg THW	170	40	OK

Propuesta de remplazos línea PET	
Alimentador	Corrección
Cargador khs	Reemplazar int llegada por int 50A
Etiquetadora	Reemplazar int llegada 20A

ANEXO 4
LEVANTAMIENTO DE LOS TABLEROS

PROYECTO:														TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO													
TABLERO:		Linea 1A				IN. PPAL		SIEMENS		UBICACION:																	
TIPO:		P4				TIPO		NMG		SALA DE CONTROL Y 2.																	
VOLTAJE:		460 / 266 V				POLOS		3																			
No. FASES / No. HILOS:		3F / 5H				AMPS		800																			
AMPS. BARRAS (MIN):		800				VOLTS		600																			
MONTAJE:		Gabinete				KACC		35																			
I(A)	TIPO DE CARGA	TIPO. AISLA	CAL. CABLE	PROT.		C. No.	R	S	T	C. No.	TIPO. AISLA	CAL. CABLE	PROT.	TIPO. AISLA	TIPO DE CARGA	I(A)											
				KAcc	A																						
						1				2			15	14	10 AWG	THW	DESEMBALADORA	10.00									
						3				4			40	14	2X10 AWG	THW	EMBALADOR	28.00									
						5				6				125	25	1/0 AWG	THHN	59.80									
						7				8				250	20	250KCMIL	THHN	132.40									
8.30	BOMBA DE CERVEZA	THW	10 AWG	14	20	9				10																	
						11				12																	
						13				14																	
						15				16																	
						17				18																	
						19				20																	
						21				22																	
						23				24																	
						25				26																	
						27				28																	
74.60	LAVADORA	THHN	400 MCM	30	350	29				30							RESERVA										
ORIGEN DEL ALIMENTADOR:		MEDICION / INT. PPAL												ALIMENTADOR		AP		BANDEJA		3"							
OBSERVACIONES:																											
A.P. (6) 2XF N° 500 MCM AWG THHN + (1) 1XN N° 500 MCM AWG THHN + (1) 1XT N° 2/0 AWG(T)																											
CABLES THHN 90°C																											

TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO					
PROYECTO:	UBICACION: SALA DE CONTROL Y 2				
TABLERO:	Linea 1B	IN.PPAL	SIEMENS		
TIPO:	P4	TIPO	NMG		
VOLTAJE:	460 / 266 V	POLOS	3		
No. FASES / No. HILOS:	3F / 5H	AMPS	800		
AMPS. BARRAS (MIN):	800	VOLTS	600		
MONTAJE:	Gabinete	KACC	35		

I(A)	TIPO DE CARGA	C.	No.	PROT.		CAL. CABLE	TIPO. AISLA	TIPO. THHN	CAL. CABLE	TIPO. AISLA	TIPO. THHN	I(A)
				A	KAcc							
9,60	VENTILADORES	THW	12 AWG	14	35							11,00
66,50	VIA CAJAS	THHN	250KCMIL	20	225							28,80
												37,50

ORIGEN DEL ALIMENTADOR:	MEDICON / INT. PPAL	ALIMENTADOR	AP	BANDEJA	3"
OBSERVACIONES:					
AP_ (6) 2XF Nº 500 MCM AWG THHN + (1) 1XN Nº 500 MCM AWG THHN + (1) 1XT Nº 2/0 AWG(T) CABLES THHN 90°C					

TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO												
PROYECTO:		TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO										
TABLERO:		Linea 2		IN.PPAL		SIEMENS						
TIPO:		?		TIPO		VL630						
VOLTAJE:		460 / 266 V		POLOS		3						
No. FASES / No. HILOS:		3F/5H		AMPS		630						
AMPS. BARRAS (MIN):		800		VOLTS		600						
MONTAJE:		EN CELDA		KACC		35						

PRO+C7+A1:A+A1:AD TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO																					
TABLERO:		Linea 3		IN.PPAL		SACE		UBICACION:												SALA DE CONTROL 3 Y 4	
TIPO:		?		TIPO		S6															

PRO+C7+A1:A+A1:AD TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO																					
TABLERO:		Linea 4		IN.PPAL		SIEMENS		UBICACION:													
TIPO:		?		TIPO		VL800															
VOLTAJE:		460 / 266 V		POLOS		3															
No. FASES / No. HILOS:		3F / 5H		AMPS		800															
AMPS. BARRAS (MIN):		800		VOLTS		600															
MONTAJE:		ENCELDA		KACC		25															
I(A)	TIPO DE CARGA	TIPO AISLA	CAL. CABLE	PROT.		C. No.															
				KAcc	A																
110.30	PASTEURIZADORA	NEOPRENO	2/0 AWG	25	250	1															
						3															
						5															
						7															
						9															
						11															
						13															
57.80	LLEVADORA 402	THHN	2/0 AWG	25	160	15															
						17															
						19															
60.90	DESEMBALADOR	THHN	1/0 AWG	25	160	21															
						23															
						25															
3.17	RECAGUA PASTER	THW	10 AWG	25	125	27															
						29															
ORIGEN DEL ALIMENTADOR:		MEDICION / INT. PPAL																			
OBSERVACIONES:																					
AP: (6) 2XF N° 500 MCM AWG THHN + (1) 1XN N° 500 MCM AWG THHN + (1) 1XT N° 2/0 AWG(T)																					
CABLES THHN 90°C																					

TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO					
PROYECTO:					
TABLERO:	Línea 5	IN.PPAL	SACE		
TIPO:	?	TIPO	S6		
VOLTAJE:	460 / 266 V	POLOS	3		
No. FASES / No. HILOS:	3F / 5H	AMPS	630		
AMPS. BARRAS (MIN):	800	VOLTS	600		
MONTAJE:	ENCEDA	KACC	35		
R S T					
I(A)	TIPO DE CARGA	TIPO. AISLA	CAL. CABLE	PROT. KAcc A	C. No.
47,10	DESEMBALADOR	THW	1/0 AWG	20 125	1 3 5 7 9 11 13 15 17 19 21 23 25 27 29
53,10	LAVADORA	THW	1/0 AWG	22 160	
49,10	EXTRACTOR DE ETIQUETAS	THW	1/0 AWG	20 125	
59,30	LLENADORA 501	PVC	4/0 AWG	20 125	
48,50	LLENADORA 502	PVC	4/0 AWG	20 125	
ORIGEN DEL ALIMENTADOR:		MEDICION / INT. PPAL			
OBSERVACIONES:					
AP: (6) 2XF N° 500 MCM AWG THHN + (1) 1XN N° 500 MCM AWG THHN + (1) 1XT N° 2/0 AWG(T) CABLES THHN 90°C					

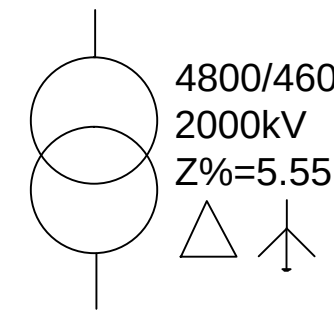
PROYECTO:													TABLEROS ALIMENTADORES DE ENVASADO																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
TABLERO:		Linea 6B			IN.PPAL		MERLIN GERIN																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
TIPO:		?			TIPO		C801																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
VOLTAJE:		460 / 266 V			POLOS		3																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
No. FASES / No. HILOS:		3F / 5H			AMPS		800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
AMPS. BARRAS (MIN):		800			VOLTS		600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
MONTAJE:		EN CELDA			KACC		35																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
I(A)	TIPO DE CARGA	TIPO. AISLA	CAL. CABLE	PROT.		C. No.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
				KAcc	A																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
107,40	HORNO B	RHH	350KCMIL	30	400	1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						

PROYECTO:										ALIMENTADORES DE ENVASADO									
TABLERO:				Linea LataIs A				IN.PPAL		SIEMENS									
TIPO:				P4				TIPO		NMG									
VOLTAJE:				460 / 266 V				POLOS		3									
No. FASES / No. HILOS:				3F / 5H				AMPS		800									
AMPS. BARRAS (MIN):				800				VOLTS		600									
MONTAJE:				ENCELDA				KACC		35									
I(A)		TIPO DE CARGA		TIPO. AISLA		CAL. CABLE		PROT. KAcc A		C. No.									

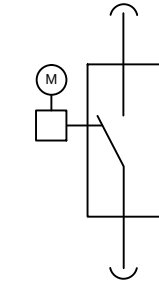
[illegible]

PROYECTO:		ALIMENTADORES DE ENVASADO									
TABLERO:		Linea P.E.T		IN.PPAL		MOELLER					
TIPO:				TIPO		NZM 4					
VOLTAJE:		460 / 266 V		POLOS		3					
No. FASES / No. HILOS:		3F/5H		AMPS		1000					
AMPS. BARRAS (MIN):		?		VOLTS		460					
MONTAJE:		ENCELDA		KACC		50					

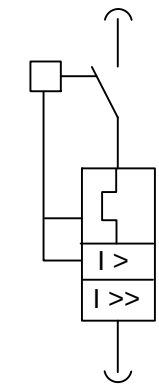
LEYENDA



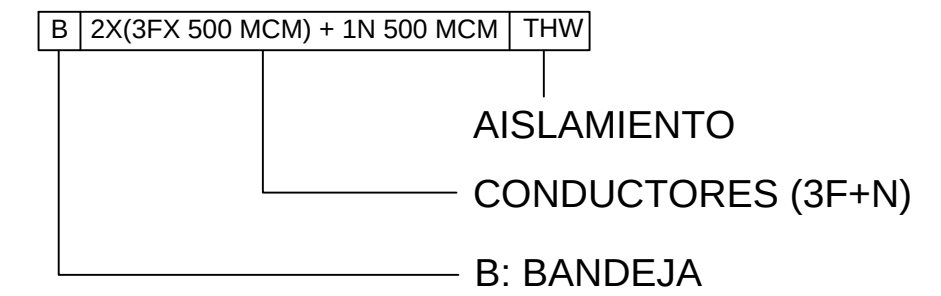
MARCA : GEAFOL
TIPO : SECO
kVA : 2000
IMPEDANCIA : 5.55
FRECUENCIA : 60Hz
CONEXIÓN : Dyn5



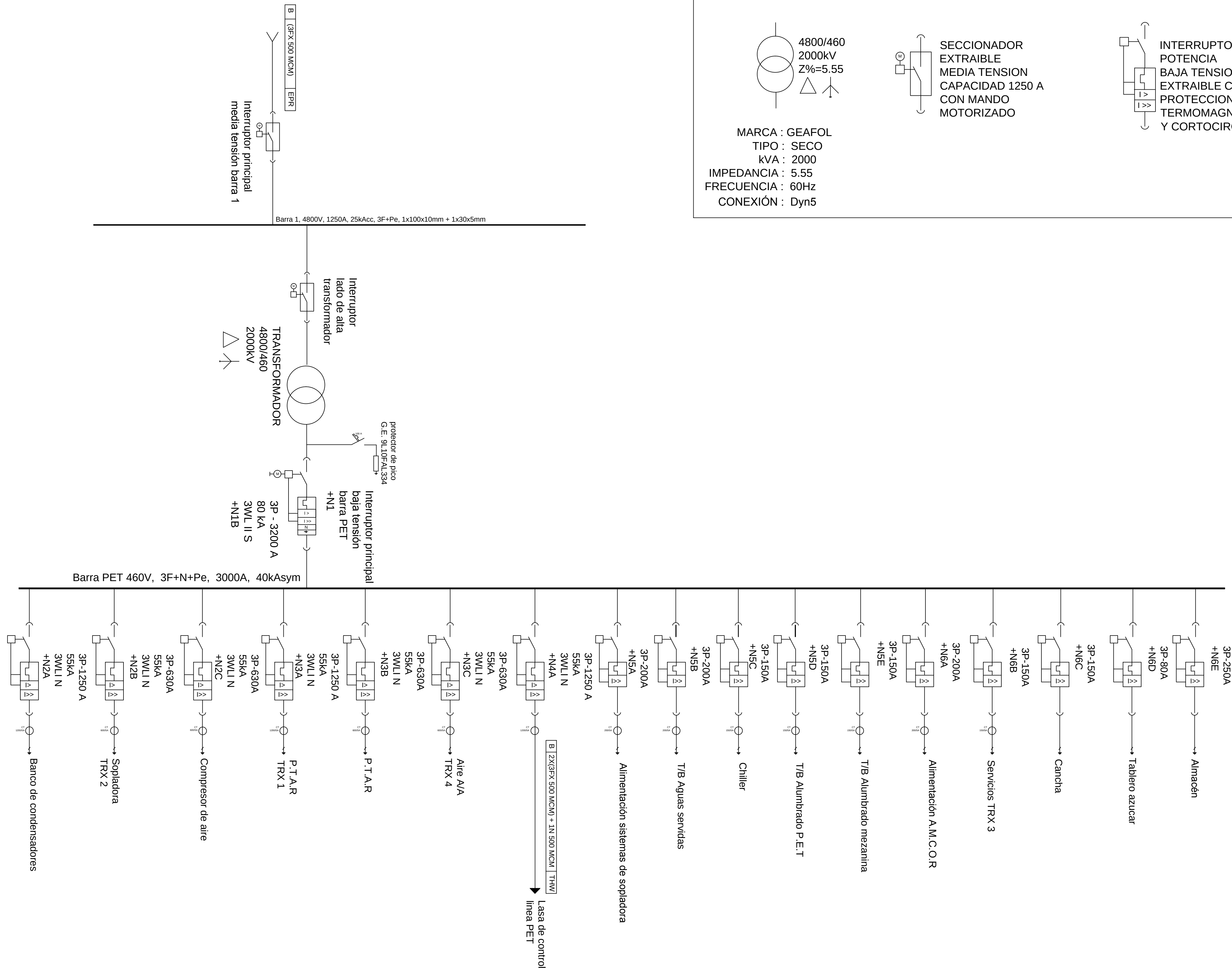
SECCIONADOR
EXTRAIBLE
MEDIA TENSION
CAPACIDAD 1250 A
CON MANDO
MOTORIZADO



INTERRUPTOR DE
POTENCIA
BAJA TENSION
EXTRAIBLE CON
PROTECCION
TERMOMAGNETICA
Y CORTOCIRCUITO



3P - #### A — CORRIENTE NOMINAL
kA — CORRIENTE CORTOCIRCUITO
3WL1 — MODELO
+N## — UBICACIÓN EN CELDA

[illegible]

CODIGO ARCHIVO AUTOCAD:
FECHA DE PLOTEO:

ESCALA DE PLOTEO:

CONTRATO:

1992

ANEXO 6
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL EQUIPO DE
MEDICIÓN

Type series	MC 7000-3
Operating voltage	110...230 V~, +/-15%, 50 / 60Hz
Measuring voltage (3-phase)	3x 30...440 V~ (L-N); 50 / 60Hz 3x 50...760 V~ (L-L); 50 / 60Hz
Measuring current (3-phase)	30 / 300 / 3000A; 50 / 60Hz with "MiniFlex" flexible current clamps
Power consumption	< 5 VA
Operation and display	
Menu languages	D / E / ES / RU / TR
Display	Illuminated full graphic display 128x64 dot
Display functions	
Display of grid parameters	3-phase
as real value / % / bar chart	cos-Phi, V, I, f, Q, P, S, THD-V, THD-I
Large display of 3 grid parameters	Selection via display-editor
Display of harmonics	3. - 51.harmonics of V and I Display also as bar graph
Osci-Mode	Possible
Precision	Current / voltage: 1% Active, reactive, apparent power: 2%
Integrated help function	Context depending, plain text
Recording / Memory functions	
Storing of all grid parameters on SD-Card according to the adjusted measuring interval	3-phase cos-Phi, V, I, f, Q, P, S, THD-V, THD-I single harmonics of V and I, energy
Storage media	SD-Memory card (in delivery)
Measuring interval	1 / 10 / 60 sec. / 15 min.
Total recording time per file per measuring interval 1 / 10 / 60 sec.	18 hrs. / 7 days / 48 days / 720 days
Additional storage of maximum values in the internal memory of a device	Voltage, current, active-, reactive-, apparent power, THD-V, THD-I
Error storage	Error register with time stamp
Others	
Casing	Dimension 390 x 310 x 147mm (outside)
Weight	appr. 4 kg
Operating ambient temperature	-10 ... +50°C
Storage temperature	-20 ... +60°C
Degree of pollution	2
Over voltage category	CAT III
Protection class according to IEC60529	IP 40
Protection class	I
Safety standards	IEC 61010-1:2001; EN 61010-1:2001
EMV-resistance	IEC 61000-4-2:8kV; IEC 61000-4-4:4kV

ANEXO 7
CURVA DE DAÑO DE TRANSFORMADORES

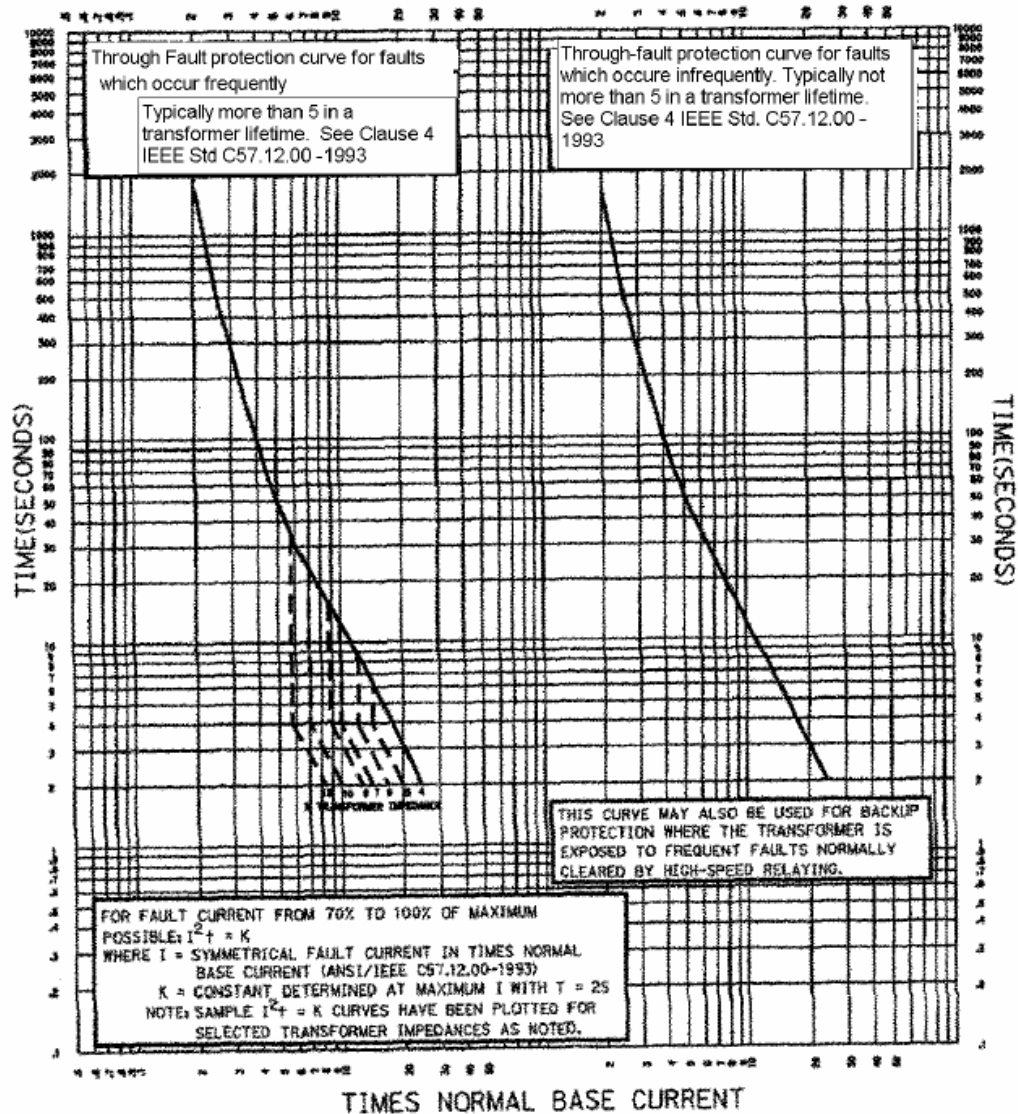


Figure A.2: Category II Transformers:
501-1,667 kVA single-phase;
501-5,000 kVA three-phase