

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de ingeniería en electricidad y
computación**

“Estudio y análisis del balanceo de cargas para la
mejora de producción eléctrica en la planta de
Duragas S.A Pifo-Sangolquí”

PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

Ingeniero en electricidad

Presentado por:

Anderson Alexander Carrión Macías

Gabriel Andrés Cabrera Rivas

GUAYAQUIL-ECUADOR

AÑO:2022

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mi madre Verónica Macías y a mi padre Jefferson Carrión por el apoyo incondicional durante mi etapa estudiantil, quienes fueron un pilar fundamental en mi formación como profesional; a mis hermanos Mateo, Andrea, y Natalia, por estar pendiente de mí y brindarme su apoyo a lo largo de mi carrera universitaria. También una dedicación especial para mi abuela Juana Tobar, quien fue la persona que estuvo presente en los momentos más importantes, y que con la ayuda de su motivación nunca pude rendirme para alcanzar este objetivo.

Anderson Alexander Carrión Macías

DEDICATORIA

Quiero dedicar mi proyecto final de tesis a mi mamá, Julia Rivas, que a pesar de las dificultades siempre estuvo ahí para apoyarme, aconsejándome y dándome fuerzas cuando sentía que no podría finalizar mis estudios. A mi papá, Rómulo Cabrera, que siempre fue un apoyo en momentos importantes. A mi hermano, David Cabrera, por motivarme a ser una mejor persona y darle un buen ejemplo a seguir. Y finalmente, a mi abuelita, Alejandrina Reinoso, por ser tan amorosa conmigo y estar presente en los momentos más significativos en mi vida.

Gabriel Andrés Cabrera Rivas

AGRADECIMIENTOS

Mis más profundos agradecimientos:

A mi madre, mi padre y hermanos, por brindarme el apoyo y sus guías necesarias para culminar mi carrera, quienes supieron aconsejarme, y apoyarme de manera incondicional.

A mi novia Arianna Pazmiño por ser mi soporte y compañera en la etapa final de mi carrera, y por darme la fuerza necesaria mediante sus motivaciones para poder culminar satisfactoriamente la carrera.

A mis amigos de toda la vida, Douglas Morán, y Angello Sánchez, por sus consejos y amistad a lo largo de toda mi formación profesional. De igual manera, un agradecimiento especial a Joel Loayza por apoyarme durante la carrera y brindarme su amistad.

Anderson Alexander Carrión Macías

AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos más sinceros:

A mis padres y hermano, por ser un soporte fundamental en mis peores momentos, estar conmigo a lo largo de mi vida llenándome de amor y enseñándome valores y buenas costumbres. Al resto de mi familia, por darme ánimo y consejos de vida que espero terminar aplicándolos.

Y a mis amigos, los del colegio y universidad, que siempre estuvieron en los buenos y malos momentos, fueron un excelente grupo en mi etapa estudiantil y espero lo sigan siendo en mi vida profesional.

Gabriel Andrés Cabrera Rivas

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Anderson Alexander Carrión Macías y Gabriel Andrés Cabrera Rivas damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”



Anderson Alexander Carrión Macías



Gabriel Andrés Cabrera Rivas

EVALUADORES

Ing. Ángel Andrés Recalde Lino
PROFESOR DE LA MATERIA

Ing. Héctor Antonio Plaza Vélez
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

Uno de los principales problemas que afectan en la operación de los sistemas eléctricos en los sectores industriales son los denominados “desbalances de cargas” que se generan a partir de una mala planificación y distribución de las cargas en los tableros eléctricos. Este fenómeno baja la confiabilidad del sistema, además de hacerlo más susceptible a cambios en su operación; por otro lado, este desbalance genera pérdidas energéticas y no permite que los equipos conectados operen de manera óptima.

Justamente esta problemática se presenta en la planta Duragas – Pifo, donde existió un desbalance considerable en las cargas por línea, provocando una baja tolerancia a cambios y deteniendo la operación de la empresa debido a picos de corriente derivados de este efecto, por lo que se evaluó el contexto del sistema y se confirmó que realizar un balance de las cargas es una solución rentable a este inconveniente.

Para la aplicación de la solución estudiada, se identificó las principales modificaciones que se realizó para facilitar el balance de cargas, además de hacer un estudio de los equipos implementados para encontrar el balance óptimo entre las fases, siendo los equipos monofásicos y bifásicos los de mayor atención, una vez culminado esta implementación se verán reducidos las horas de interrupción por fallas en el sistema y se obtiene un circuito más confiable y resistente a perturbaciones, todo esto a un minimizado costo.

Palabras claves: Desbalance de cargas, planificación, distribución, picos de corriente, confiabilidad, monofásico, bifásico.

ABSTRACT

One of the main problems that affect the operation of electrical systems in industrial sectors are the so-called "load imbalances" that are generated from poor planning and distribution of loads in electrical panels. This phenomenon lowers the reliability of the system, in addition to making it more susceptible to changes in its operation; on the other hand, this imbalance generates energy losses and does not allow the connected equipment to operate optimally.

This problem occurs precisely in the Duragas - Pifo plant, where there was a considerable imbalance in the loads per line, causing a low tolerance to change and stopping the operation of the company due to current peaks derived from this effect, for which reason evaluated the system context and confirmed that load balancing is a cost-effective solution to this issue.

For the application of the solution studied, the main modifications that were made to facilitate the balance of loads were identified, in addition to making a study of the equipment implemented to find the optimal balance between the phases, with single-phase and two-phase equipment being the most attention, once this implementation is completed, the hours of interruption due to system failures will be reduced and a more reliable and disturbance-resistant circuit will be obtained, all this at a minimized cost.

Key words: Load imbalance, planning, distribution, current peaks, reliability, single-phase, two-phase.

ÍNDICE GENERAL

ABREVIATURAS	VI
SIMBOLOGÍA.....	VII
CAPÍTULO 1	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	2
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.4 MARCO TEÓRICO.....	3
1.4.1 Definición del GLP	3
1.4.2 Impacto comercial del GLP en el Ecuador	4
1.4.3 Oferta y demanda del GLP	5
1.4.4 Proceso de distribución de la planta.	6
1.4.5 Conceptualización de balance, balanceo o equilibrio de cargas	7
1.4.6 Analizador de redes.....	8
1.4.7 Conexiones típicas de transformadores.	11
1.4.7.1 Conexión estrella-estrella o Y-Y del transformador	11
1.4.7.2. Conexión delta-estrella del transformador.....	12
1.4.8 Identificación de equipos monofásicos, bifásicos y trifásicos	13
1.4.9 Identificación de equipos críticos	15
1.4.10 Regulaciones de la ARCONEL	17
1.4.10.1 Regulación No. CONELEC-004/01	17
1.4.10.2 Regulación No. CONELEC-004/02	18
1.4.10.3 Regulación No. CONELEC-053/18	18
1.4.11 Cargas trifásicas balanceadas.	19
CAPÍTULO 2	21
2. Metodología.....	21
2.1 Ubicación de la planta.	21
2.2 Descripción física de los equipos eléctricos de la planta.	22
2.2.1 Acometida principal de media tensión	23
2.2.2 Acometida en baja tensión.....	23
2.2.3 Transformador principal que alimenta a la planta.....	23
2.2.4 Transformador que alimenta a la bomba contra incendio.....	24

2.3	Instalación del analizador de redes.....	25
2.4	Parámetros eléctricos medidos en los puntos estratégicos.....	26
2.4.1	Voltajes de línea a línea.....	27
2.4.2	Voltajes de línea a neutro.....	28
2.4.3	Corrientes de línea.....	29
2.4.4	Potencia activa y potencia aparente.....	30
2.4.5	Factor de potencia.....	31
2.4.6	Consumo de energía activa.....	33
2.5	Nueva carga en la planta Duragas-Pifo.....	35
2.6	Porcentaje de desbalance de corriente.....	35
2.7	Porcentaje de desbalances de voltaje.....	40
2.7.1	Desbalance de voltaje de línea a línea en el punto 1.....	40
2.7.2	Desbalance de voltaje de línea a línea en el punto 2.....	41
2.8	Capacidad de operación actual del transformador de 250 KVA.....	42
2.9	Normativa de trabajo seguro dentro de las instalaciones de Duragas Abastible..	43
2.9.1	Utilización de Andamios.....	44
2.10	Levantamiento de las cargas de Duragas-Pifo (desbalanceado).....	45
2.10.1	Cuadro de carga del panel de control secundario.....	46
2.10.2	Cuadro de carga del panel de la sala de bombas y compresores de GLP ..	47
2.10.3	Cuadro de carga del panel de la nave de mantenimiento de cilindros.....	48
2.10.4	Cuadro de carga de la nave de envasado.....	50
2.10.5	Cuadro de carga del panel de alumbrado perimetral.....	51
2.10.6	Cuadro de carga del tablero de distribución de la bodega de insumos.....	51
2.10.7	Cuadro de carga del panel de bloque administrativo.....	52
2.10.8	Cuadro de carga del panel de sala de espera.....	53
2.10.9	Cuadro de carga del panel del comedor.....	54
2.10.10	Cuadro de carga del panel ducha.....	55
2.11	Modelamiento de la planta en Simulink de Matlab.....	55
2.11.1	Modelamiento de la planta actual.....	56
2.12	Causas que originan el desbalance de corrientes.....	58
2.12.1	Causas principales.....	58
2.12.2	Causas secundarias.....	59
CAPÍTULO 3.....		60
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	60
3.1	Resultados del modelamiento previo al balance.....	60
3.2	Cambios realizados para el balance de cargas.....	60
3.3	Resultados del modelamiento previo al balance.....	62

3.4	Cuadro de cargas del sistema balanceado.....	68
3.4.1	Cuadro de carga balanceado del panel de control secundario.....	68
3.4.2	Cuadro de carga balanceado del panel de la sala de bombas y compresores de GLP	69
3.4.3	Cuadro de carga del panel de la nave de mantenimiento de cilindros.....	69
3.4.4	Cuadro de carga balanceado de la nave de envasado	71
3.4.5	Cuadro de carga balanceado del panel de alumbrado perimetral	72
3.4.6	Cuadro de carga balanceado del tablero de distribución de la bodega de insumos	73
3.4.7	Cuadro de carga balanceado del panel de bloque administrativo	74
3.4.8	Cuadro de carga balanceado del panel de sala de espera.....	75
3.4.9	Cuadro de carga balanceado del panel del comedor	75
3.4.10	Cuadro de carga balanceado del panel ducha	76
3.5	Resultados económicos del proyecto.....	77
3.5.1	Antecedentes del análisis económico	77
3.5.2	Pérdida promedio anual	78
3.6	Simulación de transientes de corriente de un motor de la Planta.	82
CAPÍTULO 4		84
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	84
4.1	Conclusiones	84
4.2	Recomendaciones	85
Bibliografía		86
Apéndices		89

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
FIEC	Facultad de ingeniería en electricidad y computación
BCE	Banco Central del Ecuador
GLP	Gas licuado de petróleo
ARCONEL	Agencia de Regulación y Control de Electricidad
CONELEC	Consejo nacional de electricidad
DCI	Defensa contra incendios
MEM	Ministerio de energía y minas
PD	Panel de distribución

SIMBOLOGÍA

A	Amperios
KV	Kilovoltio
kW	KiloWatts
kVA	Kilovoltamperio
Kg	Kilogramos
us	Microsegundos
ns	nanosegundos
V	voltios
Hz	Hertz
kHz	Kilohertz
MHz	Megahertz
Fp	Factor de potencia

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Sectores de comercialización del GLP en Ecuador	4
Figura 1.2: Proceso de producción de la planta Duragas-Pifo	6
Figura 1.3: Esquematación de balanceo de carga trifásica.	8
Figura 1.4: Analizador de redes trifásico	11
Figura 1.5: Diagrama esquemático de la conexión Y-Y y cableado de un transformador trifásico.....	12
Figura 1.6: Diagrama esquemático de la conexión delta-Y y cableado de un transformador trifásico.....	13
Figura 1.7: diagrama de evaluación y clasificación de equipos críticos.	16
Figura 1.8: Fuente trifásica balanceada con carga conectada en “Y”	19
Figura 1.9: Sistema fasorial de corrientes equilibradas de magnitud de 300 A.	20
Figura 2.1: Ubicación actual de la planta Pifo.....	21
Figura 2.2: Distribución de las plantas de Duragas a nivel nacional	22
Figura 2.3: Banco de transformadores de 250 kVA que alimenta a la planta Pifo.....	23
Figura 2.4: Transformador de 300 kVA que alimenta a la bomba contra incendios	24
.....	24
Figura 2.5: Banco de capacitores instalado en el breaker de 600 A	24
Figura 2.6: Diagrama unifilar simplificado de la Planta Pifo y posición de los analizadores de redes.	25
Figura 2.7: Instalación del analizador de redes en la salida del transformador(imagen referencial de la planta de Santo Domingo).....	26
Figura 2.8: Instalación del analizador de redes en la salida del breaker de 600 A.....	26
Figura 2.9: voltaje de línea a línea en la salida del breaker de 600 amperios	27
Figura 2.10: voltaje de línea a línea en la salida del transformador de 250 KVA	28
Figura 2.11: voltaje de línea a neutro en la salida del breaker de 600 amperios	28
Figura 2.12: voltaje de línea a neutro en la salida del transformador de 250 KVA.....	29
Figura 2.13: corrientes de línea en la salida del transformador de 250 KVA.....	29
Figura 2.14: corrientes de línea en la salida del transformador de 250 KVA.....	30
Figura 2.15: potencia activa y aparente en la salida del breaker de 600 amperios	30
Figura 2.16: potencia activa y aparente en la salida del transformador de 250 KVA	31
Figura 2.17: factor de potencia en la salida del breaker de 600 amperios	32

Figura 2.18: factor de potencia en la salida del transformador de 250 KVA.....	32
Figura 2.19: consumo de energía medido en el punto 1	33
Figura 2.20: consumo de energía medido en el punto.....	34
Figura 2.21: potencia aparente en la salida del transformador de 250 KVA cuando se implementa la carga de 56.25 KVA	35
Figura 2.22: perfil del desbalance de corrientes en la planta Pifo	35
Figura 2.23: Modelo del panel de control secundario con sus cargas.....	57
Figura 2.24: Medición real de las corrientes de fase de la planta de Duragas-Pifo.....	57
Figura 3.1: Balance de cargas del panel ducha.....	63
Figura 3.2: Balance de cargas del panel comedor.....	63
Figura 3.3: Balance de cargas del panel Sala de espera.....	63
Figura 3.4: Balance de cargas del panel Bloque Administrativo	64
Figura 3.5: Balance de cargas del cuarto de bodega de insumos	64
Figura 3.6: Balance de cargas del panel de alumbrado perimetral	65
Figura 3.7: Balance de cargas del panel nave de envasado	65
Figura 3.8: Balance de cargas del panel nave de mantenimiento de cilindros	66
Figura 3.9: Balance de cargas del panel Sala de bombas y compresores de GLP.....	66
Figura 3.10: Balance de cargas del panel de control secundario.....	67
Figura 3.11: Simulación de un motor de inducción de 5 HP.	82
Figura 3.12: Simulación de los picos de corriente de un motor de 5 HP debido al desbalance de cargas.	83
Figura 3.13: Visualización de las corrientes de fase cuando se genera el primer pico de corriente.	83
Figura C.1: Simulación desbalanceada del panel comedor	95
Figura C.2: Simulación desbalanceada del panel comedor	95
Figura C.3: Simulación desbalanceada del panel sala de espera.....	96
Figura C.4: Simulación desbalanceada del panel bloque administrativo.	96
Figura C.5: Simulación desbalanceada del cuarto tablero bodega de insumos.	97
Figura C.6: Simulación desbalanceada del panel de alumbrado perimetral.....	97
Figura C.7: Simulación desbalanceada del panel nave de envasado.	98
Figura C.8: Simulación desbalanceada del panel nave de mantenimiento de cilindros.	98
Figura C.9: Simulación desbalanceada del panel sala de bombas y compresores de GLP.	99

Figura C.10: Simulación desbalanceada del panel de control secundario.	99
Figura D.1: Collage del levantamiento de cargas de la empresa Duragas-Pifo	100
Figura E.1: Diagrama Unifilar de Duragas-Pifo.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Demanda de derivados en millones de barriles	5
Tabla 1.2: Categorías y características típicas de los fenómenos electromagnéticos de un sistema de potencia	8
Tabla 1.3: límites de voltaje con respecto al valor nominal	17
Tabla 1.4: límites para el índice del nivel de voltaje.....	18
Tabla 1.5: Clasificación de los niveles de voltaje.....	18
Tabla 2.1: resultados del voltaje de línea a línea en el punto 1.	27
Tabla 2.2: resultados del voltaje de línea a línea en el punto 2.	28
Tabla 2.3: Potencias aparente y activa máxima, mínima y promedio en el punto 1.	32
Tabla 2.4: Potencias aparente y activa máxima, mínima y promedio en el punto 2.	33
Tabla 2.5: Consumos de energía eléctrica en el punto 1	33
Tabla 2.6: Consumos de energía eléctrica en el punto 2.....	34
Tabla 2.7: Corrientes de fase cuando ocurre el primer pico.	36
Tabla 2.8: Corrientes de fase cuando ocurre el segundo pico.	37
Tabla 2.9: Corrientes de fase cuando ocurre el tercer pico.	39
Tabla 2.10: Resumen de desbalance de corrientes cuando ocurren los 3 picos de corrientes.	40
Tabla 2.11: Resumen de desbalance de voltajes en el punto 1 y 2.	42
Tabla 2.12: Plazo para la corrección para un factor de potencia menor a 0.62	46
Tabla 2.13: Cuadro de carga del panel de control secundario.....	46
Tabla 2.14: Cuadro de carga del panel de la sala de bombas y compresores de GLP.	47
Tabla 2.15: Cuadro de carga del panel de la nave de mantenimiento de cilindros.	48
Tabla 2.16: Cuadro de carga de la nave de envasado.	50
Tabla 2.17: Cuadro de carga del panel de alumbrado perimetral.	51
Tabla 2.18: Cuadro de carga del tablero de distribución de la bodega de insumos.	51
Tabla 2.19: Cuadro de carga del panel de bloque administrativo.	52
Tabla 2.20: Cuadro de carga del panel de sala de espera.	53
Tabla 2.21: Cuadro de carga del panel de sala de comedor.	54
Tabla 2.22: Cuadro de carga del panel ducha.	55
Tabla 2.23: Distribución existente de las corrientes por fase (Desbalanceado)	58
Tabla 3.1: Cuadro de carga balanceado del panel de control secundario.	68

Tabla 3.2: Cuadro de carga balanceado del panel de la sala de bombas y compresores de GLP.....	69
Tabla 3.3 : Cuadro de carga balanceado del panel de la nave de mantenimiento de cilindros.....	69
Tabla 3.4: Cuadro de carga balanceado de la nave de envasado.	71
Tabla 3.5: Cuadro de carga balanceado del panel de alumbrado perimetral.	72
Tabla 3.6: Cuadro de carga balanceado del tablero de distribución de la bodega de insumos.....	73
Tabla 3.7: Cuadro de carga balanceado del panel de bloque administrativo.	74
Tabla 3.8: Cuadro de carga balanceado del panel de sala de espera.	75
Tabla 3.9: Cuadro de carga balanceado del panel de sala de comedor.	75
Tabla 3.10: Cuadro de carga balanceado del panel ducha.....	76
Tabla 3.11: Resumen de las intensidades de fase balanceadas de los tableros	77
Tabla 3.12: Valores promedio de las horas totales de trabajo de los operadores	78
Tabla 3.13: Promedio de ganancias brutas por hora.	78
Tabla 3.14: Promedio de los costos por pérdidas generadas.	79
Tabla 3.15: Promedio de los costos por compra de equipos deteriorados por fallas, mantenimiento y reparaciones	79
Tabla 3.16: Costo de los equipos con mayores inconvenientes eléctricos en la planta.	80
Tabla 3.17: Costo de los equipos con mayor deterioro eléctricos en la planta.....	80
Tabla 3.18: Costo de mantener la planta detenida y el total de correctivos mensuales.	81
Tabla 3.19: Pérdidas económicas por fallas eléctricas mensuales y anuales.	81
Tabla 3.20: Costos totales para la implementación del estudio de balance de cargas.	81
Tabla B.1: Dato técnico de placa de los equipos de Duragas-Pifo	90
Tabla B.2: Información técnica de los equipos de Duragas-Pifo.....	92

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

Las instalaciones eléctricas se estructuran de una serie de equipos y conexiones que interactúan en un circuito para brindar energía de tal forma de obtener provecho para el aumento de la producción y beneficios económicos de las industrias del sector ecuatoriano, entonces de ahí surge la necesidad de tener instalaciones adecuadas para dar mayor confiabilidad, garantía y calidad a los sistemas eléctricos.

La presente investigación se refiere a la reestructuración de las instalaciones de la planta de “Duragas S.A Pifo-Sangolquí”, con el fin de obtener un balance de las fases en el sistema de distribución de la planta. La característica principal del problema es porque actualmente la planta consta con anomalías en varios equipos debido a los picos de corriente que se efectúan, y existen sobrecarga en las fases que conllevan a pérdidas eléctricas.

Este proyecto lo realizamos bajo el interés de mejorar las necesidades domésticas, comerciales e industriales de Duragas, esto a partir de un estudio profundo de las cargas que operan en la planta, distribución por fase de las cargas a través del diagrama unifilar, un nuevo modelo eléctrico, revisión de los equipos instalados tales como los transformadores, generadores, tableros de distribución de carga, tableros de transferencia automática, banco de capacitores y líneas de distribución.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

La industria Duragas es una empresa dedicada al envase y venta del Gas licuado de petróleo (GLP) durante más de 40 años en el sector ecuatoriano, esta empresa tiene la necesidad de aumentar su producción debido al alza poblacional en el Ecuador y por ende su demanda energética. Por conocimiento general, los equipos junto con el sistema eléctrico tienen un cierto tiempo de vida útil, por lo que es importante mantener el equilibrio y el control entre la producción y la eficiencia del proceso, y balance para el envasado del producto de tal manera de distribuir la producción de manera equitativa y eficiente a través de las líneas. En la planta Pifo-

Sangolquí correspondiente a esta empresa se describen problemas de picos de corrientes, donde un estudio previo determina que hubo los siguientes tres eventos:

- Martes, 16-08-2022, 12:37 /583.04 Amperios
- Miércoles, 17-08-2022, 11:56 /608.40 Amperios
- Miércoles, 17-08-2022, 12:42 /576.20 Amperios

Estos acontecimientos crean sobrecargas de las líneas y desbalance de las cargas, lo que provoca daño a los equipos y a la red en general, entonces los problemas de esta planta requieren minimizar los daños, los tiempos y entregas de producción, y los costos altos por mantenimiento o recuperación de equipos industriales.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La actividad de la planta de Duragas contempla picos de corriente, lo que podría causar perturbaciones en las instalaciones, deterioros permanentes en los equipos eléctricos tales como el sobrecalentamiento de los transformadores, pérdida de eficiencia de los generadores o motores por el esfuerzo mecánico, sobrecargas de las fases, generación de armónicos y fluctuaciones constantes de voltaje y corriente. El problema podría empeorar si los picos de corriente que actualmente duran menos de 2 minutos se producen de forma permanente, lo que desembocaría en un blackout total del sistema de producción de gas. Entonces, el proyecto justifica el problema de tal manera que se realice el balance de las cargas para tener un mayor aprovechamiento del suministro eléctrico por fases, a partir del estudio de los parámetros eléctricos de las líneas.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- Mejorar el proceso de producción de la planta Duragas S.A Pifo-Sangolquí mediante el balanceo de las cargas, para minimizar sus costos, aumentar la vida útil de los equipos de la red eléctrica, disminuir sobrecargas o picos de corriente de las líneas y reestructurar las instalaciones del lugar.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las principales anomalías de la planta de Duragas a través de un levantamiento eléctrico de las instalaciones actuales.
- Realizar un estudio del balanceo de cargas a partir de Matlab de Simulink para determinar la factibilidad eléctrica de la producción del modelo de balance realizado.
- Identificar los equipos que requieran cambios para mejorar la optimización económica, eléctrica y productiva de la planta Pifo.

1.4 MARCO TEÓRICO

En esta sección se dará definiciones más acertadas acerca del GLP como producción, uso y valoración en la planta de Duragas S.A, además de otras conceptualizaciones necesarias de conocer para comprender como se basa el estudio del balance de cargas en la planta ya mencionada.

1.4.1 Definición del GLP

El gas licuado de petróleo (GLP) es un combustible proveniente de la mezcla de los gases propano (C_3H_8) y butano (C_4H_{10}), comúnmente son utilizado para actividades diarias en el servicio de empresas de gas natural entubado. El propano y el butano son de fácil licuado y transporte con respecto al metano (CH_4), a pesar de que este último puede ser más económico que el GLP; El butano es más propenso a utilizarse en climas templados debido a que tiene un punto de ebullición más alto, por lo que para la fabricación de GLP se utiliza en menor proporción; el propano por su parte es más utilizado debido a sus propiedades en su estado natural, es decir es inodoro e incoloro, además de que es más liviano que el butano[1].

Así el GLP se ha vuelto un combustible elemental en la producción, envasado y distribución debido a sus características favorables en el proceso de licuado a una temperatura y presión normal.

1.4.2 Impacto comercial del GLP en el Ecuador

Según el reporte del sector petrolero del Banco Central del Ecuador, la demanda de los derivados en el Ecuador fue de 22,68 millones de barriles, donde el GLP tuvo una demanda de 3,61 millones de barril, es decir una demanda importante solo por debajo de la gasolina y el Diesel [2]

Ecuador produce 12 derivados de petróleo actualmente, gran parte de esta producción se concentra en el Diesel Premium, Diesel 2, Fuel Oil #4, Fuel Oil #6 y GLP, mientras que el produce en su minoría Jet Fuel, Nafta base 90, Aerosol Oil, Absorver, Solventes, Asfalto, Pesca artesanal y residuo. A continuación, en la **figura 1.1**, se muestra como es usado el GLP en el Ecuador, donde a primera vista el uso doméstico tiene mayor dominio en el uso de este combustible.

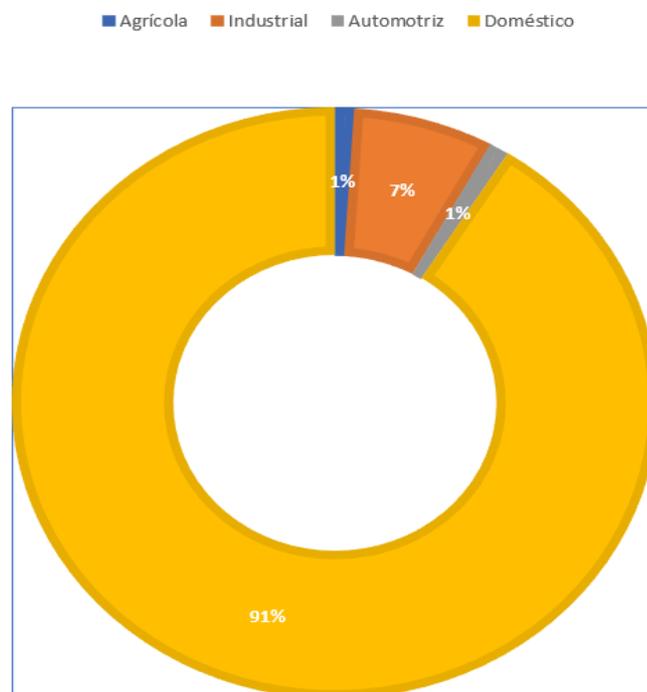


Figura 1.1: Sectores de comercialización del GLP en Ecuador [2]

La demanda de GLP durante el año 2020 tuvo un bajón considerable debido a la crisis de la pandemia de la COVID-19, en el año 2020 fue de 8,90 millones de barriles, mientras que en el 2021 tuvo un aumento a 14,87 millones de barriles, se prevé que en el 2022 la demanda podría aumentar. Los datos estadístico-proporcionados por el BCE determinan que la gasolina representa el 30.35%, el Diesel el 36.52%, el GLP el 15.91% y Otros* el 17.23% de la demanda total en el Ecuador [2]

La **tabla 1.1** muestra como la demanda de los derivados desde el primer trimestre del 2020 hasta el primer trimestre del 2022, esta sirve como referencia para conocer el impacto de consumo de los combustibles.

Tabla 1.1: Demanda de derivados en millones de barriles [2]

Trimestre-año	GASOLINA	DIÉSEL	GLP	OTROS*	TOTAL
I Trimestre 2020	6,52	7,50	3,37	2,50	19,89
II Trimestre 2020	3,63	5,02	3,18	1,26	13,09
III Trimestre 2020	6,22	7,25	3,65	2,09	19,22
IV trimestre 2020	7,16	8,19	3,72	3,05	22,13
Total 2020	23,53	27,96	13,92	8,90	74,32
I Trimestre 2021	6,77	7,64	3,49	2,88	20,78
II Trimestre 2021	6,66	7,90	3,70	3,60	21,87
III Trimestre 2021	7,45	8,68	3,82	4,06	24,00
IV Trimestre 2021	7,57	8,84	3,85	3,82	24,08
Total 2021	28,45	33,06	14,87	14,35	90,73
I Trimestre 2022	6,88	3,61	3,61	3,91	22,68
Total 2022	6,88	3,61	3,61	3,91	22,68

Nota: * Absorver, Fuel Oil#4, Asfalto, Solventes, Jet Fuel, Avgas, Nafta Base 90, Spray Oil, Pesca Artesanal y Residuo

1.4.3 Oferta y demanda del GLP

En el reporte de la demanda de gasolinas, GLP y electricidad del Ecuador, el autor menciona que “la demanda de GLP, que se utiliza fundamental para consumo residencial, tiene una elasticidad ingreso de 0,54 y una elasticidad precio de -0.16”

[3,p.7] .Esto significa que estadísticamente la demanda de GLP no tendrá un crecimiento muy acelerado, y que como la demanda es inelástica al precio, seguirá existiendo un crecimiento constante mucho más proporcional al consumo del GLP.

1.4.4 Proceso de distribución de la planta.

En el proceso de distribución se presentan las etapas que debe someterse la planta para conseguir la producción del gas, manteniendo las reformas necesarias para el envasado. A continuación, se muestra el proceso gráfico a la que está sometido Pifo:

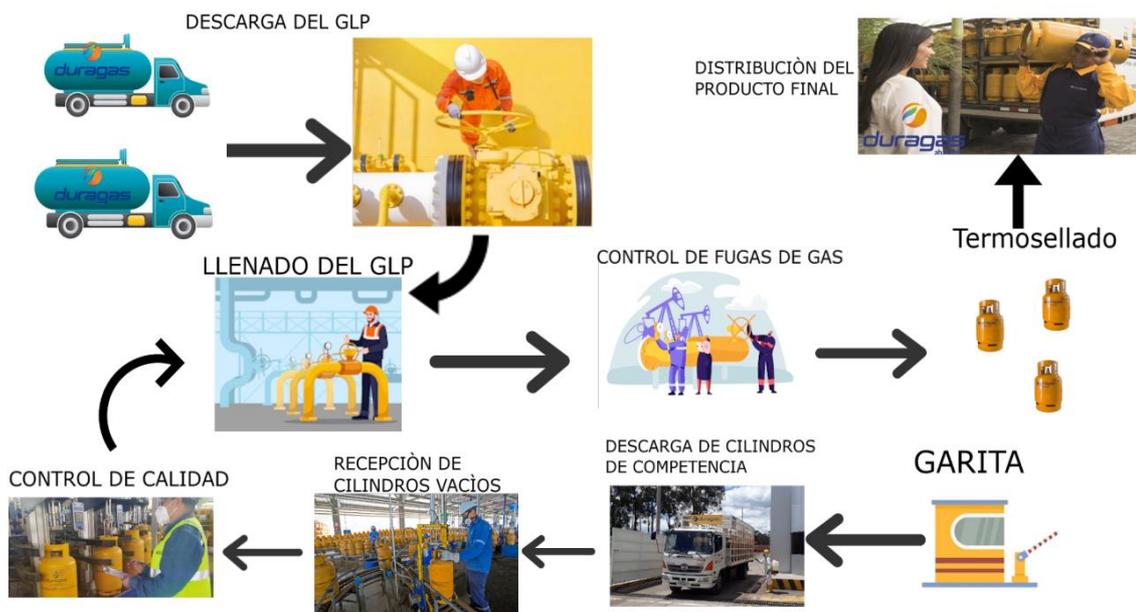


Figura 1.2: Proceso de producción de la planta Duragas-Pifo

El proceso mostrado en la **figura 1.2** es detallado a continuación:

1. El proceso empieza en el ingreso en garita de los vehículos cargados de cilindros vacíos de las empresas Congas S.A y AgipGas S.A.
2. Se descargan los cilindros de competencia desde los vehículos cargados, además de su clasificación.

3. Se realiza la recepción de los envases vacíos para realizar pruebas de selección hacia la maquinaria pertinente para su llenado.
4. Luego, se realiza el control de calidad, donde los cilindros son revisados detalladamente con un riguroso personal de calidad antes de ser llevados al carrusel de llenado.
5. Una vez aprobados y certificados los cilindros, estos son llenados de GLP, luego del proceso previo de transportación y descarga.
6. Después se realiza la prueba de fuga de gas a partir de pruebas hidráulicas de presión, en caso de no presentarse problema el producto avanza hasta el siguiente paso, caso contrario es retirado del proceso para su posterior mantenimiento.
7. Luego, los cilindros pasan por el proceso de sellado por efecto del calor a partir de una termo-selladora que refleja la garantía y calidad del producto de Duragas.
8. Finalmente, los cilindros son colocados, distribuidos, y fijados dentro de los vehículos de repartición, listos para repartirse a los consumidores ecuatorianos.

1.4.5 Conceptualización de balance, balanceo o equilibrio de cargas

El balance de carga es la manera de distribuir equitativamente el flujo de potencia o energía a través de las fases de las líneas que se conducen a través de los alimentadores y subestaciones eléctricas. La distribución de las cargas puede darse a partir de fases únicas, bifásicas y trifásicas, donde en la distribución de carga monofásica no es necesaria emplear esta técnica de balanceo.

El balance de las corrientes de fases que se necesitan equilibrar es un factor crítico para que las líneas tengan una proporción igualitaria de cargabilidad, sin necesidad de debilitar la calidad del suministro de la red de distribución y el desbalance de voltaje en las barras del circuito del sistema de potencia asociado a la red, con el fin de mantener un flujo continuo de productividad en el aprovechamiento de la energía en la planta[4]

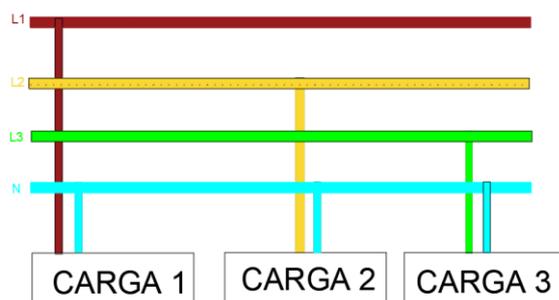


Figura 1.3: Esquematzación de balanceo de carga trifásica.

1.4.6 Analizador de redes.

Los analizadores de redes son instrumentos electrónicos y portátiles importante para el estudio del balanceo de carga, estos son encargados de la medición de parámetros eléctricos como el voltaje de línea a línea, corrientes de líneas, potencia activa y reactiva, factor de potencia, energía eléctrica y distorsiones armónicas en la red. Existen los tipos monofásicos y trifásicos, la utilización de ellos dependerá de la cantidad de líneas sometidas al estudio.

El principal enfoque del analizador de cargas es el estudio de la calidad de la energía, detectando las perturbaciones y fenómenos electromagnéticos mediante la clasificación del estándar IEEE 1159-1995.

Tabla 1.2: Categorías y características típicas de los fenómenos electromagnéticos de un sistema de potencia[5]

Categoría	Contenido típico espectral	Duración típica	Magnitud típica del voltaje
1.0 Transitorios			
1.1 Impulsos			
1.1.1 Nanosegundos	5 ns de elevación	<50ns	
1.1.2 microsegundos	1 ms de elevación	50 ns-1ms	
1.1.3 Milisegundos	0.1 ms de elevación	>1ms	
1.2 Oscilatorios			
1.2.1 Baja frecuencia	<50 kHz	0.3-50 ms	0-4 pu
1.2.2 Frecuencia	5-500 kHz	20 us	0-8 pu
1.2.3 Alta Frecuencia	0.5-5 MHz	5 us	0-4 pu

2.0 Variaciones de corta duración			
2.1 Instantánea			
2.1.1 Sag		0.5-30 ciclos	0.1-0.9 pu
2.1.2 Swell		0.5-30 ciclos	1.1-1.8 pu
2.2 Momentáneas			
2.2.1 Interrupción		0.5 ciclos -3s	<0.1 pu
2.2.2 Sag		30 ciclos-3s	0.1-0.9 pu
2.2.3 Swell		30 ciclos-3s	1.1-1.4 pu
2.3 Temporal			
2.3.1 Interrupción		3s-1 min	<0.1 pu
2.3.2 Sag		3s-1 min	0.1-0.9 pu
2.3.3 Swell		3s- 1 min	1.1-1.4 pu
3.0 Variaciones de larga duración			
3.1 Interrupción sostenida		>1 min	0.0 pu
3.2 Bajo voltaje		>1 min	0.8-0.9 pu
3.3 Sobrevoltaje		>1 min	1.1 -1.2 pu
4.0 Desbalance de voltaje		Estado estable	0.5-2%
5.0 Distorsión de forma de onda			
5.1 Componente de CD		Estado estable	0-0.1%
5.2 Contenido armónico	0-100th H	Estado estable	0-20%
5.3 Inter armónicas	0-6 kHz	Estado estable	0-2%
5.4 Muestras		Estado estable	
5.5 Ruido	Banda ancha	Estado estable	0-1%
6.0 Fluctuaciones de voltaje	<5 Hz	Intermitente	0.1-7%
7.0 Variaciones de frecuencia		<10 s	

El analizador de red determina las perturbaciones detalladas en la **tabla 1.2**, las cuales provocan daños directos a los equipos, déficit del suministro de energía en usuarios y pérdidas económicas. Sin duda alguna, este equipo es una representación importante para el estudio de todas las perturbaciones mencionadas anteriormente y también de las perturbaciones de corriente, voltaje,

potencia y Fp Cabe recalcar que este equipo muestra los valores eficaces de corriente y voltaje de cada línea[6]

La corriente rms que mide el equipo está dado por:

$$I_{eficaz} = \frac{I_{pico}}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\infty} (i(t))^2 dt} \quad (1.1)$$

El voltaje rms que mide el equipo está dado por:

$$V_{eficaz} = \frac{V_{pico}}{\sqrt{2}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{\infty} (V(t))^2 dt} \quad (1.2)$$

Donde:

I_{eficaz} : Corriente rms en amperios

V_{eficaz} : Voltaje rms en voltios

I_{pico} : amplitud de la onda de corriente

V_{pico} : amplitud de la onda de voltaje

$i(t)$: onda de corriente en función de tiempo

$V(t)$: onda de voltaje en función del tiempo

T: periodo en segundos

Por otro lado, para el cálculo de la potencia activa medida en Watts (W), representa la capacidad de crear trabajo por parte de un sistema eléctrico, se emplea la siguiente expresión matemática:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^{\infty} (v(t) * i(t)) dt \quad (1.3)$$

La potencia reactiva, medida en VAR es el caso en el que la corriente esta fuera de fase con respecto a la onda voltaje y corriente, matemáticamente se expresa como:

$$Q = \frac{1}{T} \int_0^{\infty} (v(t - 90^\circ) * i(t)) dt \quad (1.4)$$

La potencia aparente es la suma de las potencia reactiva y activa, se mide en VA y se expresa de la siguiente manera:

$$S = V_{eficaz} * I_{eficaz} \quad (1.5)$$

La energía activa es el trabajo mecánico en función del tiempo, se mide en kWh, esto es:

$$Wh = \int_0^{\infty} (v(t) * i(t))dt \quad (1.6)$$

La energía reactiva es la fuente indispensable para el trabajo de equipos en función del tiempo, se expresa en kVARh, esto es:

$$Qh = \int_0^{\infty} (v(t - 90^\circ) * i(t))dt \quad (1.7)$$

El factor de potencia es un cuantificador de aprovechamiento de energía en la red, es adimensional y se obtiene a partir de la relación de la potencia activa con la reactiva:

$$FP = \frac{P}{S} \quad (1.8)$$

El analizador de redes es un equipo completo para estudiar el comportamiento completo de la red eléctrica, a continuación, se muestra un ejemplo de analizador de redes trifásico de la familia Schneider Electric.



Figura 1.4: Analizador de redes trifásico [7]

1.4.7 Conexiones típicas de transformadores.

1.4.7.1 Conexión estrella-estrella o Y-Y del transformador

Esta conexión hace referencia a que el primario y el secundario del transformador se conectan en estrella. La corriente de líneas es la misma en

cada devanado del transformador, donde la ventaja principal es la de disponer un neutro tanto en alta y baja tensión, de manera que se puede conectar el neutro del primario con la fuente de energía. Esta conexión es importante para mantener un equilibrio entre las cargas trifásicas, ya que si el sistema se encuentra desequilibrado el neutro ayuda a anular armónicos y el desequilibrio de las cargas[8]. Existe una relación de voltaje, entre el primario y el secundario, esto es:

$$\frac{\sqrt{3}V_{\phi p}}{\sqrt{3}V_{\phi s}} = \frac{V_{LP}}{V_{LS}} = a \quad (1.9)$$

Donde:

a: relación de transformación del transformador

V_{LP} : voltaje de línea en el primario

V_{LS} : voltaje de línea en el secundario

$V_{\phi p}$: voltaje de fase primario

$V_{\phi s}$: voltaje de fase secundario

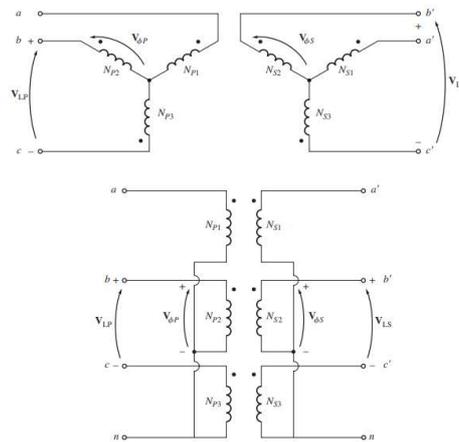


Figura 1.5: Diagrama esquemático de la conexión Y-Y y cableado de un transformador trifásico[8]

1.4.7.2. Conexión delta-estrella del transformador

Esta conexión no tiene problemas en cuanto a los voltajes armónicos, ya que se consumen en el lado de la delta, esta conexión es adecuada también con

respecto a cargas desequilibradas, debido a que la delta redistribuye cualquier desequilibrio de carga que se presente durante la operación del transformador, sin embargo, se presenta un desfase que ocasiona que el secundario este en retraso 30 grados con respecto al primario, lo que provoca problemas en la puesta en paralelo del transformador [8]

La relación de transformación de esta conexión se rige a partir de la siguiente expresión:

$$\frac{V_{\phi p}}{\sqrt{3}V_{\phi s}} = \frac{V_{LP}}{V_{LS}} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (1.10)$$

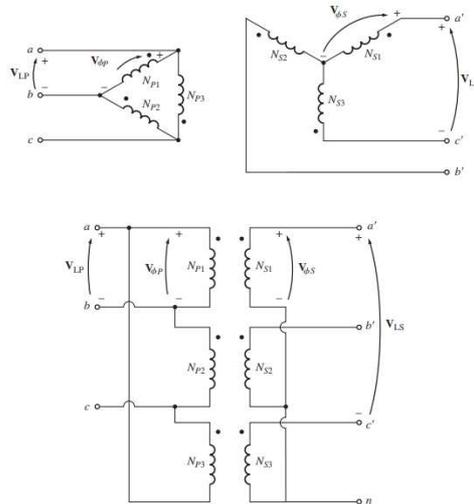


Figura 1.6: Diagrama esquemático de la conexión delta-Y y cableado de un transformador trifásico[8]

1.4.8 Identificación de equipos monofásicos, bifásicos y trifásicos

Los equipos instalados dentro de las instalaciones de la planta Duragas Pifo son de naturaleza monofásica, bifásica o trifásica, esta condición será de suma importancia y hay que tenerla en cuenta al momento de realizar el balance de cargas, ya que dependiendo de su característica se acondicionará de diferente manera.

En gran parte del sector industrial se implementa equipos bifásicos o trifásicos, que permiten alimentar cargas pesadas, mientras que, en áreas de consumo bajo, como en los hogares, se abastece por una fase. No obstante, sin importar su condición, se utiliza corriente alterna para referir unidades, y su diferencia se basa en la fiabilidad de la entrega. Hay diferentes tipos de suministros para los equipos, estos se definen a continuación:

- Suministro en equipos monofásicos: Es un sistema de corriente alterna donde todos los voltajes de suministro cambian simultáneamente, en cada ciclo de voltaje el sistema alcanza un valor pico dos veces, por lo que el poder directo no es estable, las principales aplicaciones de suministro de monofásico se observan en pequeños electrodomésticos. Entre sus principales beneficios está su diseño sencillo, bajo costo, fuente de alimentación CA eficiente hasta los 1000 vatios [9]
- Suministro en equipos bifásicos: En este tipo de suministro se implementa cuando la carga del equipo a alimentar es mayor, se instala una conexión entre dos fases, suministrando hasta 230 V. Entre sus principales beneficios está su capacidad para tolerar más carga que un equipo monofásico, es un sistema que permite la implementación de motores de hasta 5 caballos de fuerza [9]
- Suministro en equipos trifásicos: Este sistema se implementa haciendo uso de cuatro cables, siendo tres conductores, y uno de neutro, los conductores están lejos de a fase y espaciado 120° entre cada uno, es un sistema constante, y cuenta con beneficios como reducir el uso de cobre, además de ser más seguro para el personal técnico cercano a las cargas, y su capacidad de ejecutar cargas de alta potencia [9]

Es de vital importancia tener el cuidado adecuado con el diseño de una fuente de alimentación ya que se tiene que escoger el mejor modelo para una mayor eficiencia y ahorro de costos en su proyecto. Un componente bien diseñado asegura una distribución de energía confiable y robusta.

1.4.9 Identificación de equipos críticos

Para Duragas es de suma importancia determinar la metodología para definir la criticidad de activos y/o equipos que estén bajo su responsabilidad, con la finalidad de su uso en la definición de la estrategia de gestión de inspección y mantenimiento de estos, con el objetivo final de que se garantice su integridad y disponibilidad.

Antes de iniciar el proceso de identificación de equipos críticos, se debe asegurar que se cuenta con un listado integral de todos los equipos de Duragas, que se detallan más adelante. Este listado debe incluir los equipos enmarcados en el alcance de este procedimiento.

La metodología deberá tomar en consideración el análisis de la falla funcional o de severidad crítica, es decir la que manda a paro el equipo, o las fallas que son provocadas por el mecanismo de falla del tipo rotura, que pueda provocar una pérdida de contención de material peligroso [17]

Posteriormente debe evaluarse la severidad de las consecuencias de la falla funcional crítica, valorizarlas en base a los ámbitos de la matriz de consecuencias de Duragas, y posteriormente, junto con la definición de la probabilidad de ocurrencias, ingresar en el correspondiente mapa de calor para su final clasificación en 4 niveles:

- Criticidad A – Alta Criticidad (Rojo)
- Criticidad B – Mediana Criticidad (Naranja)
- Criticidad C - Baja Criticidad (Amarillo)
- Criticidad D - No Crítico (Verde)

Por cada uno de los equipos o activos, se deben analizar los diversos modos de falla que el grupo de trabajo considere adecuados. Para ello, podrá basarse en los históricos de fallas, experiencias de técnicos de mantenimiento, recomendaciones del fabricante, estándares internacionales (como ISO 14224) y otros que se consideren adecuados.

Luego de analizados los diversos modos de fallas, se deberá evaluar la probabilidad de ocurrencia de cada uno de ellos. Para lo cual, el grupo de trabajo

podrá basarse en los históricos de fallas, experiencias de operadores o técnicos, recomendaciones del fabricante, estándares internacionales (Análisis de protección de capas - CCPS; API 581, entre otras) y otras fuentes que se consideren adecuadas.

Una vez realizado este trabajo, se analizarán o evaluarán las consecuencias o severidad con base a la matriz de consecuencias de Duragas en los cinco ámbitos o dimensiones ya establecidas.

Con este resultado, se direccionan los valores a la matriz de riesgos y eso genera la clasificación de riesgo de cada uno de los equipos, utilizando el diagrama que se presenta a continuación. Esta evaluación y clasificación se la realizará en el formulario de clasificación de equipos.

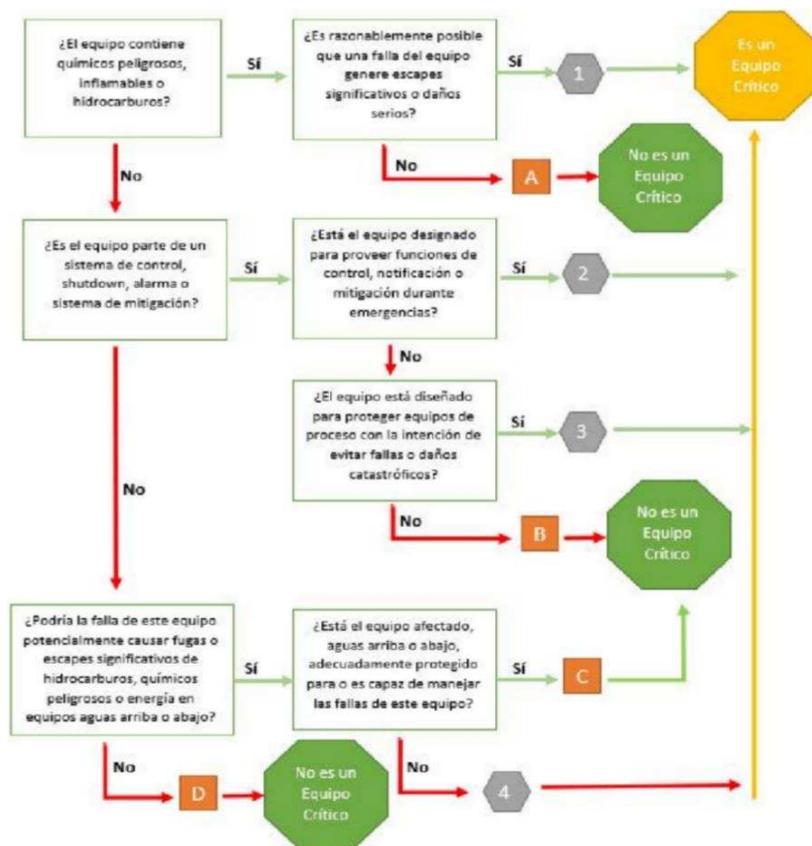


Figura 1.7: diagrama de evaluación y clasificación de equipos críticos.

1.4.10 Regulaciones de la ARCONEL

La ARCONEL tiene como objetivo el regular los procesos técnicos, comerciales, eléctricos, y operativos entre la distribuidora y el consumidor, estas regulaciones emiten indicadores o índices para tener una mayor calidad de la energía por parte de las empresas eléctricas.

1.4.10.1 Regulación No. CONELEC-004/01

El objetivo primordial de esta regulación es “establecer los niveles de calidad de la prestación de servicio eléctrico de distribución y los procedimientos de evaluación a ser observados por parte de las empresas distribuidas”[10]

En el Ecuador, el desbalance límite de acuerdo con la resolución 004/01 es del 7%, por lo que las cargas totales conectadas en las fases de un sistema bifásico o trifásico no deben ser mayor a ese porcentaje regulado.

A continuación, se presenta el detalle del porcentaje de voltaje admitidos con respecto al valor nominal, esto es:

Tabla 1.3: límites de voltaje con respecto al valor nominal [10]

	Subetapa 1	Subetapa 2
Alto voltaje	±7,00%	±5,00%
Medio voltaje	±10,00%	±8,00%
Bajo voltaje en áreas urbanas	±10,00%	±8,00%
Bajo voltaje en áreas rurales	±13,00%	±10,00%

1.4.10.2 Regulación No. CONELEC-004/02

El objetivo principal de esta regulación es “establecer los cumplimientos de las normas de calidad sobre el control en voltaje y potencia activa, por parte de los agentes del MEM en condiciones normales y emergencia”[11]

Por medio de esta regulación se busca tener un mayor control en los flujos de potencia de la empresa de Duragas, respetando los límites eléctricos de los equipos, niveles de voltaje, factor de potencia, suministro de potencia activa, así como los costos de producción de activos y reactivos.

1.4.10.3 Regulación No. CONELEC-053/18

Esta regulación tiene como objetivo “establecer los indicadores, índices y límites de calidad de servicio de distribución y comercialización de energía eléctrica; y, definir los procedimientos de medición, registros y evaluación a ser cumplidos por las empresas eléctricas de distribución y consumidores, según corresponda”[12]

Esta regulación es de cumplimiento obligatorio para la empresa eléctrica y para todos los consumidores regulados y no regulados, en esta regulación también se muestra los límites para el índice del nivel de voltaje.

Tabla 1.4: límites para el índice del nivel de voltaje[12]

LÍMITES PARA EL ÍNDICE DEL NIVEL DE VOLTAJE	
Alto voltaje (Grupo 1 y 2)	±5,00%
Medio voltaje	±6,00%
Bajo voltaje	±8,00%

Tabla 1.5: Clasificación de los niveles de voltaje[12]

NIVELES DE VOLTAJE	
Bajo voltaje	Menor o igual a 0.6 KV
Medio voltaje	Mayor a 0.6 kV y menor o igual a 40 kV
Alto voltaje grupo 1	Mayor a 40 kV y menor o igual a 138 kV
Alto voltaje grupo 2	Mayor a 138 kV

1.4.11 Cargas trifásicas balanceadas.

Una conexión típica de las cargas es la conexión en estrella, en la **figura 1.8** se presenta una fuente trifásica conectada en "Y", y en la que se conecta una carga trifásica en estrella. Las corrientes que circulan por cada impedancia se denominan corrientes de fase o corrientes de línea a neutro, y las corrientes que cruzan entre el generador y la carga se denominan corrientes de línea[13]

Para conocer cada una de las corrientes se asume los siguientes voltajes de fase en secuencia positiva ABD:

$$V_{AN} = V_F < 0^\circ \quad (1.11)$$

$$V_{BN} = V_F < -120^\circ \quad (1.12)$$

$$V_{CN} = V_F < 120^\circ \quad (1.13)$$

Para este caso en particular de la **figura 1.8** las corrientes de fase son iguales a las corrientes de línea, y dada la impedancia "Z" y su ángulo " ϕ ", las ecuaciones para obtener corrientes totalmente balanceadas son las siguientes:

$$I_A = \frac{V_F < 0^\circ}{Z < \phi^\circ} = I_L < -\phi \quad (1.14)$$

$$I_B = \frac{V_F < -120^\circ}{Z < \phi^\circ} = I_L < -120 - \phi \quad (1.15)$$

$$I_C = \frac{V_F < 120^\circ}{Z < \phi^\circ} = I_L < 120 - \phi \quad (1.16)$$

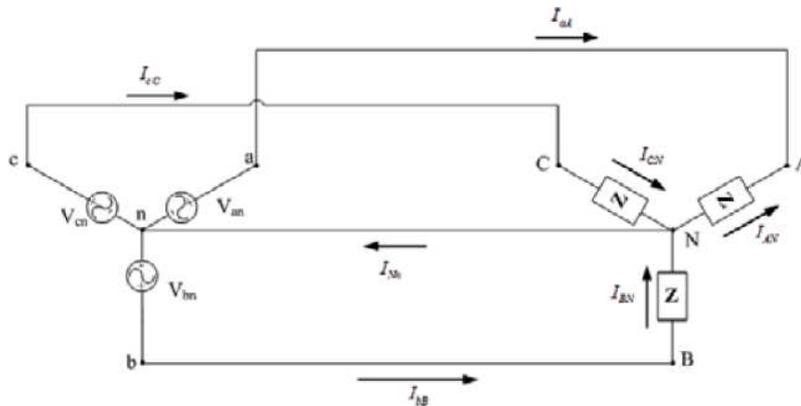


Figura 1.8: Fuente trifásica balanceada con carga conectada en "Y" [13]

Una forma de observar el equilibrio de las corrientes es mediante fasores, en la **figura 1.9** se presenta un sistema balanceado con corrientes de 300 A de magnitud, y los ángulos descritos en las ecuaciones **1.14**, **1.15** y **1.16**. La siguiente imagen representa un sistema ideal, es decir donde el desbalance de las corrientes de fase es nulo.

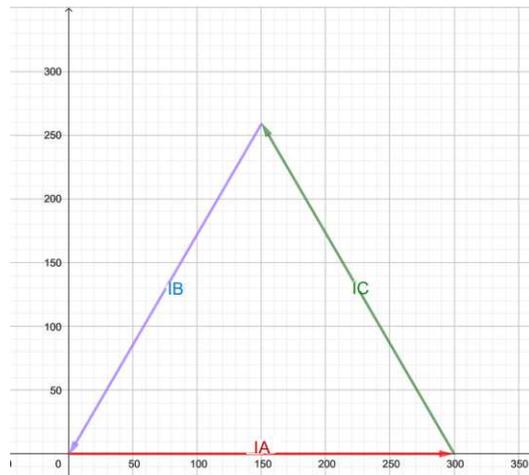


Figura 1.9: Sistema fasorial de corrientes equilibradas de magnitud de 300 A.

CAPÍTULO 2

2. Metodología

En este capítulo se describió todas las fases alternativas para la solución del problema de desbalance que existió en la planta, la metodología aplicada en el proyecto, principios técnicos, normativas, evaluación del problema actual y final de la planta a partir del levantamiento eléctrico, diagrama unifilar, estudio de carga, recopilación de información sobre los parámetros eléctricos en la determinación de las causas de los picos de corriente, identificación de los equipos que generan anomalías en la red, y modelamiento de las cargas con su conexión en cada una de sus fases mediante el software Simulink de Matlab.

2.1 Ubicación de la planta.

La planta se encuentra actualmente ubicada en la vía panamericana, conexión al valle, Quito (km. 13 vía Pifo, Sangolquí). La planta cuenta con los sistemas de transformación, alimentación y distribución.



Figura 2.1: Ubicación actual de la planta Pifo

En Ecuador hay 5 plantas distribuidas en las provincias del Guayas (Planta Guayaquil), Manabí (Planta Montecristi), Santo Domingo(Planta Santo Domingo), El Oro (Planta Bellavista), y Pichincha (Planta Pifo), donde en esta última planta se da nuestro estudio del presente proyecto [14]

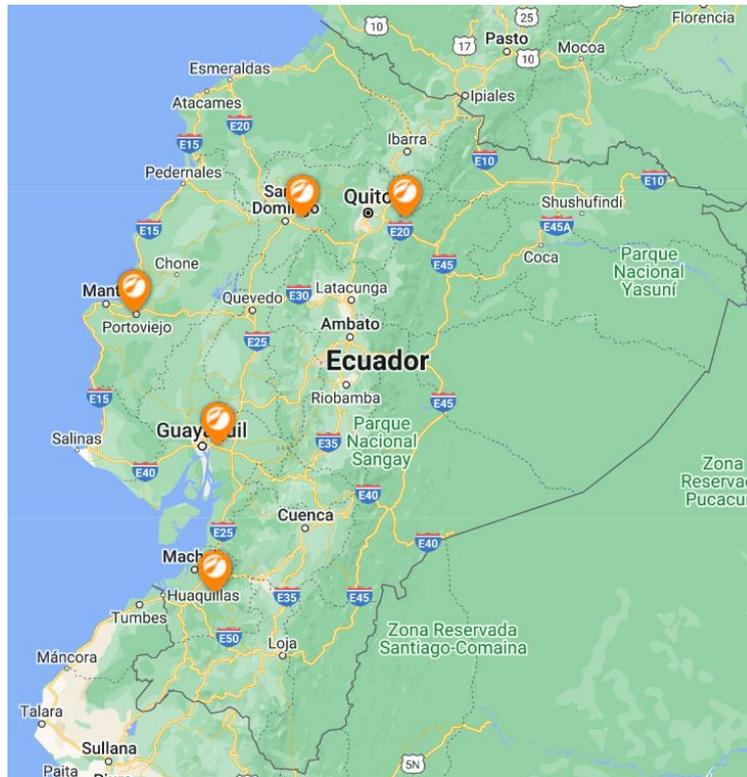


Figura 2.2: Distribución de las plantas de Duragas a nivel nacional

2.2 Descripción física de los equipos eléctricos de la planta.

Actualmente la planta de Duragas Pifo cuenta con los siguientes equipos instalados:

- Banco de transformadores trifásicos principal de 250 KVA, 13.8KV/240 V
- Banco de transformadores trifásico-Padmouted de 300 kVA, 13.8 KV/460 V
- Generador Kohler de 150 KW
- Tablero del centro de carga (Primaria)
- Tablero de transferencia automática
- Tablero de distribución secundaria
- Banco de capacitores

2.2.1 Acometida principal de media tensión

La acometida es de disposición aérea, desde el poste de distribución de CNEL hasta el poste ubicado dentro de la empresa Duragas. Dos transformadores, uno de 250 kVA tipo convencional y otro de 300 kVA tipo Padmounted son alimentados por dos seccionadores a través de un cable rígido de 4" con cable de cobre #1/0 [18]

2.2.2 Acometida en baja tensión.

Para la alimentación en el secundario del transformador principal, se utilizan alimentadores con las siguientes características:

- Para las fases 1, 2 y 3 se emplea un calibre: 3 ternas de conductores de cobre, 4/0 MCM
- Para el neutro, se emplea un calibre de una terna de conductores de cobre, 1/0 MCM

2.2.3 Transformador principal que alimenta a la planta.

El transformador instalado es un banco trifásico, marca magnetrón, año 1998, capacidad de 250 kVA, voltaje en el primario de 13.8 kV y 220/127 V en el secundario, conexión estrella-estrella, derivación +/-2.5 en el Tap 2.



Figura 2.3: Banco de transformadores de 250 kVA que alimenta a la planta Pifo.

2.2.4 Transformador que alimenta a la bomba contra incendio

El transformador instalado es trifásico de tipo Padmounted, marca Inatra, año 2010, capacidad de 300 kVA, voltaje en el primario de 13.8 kV y 460 V en el secundario, conexión estrella-estrella, derivación +/- 2.5 en el tap 5.



Figura 2.4: Transformador de 300 kVA que alimenta a la bomba contra incendios



Figura 2.5: Banco de capacitores instalado en el breaker de 600 A

El banco de capacitores fue instalado con el fin de mejorar el factor de potencia, es decir para mejorar el aprovechamiento de la energía eléctrica. El banco de capacitores fue instalado en la carga del breaker secundario de 600 amperios.

2.3 Instalación del analizador de redes.

Se dejó instalado en dos puntos estratégicos, uno en la salida del transformador de 250 kVA y otro en la salida del breaker de 600 A el cual alimenta al taller mecánico, las bombas de GLP y la nave de envasado del GLP, las mediciones fueron tomadas desde el 13 al 22 de agosto del 2022.

Para el estudio se tomará en consideración la medición de los siguientes parámetros eléctricos:

- Voltaje de línea a línea
- Corrientes de líneas
- Potencia activa
- Potencia aparente
- Factor de potencia
- Consumo de energía

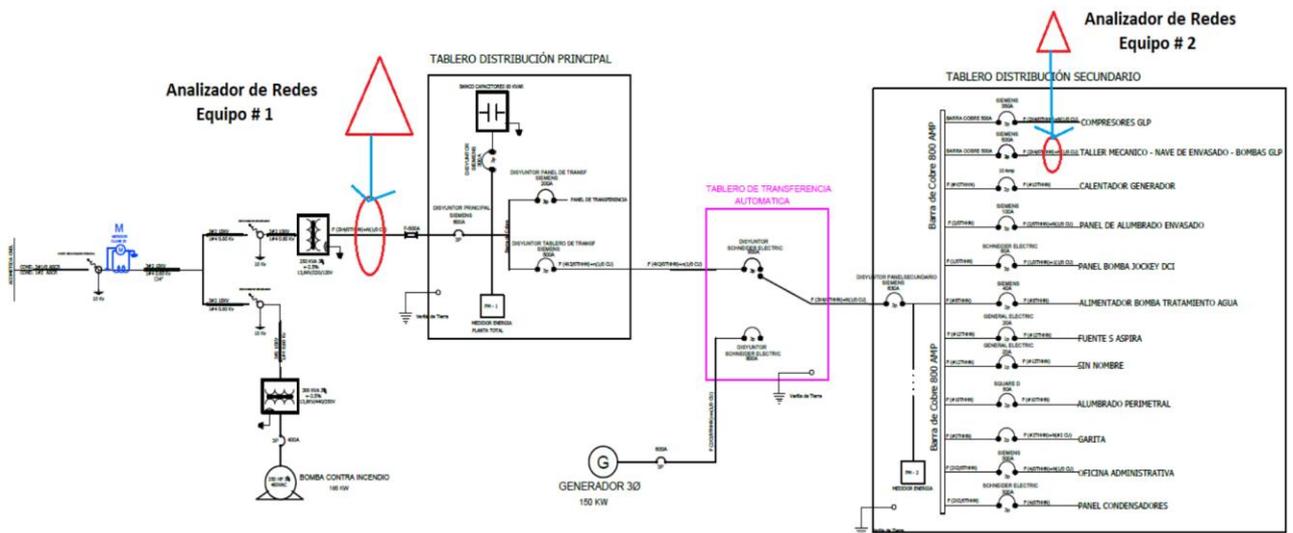


Figura 2.6: Diagrama unifilar simplificado de la Planta Pifo y posición de los analizadores de redes.

A continuación, se muestran las imágenes de la instalación de los analizadores de redes, una herramienta importante para determinar los resultados más relevantes para realizar el balance de cargas.



Figura 2.7: Instalación del analizador de redes en la salida del transformador(imagen referencial de la planta de Santo Domingo)



Figura 2.8: Instalación del analizador de redes en la salida del breaker de 600 A

2.4 Parámetros eléctricos medidos en los puntos estratégicos.

A continuación, se detalla el comportamiento de los parámetros eléctricos en los puntos estratégicos de medición, donde:

Punto 1: hace referencia a la salida del breaker de 600 amperios que alimenta el taller mecánico, nave de envasado y bombas de GLP, en ese punto se instaló el equipo #2 especificado en el diagrama unifilar.

Punto 2: representa a la salida del transformador de 250 kVA, en dicho punto se instaló el equipo #1 representado en el diagrama unifilar.

2.4.1 Voltajes de línea a línea

En esta sección se analizó el voltaje de línea a línea en los dos puntos estratégicos donde fueron instalados los equipos, es decir del 13 al 23 de agosto del 2022.

- **Voltaje de línea a línea en el punto 1.**

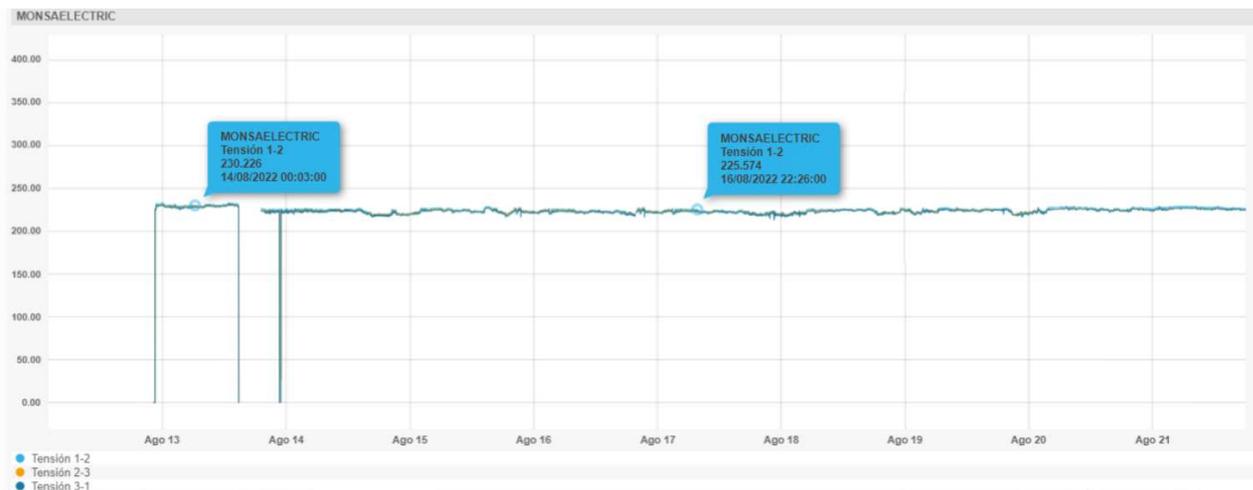


Figura 2.9: voltaje de línea a línea en la salida del breaker de 600 amperios[15]

A partir del comportamiento de las gráficas de voltaje, se tomó nota de los picos de voltaje que ocurrieron en el transcurso de esos días, el voltaje mínimo y el voltaje promedio, la siguiente tabla muestra los datos representativos para el estudio previo del balance de carga.

Tabla 2.1: resultados del voltaje de línea a línea en el punto 1.

	V_{AB}	V_{AC}	V_{BC}
Voltaje máximo	233,59 V	232,48 V	232,11 V
Voltaje mínimo	0 V	0 V	0 V
Voltaje promedio	224,56 V	223,55 V	229,97 V

- Voltaje de línea a línea en el punto 2.

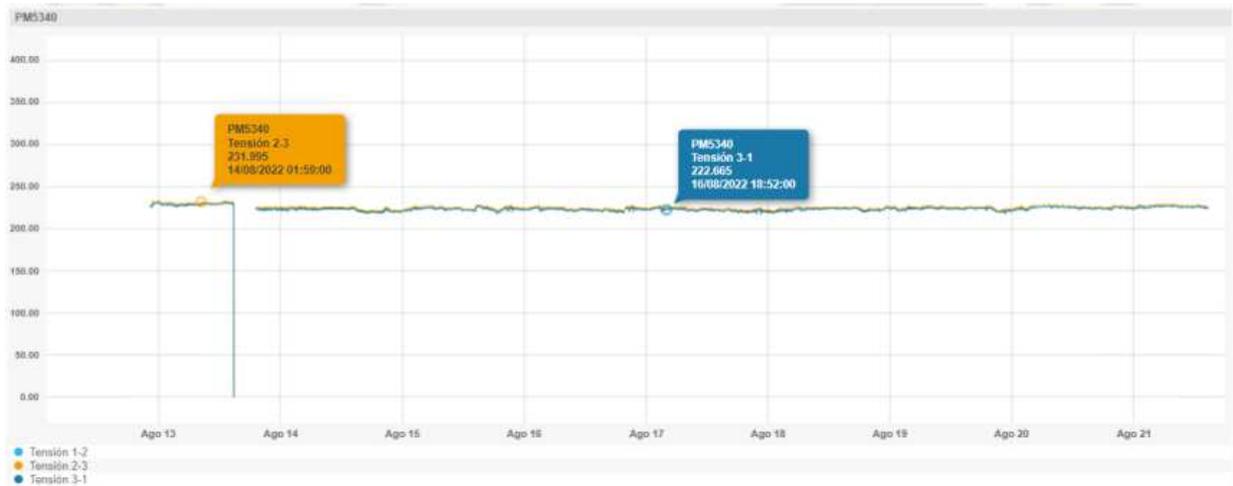


Figura 2.10: voltaje de línea a línea en la salida del transformador de 250 KVA[15]

Tabla 2.2: resultados del voltaje de línea a línea en el punto 2.

	V_{AB}	V_{AC}	V_{BC}
Voltaje máximo	232,04 V	233,74 V	231,74 V
Voltaje mínimo	0 V	0 V	0 V
Voltaje promedio	224,24 V	225,70 V	223,85 V

2.4.2 Voltajes de línea a neutro

- Voltaje de línea a neutro en el punto 1.

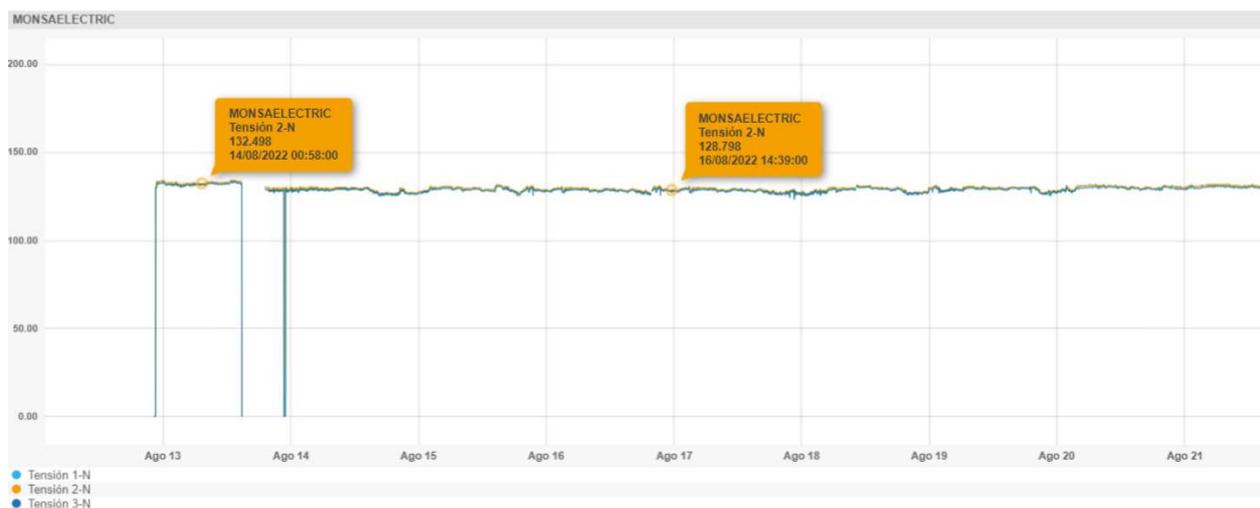


Figura 2.11: voltaje de línea a neutro en la salida del breaker de 600 amperios[15]

- Voltaje de línea a neutro en el punto 2.

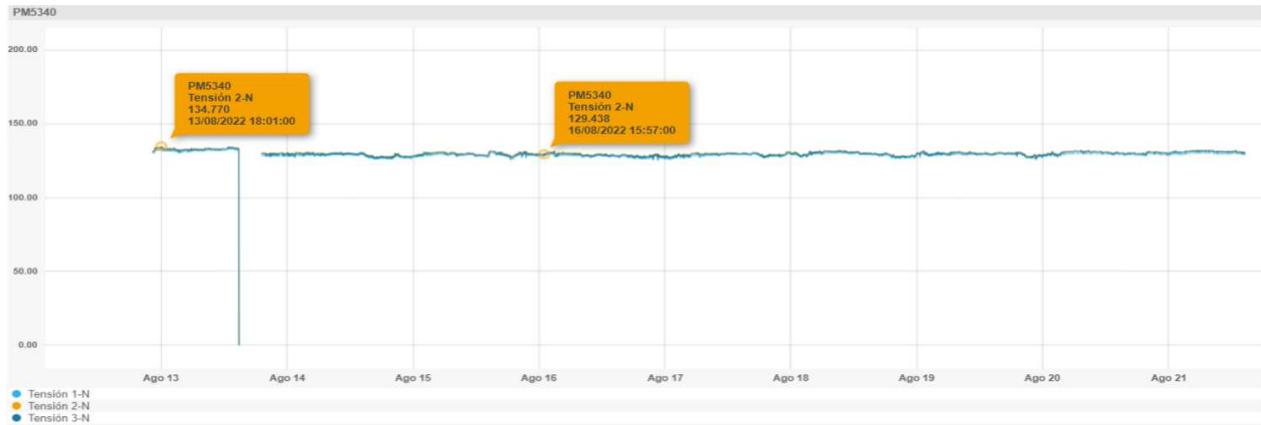


Figura 2.12: voltaje de línea a neutro en la salida del transformador de 250 KVA[15]

2.4.3 Corrientes de línea

- Corrientes de línea en el punto 1.

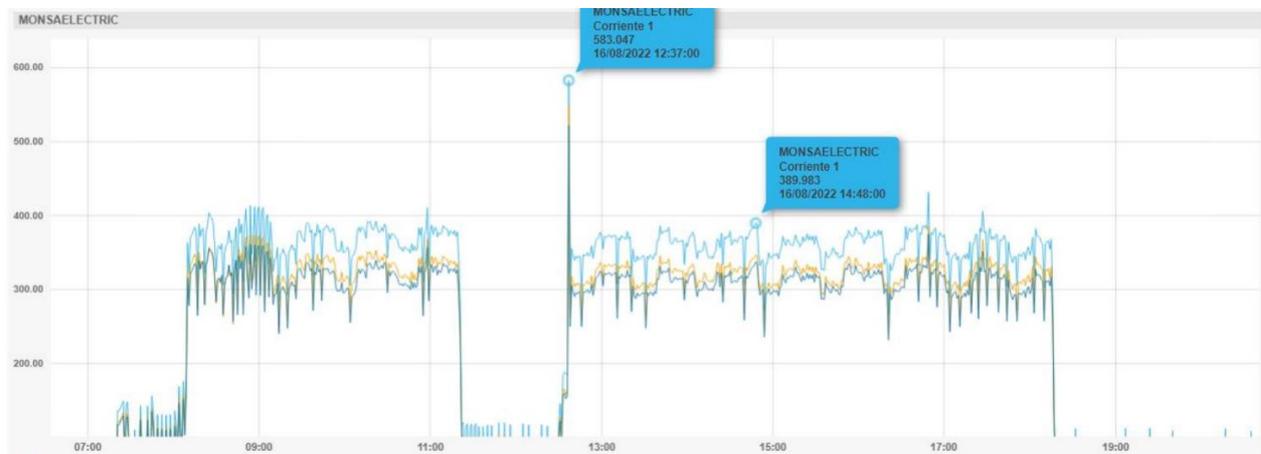


Figura 2.13: corrientes de línea en la salida del transformador de 250 KVA[15]

- Corrientes de línea en el punto 2



Figura 2.14: corrientes de línea en la salida del transformador de 250 KVA[15]

2.4.4 Potencia activa y potencia aparente

- Potencia activa y aparente en el punto 1.



Figura 2.15: potencia activa y aparente en la salida del breaker de 600 amperios[15]

- **Potencia activa y reactiva en el punto 2.**



Figura 2.16: potencia activa y aparente en la salida del transformador de 250 KVA[15]

2.4.5 Factor de potencia

- **Factor de potencia en el punto 1.**

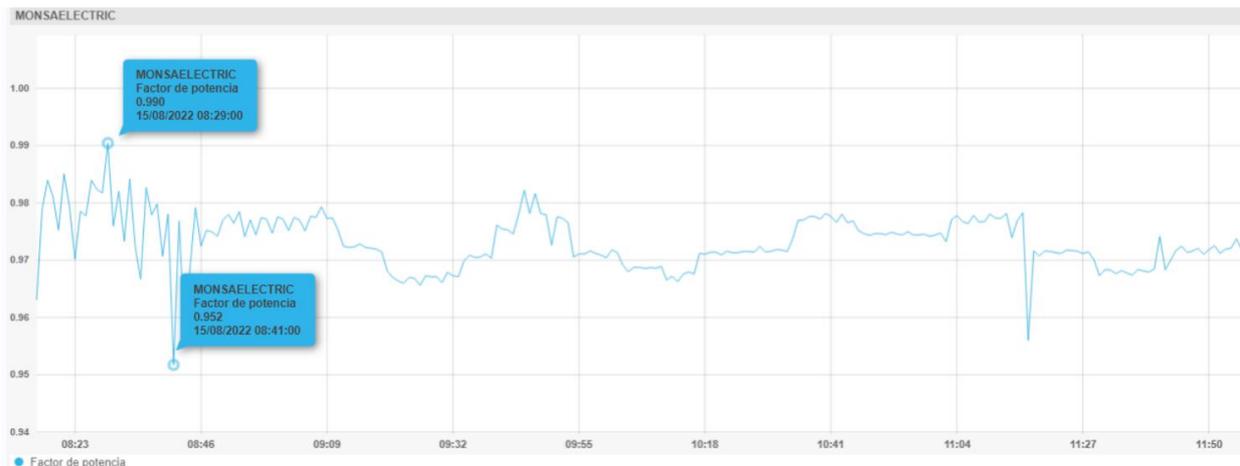


Figura 2.17: factor de potencia en la salida del breaker de 600 amperios[15]

Tabla 2.3: Potencias aparente y activa máxima, mínima y promedio en el punto 1.

	Potencia activa (KW)	Potencia aparente (KVA)
Máximo	210.282	212.526
Mínimo	0	0
Promedio	54.33	56.54

$$FP = \frac{P}{S}$$

$$FP = \frac{210.282 \text{ KW}}{212.526 \text{ KVA}}$$

$$FP = 0.989$$

- Factor de potencia en el punto 2

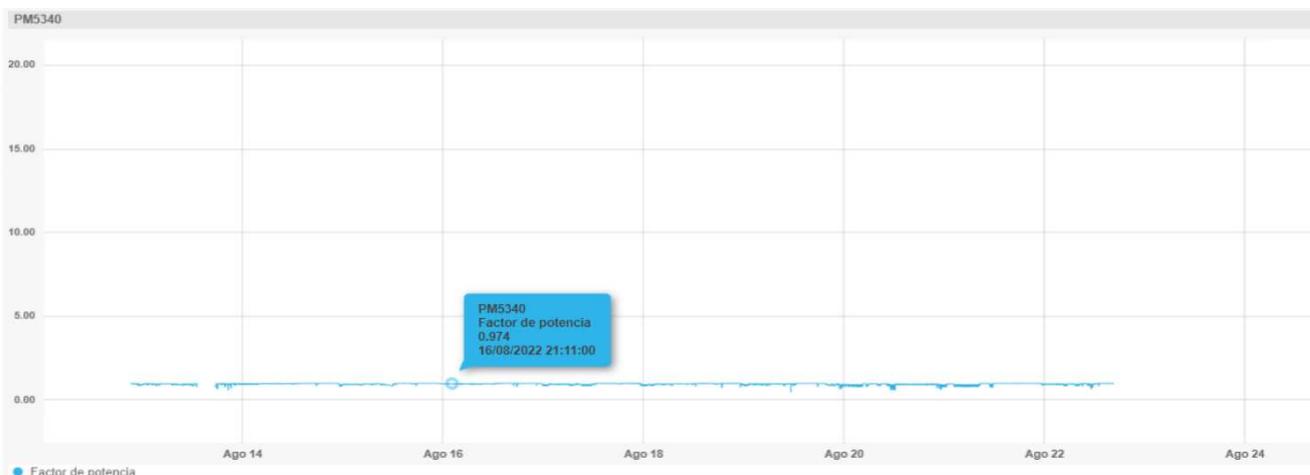


Figura 2.18: factor de potencia en la salida del transformador de 250 KVA[15]

Tabla 2.4: Potencias aparente y activa máxima, mínima y promedio en el punto 2.

	Potencia activa (KW)	Potencia aparente (KVA)
Máximo	198.056	203.616
Mínimo	0	0
Promedio	54.22	57.38

$$FP = \frac{P}{S}$$

$$FP = \frac{198.056 \text{ KW}}{203.616 \text{ KVA}}$$

$$FP = 0.973$$

2.4.6 Consumo de energía activa.

- Consumo de energía en el punto 1.

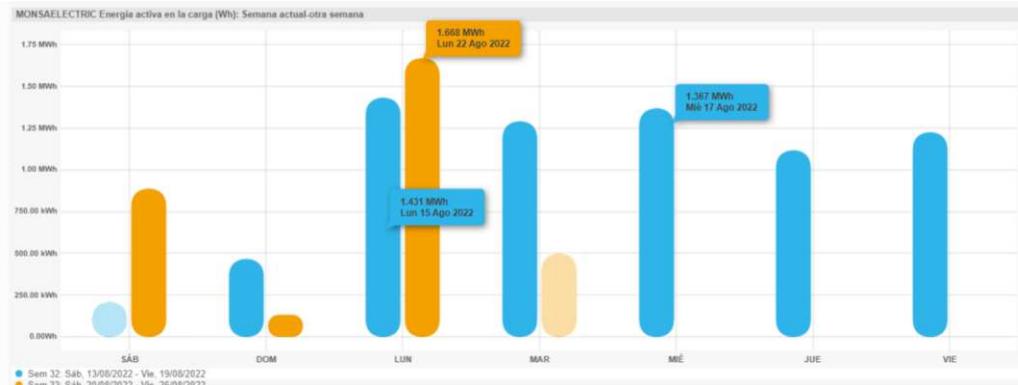


Figura 2.19: consumo de energía medido en el punto 1 [15]

Tabla 2.5: Consumos de energía eléctrica en el punto 1

Día de la semana	Energía activa de la carga en kWh
Sábado 13 de agosto del 2022	204.770
Domingo 14 de agosto del 2022	464.448
Lunes 15 de agosto del 2022	1,430.795
Martes 16 de agosto del 2022	1,289.235
Miércoles 17 de agosto del 2022	1,366.809
Jueves 18 de agosto del 2022	1,115.451
Viernes 19 de agosto del 2022	1,223.847

Sábado 20 de agosto del 2022	885.632
Domingo 21 de agosto del 2022	129.542
Lunes 22 de agosto del 2022	1,668.202
Martes 22 de agosto del 2022	496.396

- **Consumo de energía en el punto 2.**

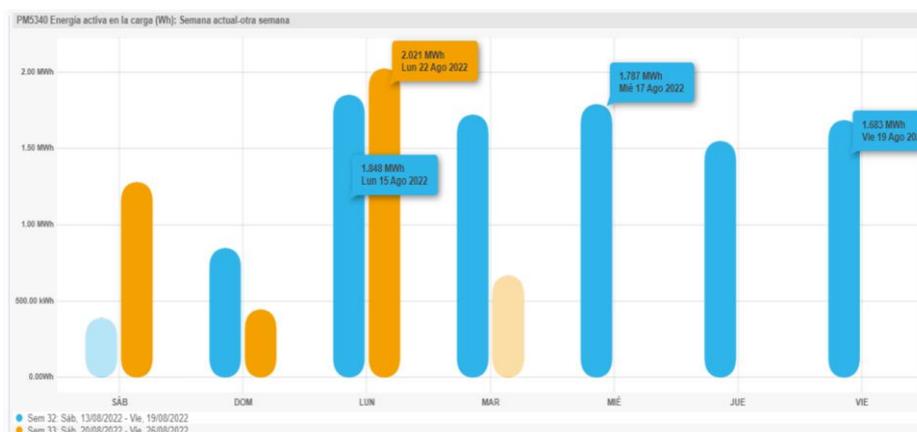


Figura 2.20: consumo de energía medido en el punto [15]

Tabla 2.6: Consumos de energía eléctrica en el punto 2

Día de la semana	Energía activa de la carga en kWh
Sábado 13 de agosto del 2022	386.396
Domingo 14 de agosto del 2022	845.908
Lunes 15 de agosto del 2022	1,848.439
Martes 16 de agosto del 2022	1,718.503
Miércoles 17 de agosto del 2022	1,787.299
Jueves 18 de agosto del 2022	1,545.591
Viernes 19 de agosto del 2022	1,682.624
Sábado 20 de agosto del 2022	1,278.915
Domingo 21 de agosto del 2022	442.375
Lunes 22 de agosto del 2022	2,021.242
Martes 22 de agosto del 2022	665.476

2.5 Nueva carga en la planta Duragas-Pifo.

La empresa Duragas-Pifo en conjunto con el personal eléctrico autorizado realizaron un incremento de carga, esto es:

- ✓ 1 compresor de aire L45 de 60 HP (44.724 kW) a 240 V y 56.25 kVA.

Una vez implementada la nueva carga, el perfil de la potencia aparente se vio como se muestra a continuación:

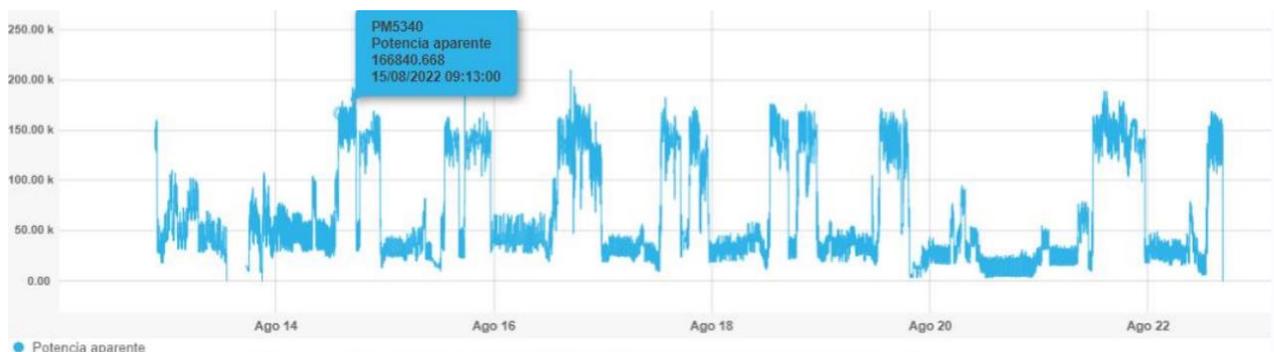


Figura 2.21: potencia aparente en la salida del transformador de 250 KVA cuando se implementa la carga de 56.25 KVA[15]

2.6 Porcentaje de desbalance de corriente

Para cuantificar el porcentaje de desbalance de las cargas, es necesario revisar el desbalance de las corrientes de fase. A continuación, se muestra que existieron 3 picos de corriente de 583.047, 608.407 y 576.208 amperios.

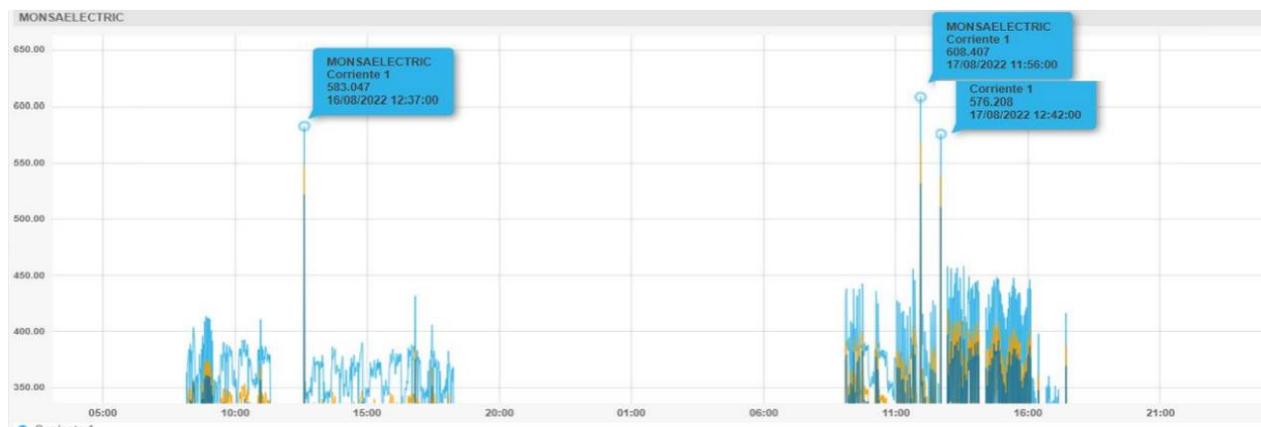


Figura 2.22: perfil del desbalance de corrientes en la planta Pifo[15]

El desbalance de las corrientes se calcula a partir de la siguiente formula:

$$\%D = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

Donde:

$\%DI$: porcentaje de desbalance de corriente, en %.

I_{max} : desviación máxima de la corriente, en amperios.

I_{prom} : Promedio de las corrientes de fase, en amperios.

A continuación, se obtuvo el porcentaje de desbalance de corriente en las tres fases, ocurrido el martes 16 de agosto del 2022 a las 12:37 pm:

Tabla 2.7: Corrientes de fase cuando ocurre el primer pico.

Lugar: Planta Pifo			
	I_A	I_B	I_C
Máximo	523.02 A	542.15 A	583.04 A
Mínimo	0.65 A	6.22 A	6.11 A
Promedio	125.19 A	140.99 A	168.42 A

En la fase A:

$$\%DI_A = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_A = \frac{(523.02 - 125.19)A}{125.19 A} * 100\%$$

$$\%DI_A = 317.78\%$$

En la fase B:

$$\%DI_B = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_B = \frac{(542.15 - 140.99)A}{140.99 A} * 100\%$$

$$\%DI_B = 284.53 \%$$

En la fase C:

$$\%DI_C = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_C = \frac{(583.04 - 168.42)A}{168.42 A} * 100\%$$

$$\%DI_C = 246.18 \%$$

Luego, se obtuvo el desbalance de corriente en las tres fases, cuando ocurrió el segundo pico de corriente, esto ocurrido el miércoles 17 de agosto del 2022, a las 11:56 am:

Tabla 2.8: Corrientes de fase cuando ocurre el segundo pico.

Lugar: Planta Pifo			
	I_A	I_B	I_C
Máximo	544.72 A	581.66 A	608.40 A
Mínimo	0.65 A	6.22 A	6.11 A
Promedio	125.19 A	140.99 A	168.42 A

En la fase A:

$$\%DI_A = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_A = \frac{(544.72 - 125.19)A}{125.19A} * 100\%$$

$$\%DI_A = 335.11\%$$

En la fase B:

$$\%DI_B = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_B = \frac{(581.66 - 140.99)A}{140.99A} * 100\%$$

$$\%DI_B = 312.55 \%$$

En la fase C:

$$\%DI_C = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_C = \frac{(608.40 - 168.42)A}{168.42 A} * 100\%$$

$$\%DI_C = 261.24 \%$$

Finalmente, se tuvo el desbalance de corriente en las tres fases, cuando ocurrió el tercer pico de corriente, esto ocurrido el miércoles 17 de agosto del 2022, a las 12:42 pm:

Tabla 2.9: Corrientes de fase cuando ocurre el tercer pico.

Lugar: Planta Pifo			
	I_A	I_B	I_C
Máximo	526.82 A	542.78 A	576.20 A
Mínimo	0.65 A	6.22 A	6.11 A
Promedio	125.19 A	140.99 A	168.42 A

En la fase A:

$$\%D_A = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_A = \frac{(526.82 - 125.19)A}{125.19 A} * 100\%$$

$$\%DI_A = 320.82\%$$

En la fase B:

$$\%DI_B = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_B = \frac{(542.78 - 140.99)A}{140.99 A} * 100\%$$

$$\%DI_B = 284.98 \%$$

En la fase C:

$$\%DI_C = \frac{I_{max} - I_{prom}}{I_{prom}} * 100\%$$

$$\%DI_C = \frac{(576.20 - 168.42)A}{168.42 A} * 100\%$$

$$\%DI_C = 242.12 \%$$

Esta claro que existe un problema serio de desbalance de corrientes, y que esto tiene consecuencias severas en cuanto al funcionamiento de la maquinaria de la planta.

Tabla 2.10: Resumen de desbalance de corrientes cuando ocurren los 3 picos de corrientes.

Corrientes de fases	Porcentaje de desbalance en el primer pico de corriente	Porcentaje de desbalance en el segundo pico de corriente	Porcentaje de desbalance en el tercer pico de corriente
I_A	317.78%	335.11%	320.82%
I_B	284.53%	312.55%	284.98%
I_C	246.18%	261.24%	242.12%

2.7 Porcentaje de desbalances de voltaje

2.7.1 Desbalance de voltaje de línea a línea en el punto 1

- Voltaje V_{AB}

$$\%DV_{AB} = \frac{V_{max} - V_{prom}}{V_{prom}} * 100\%$$

$$\%DV_{AB} = \frac{(233.59 - 224.56)V}{224.56 V} * 100\%$$

$$\%DV_{AB} = 4.02 \%$$

- Voltaje V_{AC}

$$DV_{AC} = \frac{V_{max} - V_{prom}}{V_{prom}} * 100\%$$

$$\%DV_{AC} = \frac{(232.48 - 223.55)V}{224.56 V} * 100\%$$

$$\%DV_{AC} = 3.99 \%$$

- Voltaje V_{BC}

$$DV_{BC} = \frac{V_{max} - V_{prom}}{V_{prom}} * 100\%$$

$$\%DV_{BC} = \frac{(232.11 - 229.97)V}{229.97 V} * 100\%$$

$$\%DV_{BC} = 0.93 \%$$

2.7.2 Desbalance de voltaje de línea a línea en el punto 2.

- Voltaje V_{AB}

$$\%DV_{AB} = \frac{V_{max} - V_{prom}}{V_{prom}} * 100\%$$

$$\%DV_{AB} = \frac{(232.04 - 224.24)V}{224.24 V} * 100\%$$

$$\%DV_{AB} = 3.48 \%$$

- Voltaje V_{AC}

$$DV_{AC} = \frac{V_{max} - V_{prom}}{V_{prom}} * 100\%$$

$$\%DV_{AC} = \frac{(233.74 - 225.70)V}{225.70 V} * 100\%$$

$$\%DV_{AC} = 3.56 \%$$

- Voltaje V_{BC}

$$DV_{BC} = \frac{V_{max} - V_{prom}}{V_{prom}} * 100\%$$

$$\%DV_{BC} = \frac{(231.74 - 223.85)V}{223.85 V} * 100\%$$

$$\%DV_{BC} = 3.52 \%$$

Tabla 2.11: Resumen de desbalance de voltajes en el punto 1 y 2.

Voltajes de línea	Porcentaje de desbalance de voltaje de línea a línea en el punto 1	Porcentaje de desbalance de voltaje de línea a línea a línea en el punto 2
V_{AB}	4.02%	3.48%
V_{AC}	3.99%	3.56%
V_{BC}	0.93%	3.52%

2.8 Capacidad de operación actual del transformador de 250 KVA.

En los 7 días (14 al 23 de agosto del 2022) se obtuvo que el máximo consumo fue de 212.526 KVA, esto cuando se produce los picos de potencia activa y aparente, es decir cuando se obtiene la mayor eficiencia de aprovechamiento eléctrico de la planta (factor de potencia cercano a la unidad). Para obtener el porcentaje de capacidad del transformador durante esos 7 días se emplea la siguiente relación:

$$\%C = \frac{S_{pico}}{S_{nominal}} * 100\%$$

Donde:

$\%C$: porcentaje de capacidad actual del transformador, expresado en %

S_{pico} : potencia aparente máxima, expresada en KVA.

$S_{nominal}$: capacidad nominal del transformador.

A continuación, se obtiene la capacidad máxima a la que está trabajando el transformador:

$$\%C = \frac{212.526 \text{ KVA}}{250 \text{ KVA}} * 100\%$$

$$\%C = 85\%$$

2.9 Normativa de trabajo seguro dentro de las instalaciones de Duragas Abastible

Dentro de la institución se establece un sistema de clasificación para los distintos tipos de trabajos a ejecutarse y las consideraciones de seguridad necesarias para garantizar su adecuada implementación en cada etapa.

Para la realización de trabajos eléctricos se debe tener en consideración que se debe utilizar mano de obra calificada o certificada según los requisitos técnicos legales locales. Para las extensiones portátiles de luces, herramientas o enchufes deben usarse portalámparas o herramientas que tengan agarraderas aisladas y en buen estado y todo el alambrado y piezas del enchufe cubiertos [19]. Se utilizarán herramientas aislantes diseñadas para trabajar en circuitos de alta tensión eléctrica.

Antes de la realización de todo trabajo eléctrico se debe seguir las direcciones directrices:

- ✓ Desconexión / apertura de todas las fuentes de tensión. - seleccionar la parte de la instalación donde se va a trabajar, aislarse de todas las fuentes de alimentación con corte visible de interruptores, disyuntores y seleccionadores que aseguren la imposibilidad del cierre intempestivo.
- ✓ Bloquear en posición de apertura los aparatos de seccionamiento y colocar señalización de advertencia.
- ✓ Verificación de ausencia de tensión, mediante el uso de detectores de tensión.
- ✓ Efectuar puesta a tierra y cortocircuitos necesarios en todos los puntos de acceso por si pudiera llegar tensión a la instalación.
- ✓ Señalización y delimitación de la zona de trabajo.
- ✓ Y en términos generales, aplicar lo dispuesto en el procedimiento de Bloqueo y Etiquetado LOTO.

- ✓ En caso de que se tenga que utilizar equipos de comunicación o teléfonos móviles se debe garantizar que los equipos cuenten con un certificado de seguridad intrínseca.

En caso de que los trabajos se realicen en áreas altas se debe tener en consideración el riesgo de altura, para esto los trabajos con riesgo desde una altura o profundidad superior, cuya cota sea igual o mayor al estándar técnico legal establecido (1,8 metros), se tomarán las siguientes medidas de prevención cuando aplique:

- ✓ Instalación de red de seguridad bajo la losa en construcción.
- ✓ Utilización de andamios que cumplan las normativas legales locales.
- ✓ Utilización de Manlift o Canastillas.
- ✓ Utilización de pasarelas reglamentarias.
- ✓ Uso de arnés de seguridad.
- ✓ Dispositivo retráctil.
- ✓ Línea de vida sujeta a punto fijo (no sujeto a andamios o escaleras), o a un sistema de sujeción deslizante.

Se prohíbe el tránsito y apoyo directo de los trabajadores sobre las partes frágiles de losa o techo. A tal efecto, se dispondrán pasarelas u otros medios equivalentes, convenientemente apoyados en elementos resistentes.

2.9.1 Utilización de Andamios

- Todo el contorno de los andamios que ofrezca peligro de caídas, de alturas o profundidad superior a un nivel cuya diferencia de cota sea igual o mayor al estándar técnico legal, será protegido por barandas y rodapiés reglamentarios.
- Todo diseño, construcción de andamios, y verificación periódica, lo debe hacer personal autorizado.
- Los andamios serán inspeccionados diariamente mientras se encuentren en uso.
- La inspección de los andamios se realizará junto con el Permiso de Trabajo correspondiente, dejando constancia de dicha inspección en el formulario Lista de Verificación de Andamios.

- En los andamios se utilizarán las adecuadas técnicas de construcción que aseguren su resistencia, estabilidad, y cumplimiento de normas técnicas de cada país. Utilización de Escaleras.
- Las escaleras de mano deben ofrecer siempre las garantías de solidez, estabilidad, seguridad y aislamiento en caso de riesgo de incendio, y deben cumplir con las normas técnicas de cada país [20]

2.9.2 Utilización de Arnés

- Inspeccionar el arnés regularmente antes y después de utilizarlo.
- Debe verificarse certificación y vigencia cada vez que se utilice.
- La vida útil por envejecimiento es de tres años.
- Que sea de la talla adecuada y ajuste bien al cuerpo.
- Cinta anti-trauma (Opcional).
- Amortiguador de impacto o dispositivo retráctil.

2.9.3 Utilización de Manlift y/o Canastillas

- Deberá presentar certificaciones del equipo.
- Certificación del operador.
- Certificado de competencias trabajos seguros en alturas.

2.9.4 Utilización de los sistemas RoofSafe y LadSaf.

Para realizar trabajos sobre las cubiertas de los galpones de envasado, se debe utilizar los sistemas de restricción horizontal y detención vertical. Para que los usuarios puedan hacer uso de ambos sistemas deben aprobar una evaluación con al menos 7 puntos sobre 10 de conocimiento de la capacitación que impartirá el jefe o supervisor de planta a los usuarios sobre el uso de los sistemas RoofSafe y LadSaf.

2.10 Levantamiento de las cargas de Duragas-Pifo (desbalanceado)

En esta sección se muestra los cuadros de cargas de los paneles de la planta, donde se muestra las corrientes por fase, la distribución de potencia activa, la descripción de los equipos que conforman los circuitos secundarios, el voltaje, y un factor de demanda que indica o aproxima la frecuencia de utilización de los equipos, cabe mencionar que para el desarrollo de estos cuadros se toma en consideración

un factor de potencia mínimo de 0.92, este valor debe ser cumplido por el consumidor , regulado o no regulado, conectado a la red de distribución. El incumplimiento de un factor de potencia menor a 0.6 en el 5% o más de todas las mediciones, representa una violación al índice de calidad, por lo cual se otorga plazo para corregir el factor de potencia, caso contrario se suspende el servicio [21]

Tabla 2.12: Plazo para la corrección para un factor de potencia menor a 0.62 [16]

Voltaje de conexión	Días de plazo
Bajo voltaje	30
Medio voltaje	60
Alto voltaje	90

2.10.1 Cuadro de carga del panel de control secundario

Tabla 2.13: Cuadro de carga del panel de control secundario.

PANEL SECUNDARIO										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASEC			FASE A	FASE B	FASEC			
331	331	331	994	3P-80 A	3,15	3,15	3,15	5%	220	Panel DCI (bomba Jockey) OFF
6.551	6.477	6.477	19.505	3P-350 A	62	62	62	100%	220	PD de la sala de bombas y compresores de GLP)
21.220	22.319	23.967	67.506	3P-500 A	202	212	225	50%	220	PD de mantenimiento de cilindros

793	793	793	2.378	3P-100 A	7,532	7,532	7,532	40%	220	Panel alumbrado envasado
0	1.107	1.107	2.214	2P-32 A	0	10,52	10,52	40%	220	Sistema de aguas tratadas
0	0	296	296	1P-20 A	0	0	2,44	20%	127	Fuente de sistema aspiración
136	136	136	407	3P-300 A	1,29	1,29	1,29	3%	220	Alarma SCI
529	0	529	1.058	2P-125 A	0	42,72	42,72	60%	220	Nueva garita
5.884	5.884	5.884	17.652	3P-300 A	55,92	55,92	55,92	80%	220	Banco de condensadores
7.033	2.965	6.209	16.207	3P-300 A	64	26	57	100%	220	PD de bodega de insumos
1.568	0	2.629	4.197	2P-40 A	13	0	22	100%	220	Panel alumbrado perimetral

2.10.2 Cuadro de carga del panel de la sala de bombas y compresores de GLP

Tabla 2.14: Cuadro de carga del panel de la sala de bombas y compresores de GLP.

PANEL DE LA SALA DE BOMBAS Y COMPRESORES DE GLP										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
3.239	3.239	3.239	9.716	3P-70	30,78	30,78	30,78	60%	220	Compresor #1 de 15 HP
3.239	3.239	3.239	9.716	3P-70	30,78	30,78	30,78	60%	220	Compresor #2 de 15 HP

0	0	0	0	3P-70	0	0	0	0%	220	Compresor #3 de 15 HP(OFF)
74	0	0	74	1P-20	0,605	0	0	5%	127	Sistema complementario

2.10.3 Cuadro de carga del panel de la nave de mantenimiento de cilindros

Tabla 2.15: Cuadro de carga del panel de la nave de mantenimiento de cilindros.

NAVE DE MANTENIMIENTO DE CILINDROS										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
7.161	7.161	7.161	23.850	3P-200 A	68	68	68	100%	220	Nave de envasado
1.284	1.284	1.284	3.851	3P-100 A	12,2	12,2	12,2	50%	220	Panel de alumbrado, nave mantenimiento y luminarias
324	324	324	972	3P-100 A	3,08	3,08	3,08	5%	220	Compresor 6025
0	0	0	0	3P-160 A	0	0	0	0%	220	Compresor Gardner L37 (para reemplazar a los otros compresores en caso de averías)
1.080	1.080	1.080	3.239	3P-100 A	10,26	10,26	10,26	20%	220	Compresor Hydronave(se usa para

										mantenimiento quincenal de los ductos)
0	0	1.648	1.648	1P-32 A	0	0	13,56	60%	127	UPS respaldo, medidor de flujo másico
300	300	300	900	3P-30 A	2,85	2,85	2,85	60%	220	Secador # 1 y # 2 de colores azul y verde, El primero es back up
8.030	8.030	8.030	24.091	3P-200	76,32	76,32	76,32	60%	220	Paletizadora
0	18	18	37	2P-60 A	0	0,164	0,164	20%	220	Toma 220 V (poco uso)
0	27	27	54	2P-60 A	0	0,24	0,24	20%	220	Toma 220 V
0	181	181	361	2P-60 A	0	1,615	1,615	50%	220	Toma 220 V (para un torno pequeño)
0	835	835	1.670	2P-60 A	0	7,47	7,47	60%	220	Luces reflector, torre de comunicación
0	23	23	46	2P-60 A	0	0,204	0,204	20%	220	Toma 220 V
0	16	16	33	2P-60 A	0	0,147	0,147	15%	220	Toma 220 V
10.202	10.202	10.202	30.606	3P-200 A	96,96	96,96	96,96	80%	220	Bomba principal de GLP
0	0	0	0	3P-200 A	0	0	0	0%	220	Bomba alterna de GLP(OFF)

2.10.4 Cuadro de carga de la nave de envasado

Tabla 2.16: Cuadro de carga de la nave de envasado.

NAVE DE ENVASADO										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor entrada del carrusel
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor salida del carrusel
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor #2
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor #3
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor #4
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor terminado #1
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor terminado #2
0	0	0	0	3P-14 A	0	0	0	0%	220	Motorreductor recuperado (OFF)
455	455	455	1.364	3P-10 A	4,32	4,32	4,32	60%	220	Carrusel
2.424	2.424	2.424	7.273	3P-60 A	23,04	23,04	23,04	60%	220	Termoselladora Siraga

2.10.5 Cuadro de carga del panel de alumbrado perimetral

Tabla 2.17: Cuadro de carga del panel de alumbrado perimetral.

ALUMBRADO PERIMETRAL										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
0	0	1.064	1.064	1P-30 A	0	0	8,76	60%	127	TC cuarto eléctrico
26	0	0	26	1P-20 A	0,212	0	0	5%	127	Luces cuarto generador
0	0	22	22	1P-20 A	0	0	0,179	5%	127	Luces cuarto tab, y transf,
971	0	971	1.942	2P-30 A	7,992	0	7,992	60%	220	Luces perimetrales circ, #1
572	0	572	1.143	2P-30 A	4,704	0	4,704	60%	220	Luces perimetrales circ, #2

2.10.6 Cuadro de carga del tablero de distribución de la bodega de insumos

Tabla 2.18: Cuadro de carga del tablero de distribución de la bodega de insumos.

BODEGA DE INSUMOS										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			

708	708	708	2.123	3P-100 A	6,726	6,726	6,726	60%	220	Panel de garita
3.151	991	2.240	23.024	3P-80 A	26,04	8,263	18,44	100%	220	Panel del bloque administrativo
179	179	179	537	3P-20	1,7	1,7	1,7	40%	220	Bomba de agua potable de 2 HP
2.996	1.088	3082	11.326	2P-80	25,15	9,452	25,37	100%	220	Panel comedor y ducha
575	0	575	1.150	2P-50 A	4,734	0	4,734	30%	220	Panel de alumbrado bodega de insumos

2.10.7 Cuadro de carga del panel de bloque administrativo

Tabla 2.19: Cuadro de carga del panel de bloque administrativo.

PANEL DE BLOQUE ADMINISTRATIVO										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
0	129	0	129	1P-20 A	0	1,059	0	30%	127	Iluminación del pasillo
282	0	0	282	1P-20 A	2,324	0	0	40%	127	Iluminación del pasillo y la oficina
0	0	186	186	1P-20 A	0	0	1,528	25%	127	Iluminación baños y oficina
0	303	0	303	1P-30 A	0	2,496	0	30%	127	Tomacorrientes

0	0	0	0	1P-20 A	0	0	0	0%	127	Alarma OFF
836	0	0	836	1P-40 A	6,88	0	0	50%	127	UPS
649	0	0	649	1P-20 A	5,34	0	0	75%	127	Puntos de tomacorrientes
1.229	0	1.229	2.458	2P-30 A	10,12	0	10,12	60%	220	Lámparas exteriores
0	0	825	825	1P-50 A	0	0	6,792	40%	127	Carga de manejo
154,7	558,6	0	1.484	2P-30 A	1,384	4,708	0	100%	220	Panel de sala de espera

2.10.8 Cuadro de carga del panel de sala de espera

Tabla 2.20: Cuadro de carga del panel de sala de espera.

SALA DE ESPERA										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
155	155	0	309	2P-20 A	1,384	1,384	0	40%	220	Tomas de 220 V
0	404	0	404	1P-20 A	0	3,324	0	60%	127	Luminarias

2.10.9 Cuadro de carga del panel del comedor

Tabla 2.21: Cuadro de carga del panel de sala de comedor.

PANEL DEL COMEDOR										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
0	0	492	492	1P-20 A	0	0	4,05	65%	127	Iluminación cocina
473	0	0	473	1P-20 A	3,89	0	0	50%	127	Iluminación comedor y baño
0	0	626	626	1P-20 A	0	0	5,15	50%	127	TC 1
746	0	0	746	1P-20 A	6,144	0	0	60%	127	TC2 e iluminación exterior
0	0	842	842	1P-30 A	0	0	6,93	45%	127	Cocina
83	0	0	83	1P-20 A	0,685	0	0	10%	127	Alarma
0	312	0	312	1P-20 A	0	2,564	0	40%	127	Sistemas complementarios
1693	776,6	1122	3.592,25	2P-40	14,43	6,888	9,24	100%	127	Panel duchas

2.10.10 Cuadro de carga del panel ducha

Tabla 2.22: Cuadro de carga del panel ducha.

PANEL DUCHA										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
194	0	0	194	1P-20 A	1,596	0	0	30%	127	Iluminación vestidores
0	0	229	229	1P-20 A	0	0	1,884	30%	127	Iluminación
0	83	0	83	1P-20 A	0	0,687	0	30%	127	Iluminación del baño
693	693	0	1.386	2P-50 A	6,201	6,201	0	45%	127	Alumbrado exterior, circ, #0 duchas
0	0	893	893	1P-50 A	0	0	7,353	30%	127	Circ, #1 duchas
806	0	0	806	1P-50 A	6,636	0	0	30%	127	Circ, #2 duchas

2.11 Modelamiento de la planta en Simulink de Matlab

Para el modelamiento se utilizaron los cuadros previos como información pertinente para la simulación de cada una de las cargas de la planta. La red se compone del transformador de 250 kVA a 13.8 kV/220 V, y de 11 cargas generales que componen el panel de control secundario general de la planta.

2.11.1 Modelamiento de la planta actual.

En el panel de control secundario se integran otros tableros que controlan operaciones externas e internas en la planta. Las cargas se clasifican de la siguiente manera:

- Carga monofásica: sistema de aspiración
- Cargas bifásicas: sistema de aguas tratadas, nueva garita y el panel de alumbrado perimetral.
- Cargas trifásicas: Panel de la bomba Jockey, banco de condensadores, nave de mantenimiento de cilindros, bodega de insumos, alarma de SCI, panel de la sala de bombas y compresores de GLP, y el panel alumbrado envasado.

Sin embargo, dentro de las cargas se modelan otros subsistemas (que hacen referencia a paneles) que componen otro conjunto de carga, derivados de ese panel en cuestión.

En el subsistema del panel de la sala de bomba y compresores no se derivan más subsistemas, es decir solo se simulan las cargas trifásicas correspondientes a los compresores. En el subsistema de nave de mantenimiento de cilindros se tiene el subsistema del panel de envasado junto con las demás cargas especificadas en los cuadros correspondientes. En el subsistema del panel de alumbrado perimetral no existen más subsistemas, sino que únicamente las cargas conectadas en ese circuito. En el subsistema de la bodega de insumos se encuentran dos subsistemas, el panel del comedor y ducha, y el subsistema de sala de espera en el panel del bloque administrativo.

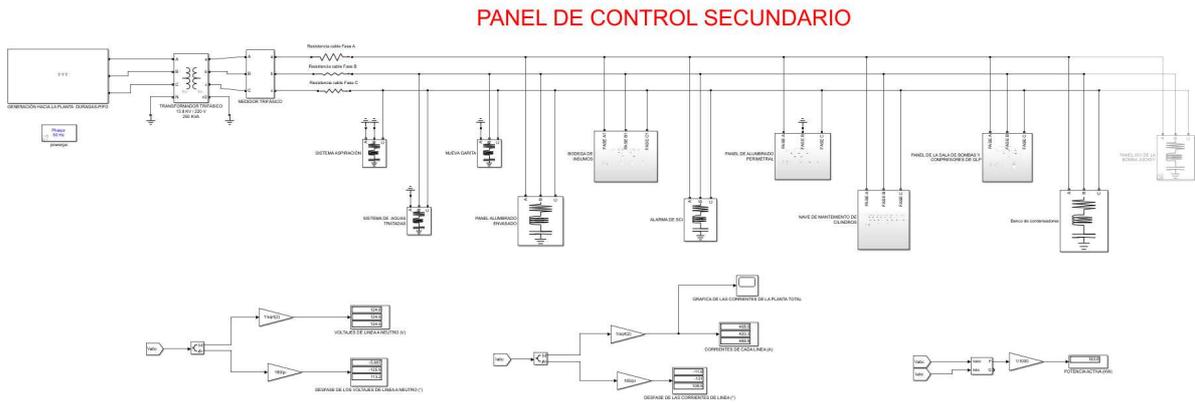


Figura 2.23: Modelo del panel de control secundario con sus cargas.

Para obtener las intensidades por fase simulamos los tableros trifásicos y bifásicos con sus respectivas cargas distribuidas en sus fases en el estado actual de la planta, donde en primera instancia se encuentran desbalanceadas. Las corrientes distribuidas por fase se evidencian en **tabla 2.23**.

En el procedimiento de las mediciones simuladas, hicimos una comparativa con respecto a los valores reales y medidos en la planta, donde se asimila que las mediciones dadas por el panel de control secundario se aproximan a los de la planta total.

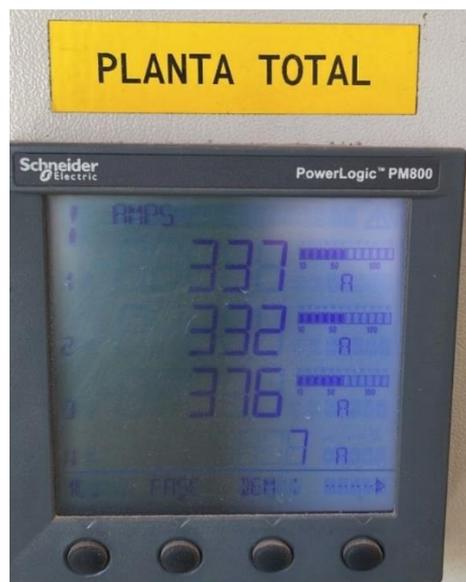


Figura 2.24: Medición real de las corrientes de fase de la planta de Duragas-Pifo.

Tabla 2.23: Distribución existente de las corrientes por fase (Desbalanceado)

Intensidades por fase			
Tableros	I_A	I_B	I_C
Panel DCI	3,15	3,15	3,15
Sala de bombas y compresores de GLP	62	62	62
Nave de mantenimiento de cilindros	202	212	225
Panel alumbrado envasado	7,532	7,532	7,532
Sistema de aguas tratadas	--	10,52	10,52
Fuente de sistema de aspiración	--	--	2,44
Alarma SCI	1,29	1,29	1,29
Nueva garita	--	42,72	42,72
Banco de condensadores	55,92	55,92	55,92
PD bodega de insumos	64	26	57
Panel alumbrado perimetral	13	--	22

2.12 Causas que originan el desbalance de corrientes

Las impedancias propias y mutuas del estator en el arranque de los motores, y de los conductores entre las fases de la empresa Duragas, crean problemas internos de transitorios.

2.12.1 Causas principales

- ❖ Incorporación de nuevas cargas a la empresa
- ❖ Sobrecarga de las fases en el panel de alumbrado perimetral, bodega de insumos, sala de espera, y bloque administrativo

- ❖ Conexión del transformador
- ❖ Arranque de los motores
- ❖ Factores climáticos
- ❖ Cargas con encendido y apagado constante

2.12.2 Causas secundarias

- ❖ Calibre no adecuado del conductor
- ❖ Mal dimensionamiento del banco de condensadores para la mejora del factor de potencia

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1 Resultados del modelamiento previo al balance

Una vez concluida la simulación de las cargas en el estado actual, pudimos observar una evidente sobrecarga en la tercera línea, creando un desbalance de hasta un 19,54% (**Ver en apéndices**) con respecto a la línea menos cargada.

Unos de los principales problemas que se encontró dentro de las instalaciones del sistema, es que existe un “balance” por paneles, lo que en teoría estaría de acuerdo con la normativa, sin embargo, al observar el panel secundario, notamos un evidente desbalance en el sistema, esto debido que no se han dimensionado las cargas con respecto a los otros paneles.

Otra de las causas del desbalance es que, al cambiar la salida del transformador para facilitar el balance, no se implementaron las adecuaciones necesarias para balancear las cargas del sistema, si no que se siguió operando con una conexión entre líneas análoga a la de una salida en delta. [25]

3.2 Cambios realizados para el balance de cargas.

- Panel de ducha:

En el panel de ducha existió un desbalance que sobrecarga la primera línea, inicialmente se distribuyó las cargas a partes iguales, sin embargo, por el uso de los equipos se determinó que la primera línea debe tener un exceso de carga que no afectará el funcionamiento en este circuito y que además ayudará en la operación del panel principal.

- Panel del comedor:

En este sistema notamos que la carga en la segunda línea es muy baja, lo que podría sobrecargar las otras líneas, no obstante, por el dimensionamiento de los cables se deja la primera línea en su configuración inicial y se cambia unas cargas

monofásicas para compensar el desbalance entre la línea con mayor y menor carga.

- Panel de sala de espera:

En este panel no existe una gran carga, sin embargo, se posicionó la carga del circuito monofásico a la primera línea, por motivos de balances posteriores.

- Panel del bloque administrativo:

En este circuito existe un desbalance considerable con respecto a la línea 2, debido a que las cargas que se conectan a esta línea son muy bajas respecto a las otras, por lo que optamos por distribuir las cargas monopolares y cambiar las conexiones de una carga bipolar de tal forma que obtenemos un sistema más balanceado, dejando una la tercera línea con una menor carga, pero sin afectar el estado de operación.

- Bodega de insumos:

En esta parte del sistema solo se cambió el circuito de panel de alumbrado de dos polos, pasando de usar la fase A-C a A-B, que añadiéndole los cambios realizados en el tablero secundario deja este sistema con un desbalance menor, debido a que previo a las modificaciones la segunda línea contaba con una carga mucho menor a las otras líneas.

- Alumbrado perimetral:

Notamos que, por la anterior configuración de salida del transformador, no se estaba haciendo uso de la línea dos, por lo que se le cambió la entrada de la fase A por la fase B para y se restó una carga monopolar en C hacia A para compensar los cambios y se llegó a un sistema más balanceado.

- Nave de envasado:

Al tratarse netamente de cargas trifásicas y con la nueva salida del transformador, el sistema entra en equilibrio por sí solo.

- Nave de mantenimiento de cilindros:

Los valores obtenidos en esta simulación se mantuvieron en proporción, sin embargo, se lo rediseñó para que las mismas cargas se distribuyan entre las líneas, es decir, la carga de la línea A pasó a B, la de la línea B a C y la de la línea C para A, esto debido a que en otros sistemas la segunda línea se encontrará con mayor tensión y esto compensa el sistema general.

- Panel de bombas y compresores:

Este panel también se mantiene igual debido a que solo contiene cargas trifásicas que facilitan el balanceo de las líneas.

- Panel secundario:

En el panel secundario solo se cambió una carga bifásica y monofásica de C hacia A y junto al resto de cambios implementados el sistema logra llegar a un balance de 0,1%, lo que es una evidente mejora respecto al sistema inicial.

3.3 Resultados del modelamiento previo al balance

En esta parte me muestra los resultados simulados en Simulink para llegar al balance de cargas propuesto, en este programa se muestran tanto las corrientes por fase de cada tablero, y además de las conexiones de las cargas en sus respectivas fases, según los cambios realizados que se redactaron en la sección anterior.

PANEL DUCHAS

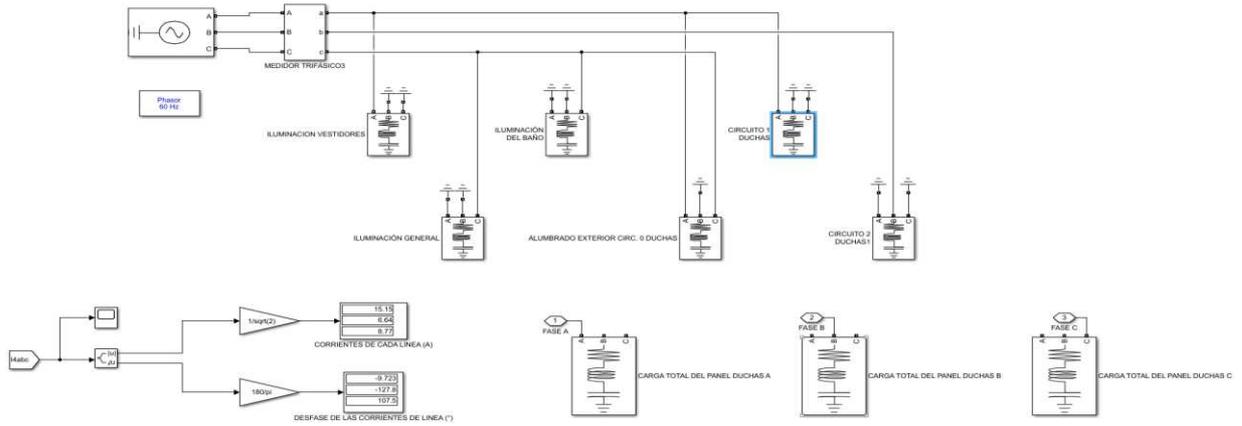


Figura 3.1: Balance de cargas del panel ducha.

PANEL COMEDOR

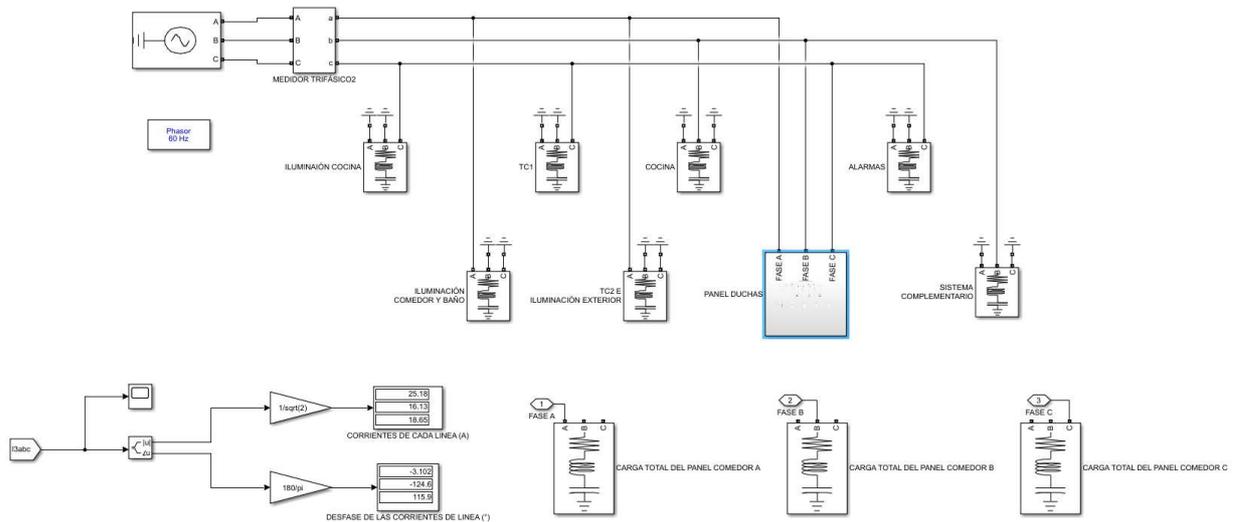


Figura 3.2: Balance de cargas del panel comedor

PANEL SALA DE ESPERA

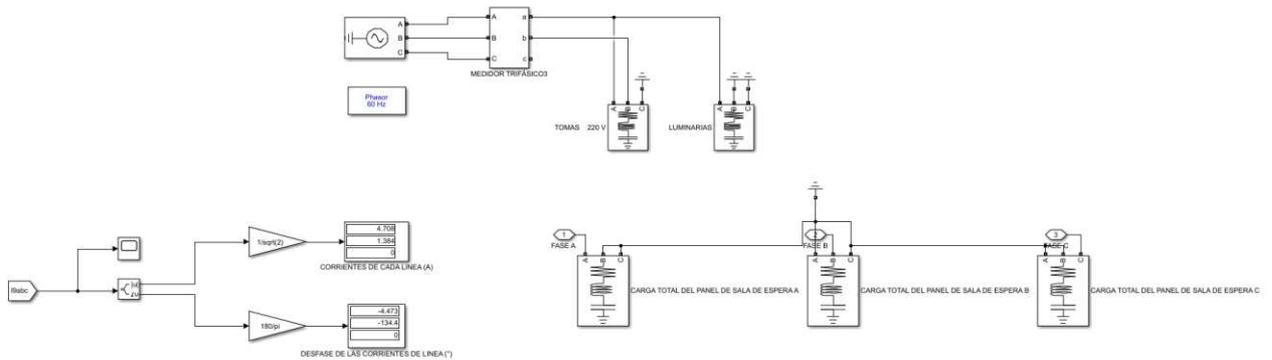


Figura 3.3: Balance de cargas del panel Sala de espera

PANEL BLOQUE ADMINISTRATIVO

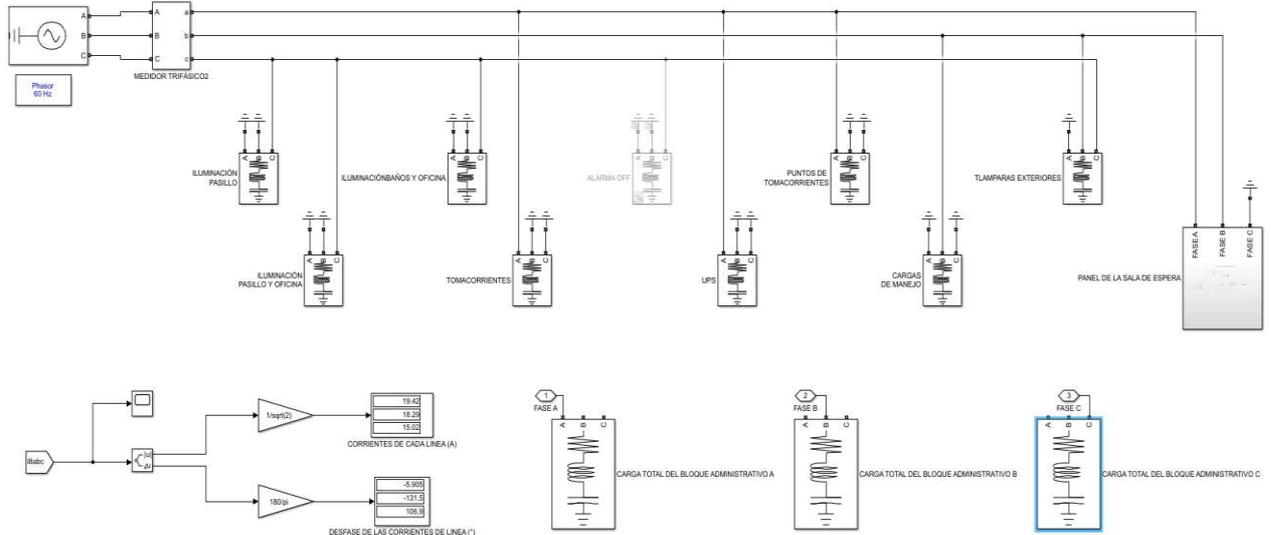


Figura 3.4: Balance de cargas del panel Bloque Administrativo

CUARTO TABLERO BODEGA DE INSUMOS

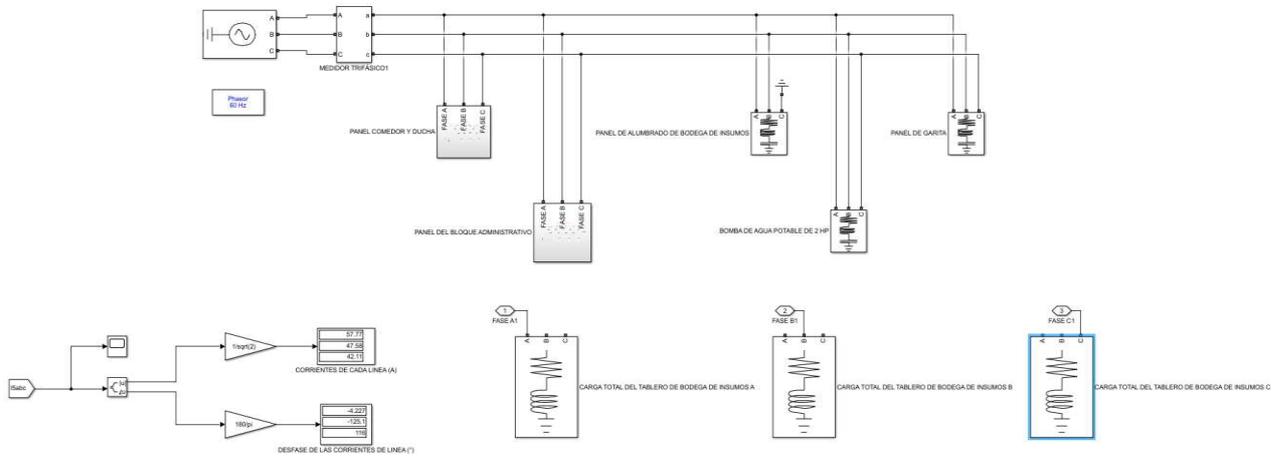


Figura 3.5: Balance de cargas del cuarto de bodega de insumos

PANEL DE ALUMBRADO PERIMETRAL

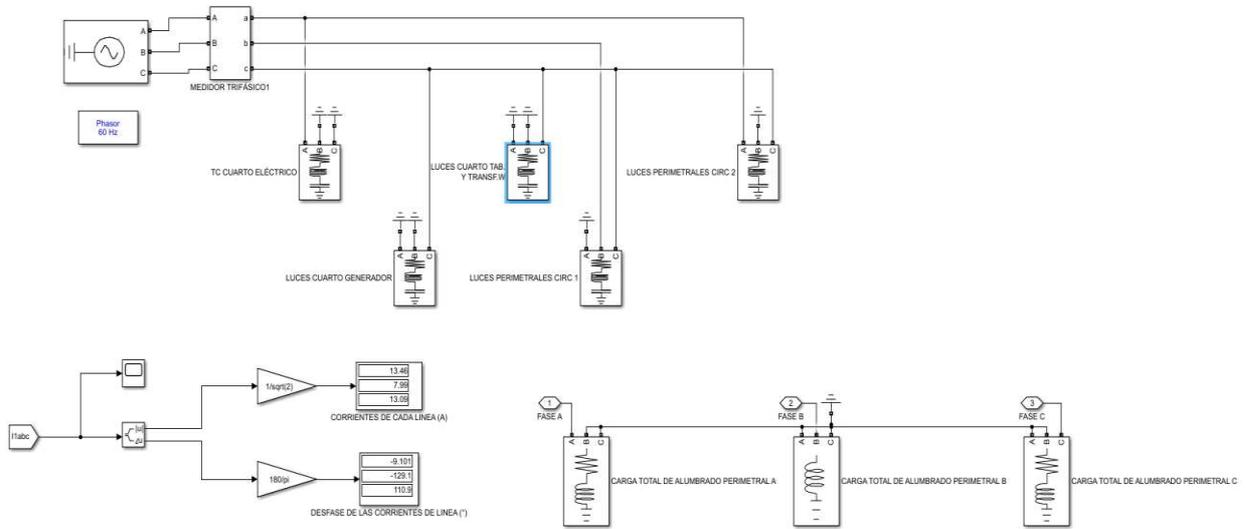


Figura 3.6: Balance de cargas del panel de alumbrado perimetral

NAVE DE ENVASADO

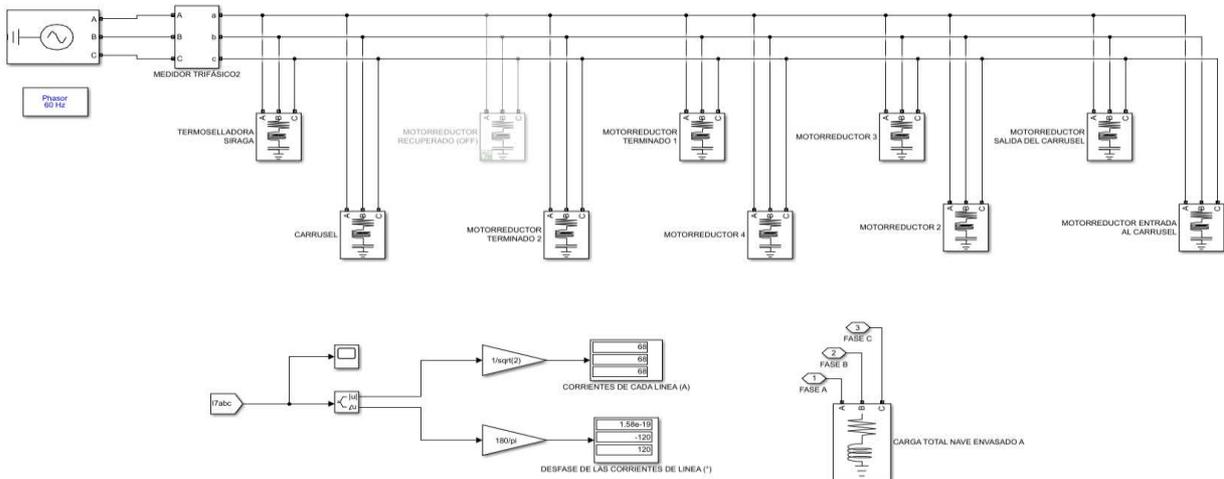


Figura 3.7: Balance de cargas del panel nave de envasado

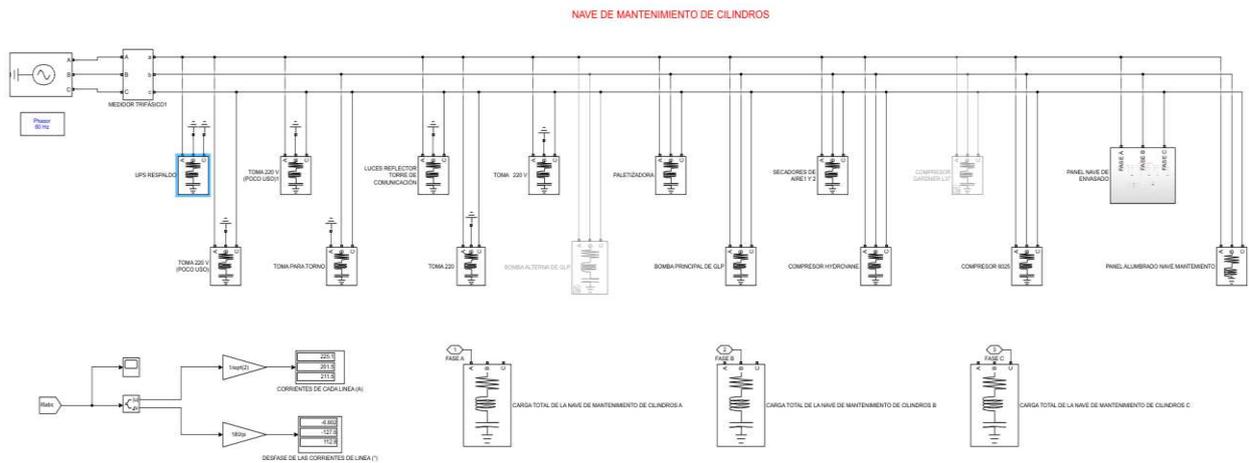


Figura 3.8: Balance de cargas del panel nave de mantenimiento de cilindros

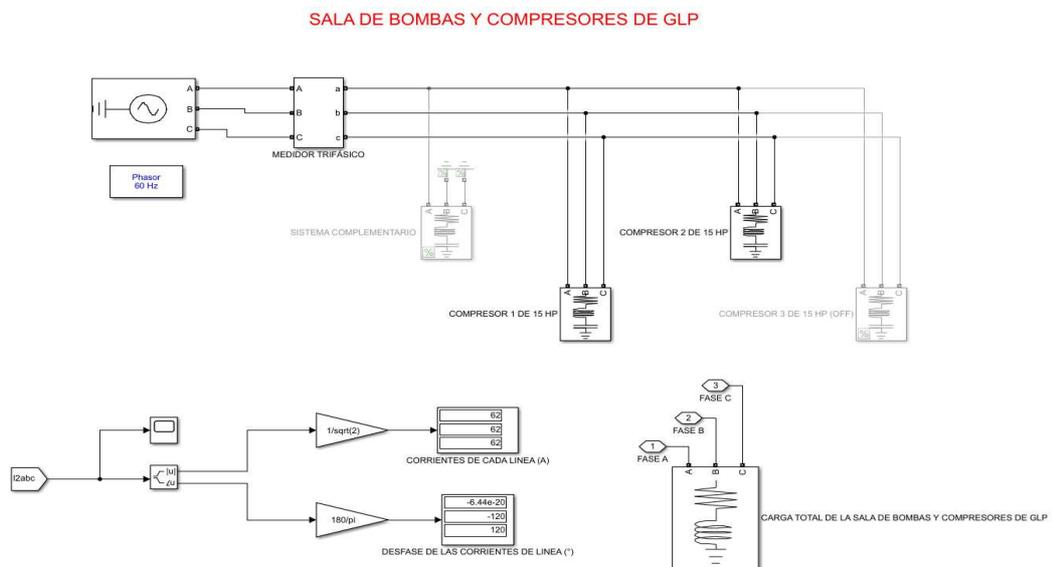


Figura 3.9: Balance de cargas del panel Sala de bombas y compresores de GLP

PANEL DE CONTROL SECUNDARIO

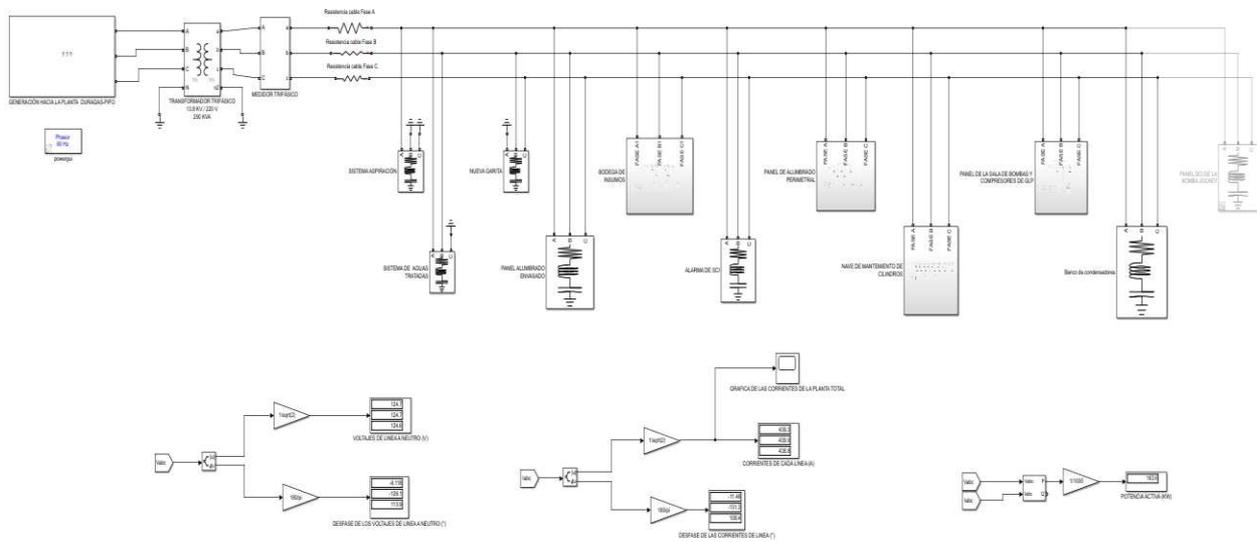


Figura 3.10: Balance de cargas del panel de control secundario

Una vez realizado el balance se presencia una evidente mejora en el balance de las cargas, dejando el porcentaje de desbalance en 0,52% entre la línea con mayor y menor carga.

Para balancear las cargas tuvimos que observar a detalle la situación actual del sistema, y empezar con el balanceo de los paneles secundarios, para ir progresivamente al panel central, una vez obtenido un balance por paneles hasta la principal vamos a observar que sigue existiendo un desbalance considerable.

Por lo que se tuvo que estudiar los subsistemas existentes y resaltar los que se prestan para crear un pequeño desbalance que al ir agregándolo al sistema se armonice y se distribuya correctamente la carga.

Otro de los puntos que se tuvo en consideración fue el porcentaje de uso de los equipos, debido a que si no se lo tiene en consideración puede llegar a ocurrir un balance teórico en las líneas, pero que al entrar en operación las cargas que deberían compensar una línea permanecen inoperativas, creando un desbalance en el sistema, a pesar de que virtualmente debería mantenerse operativo.

3.4 Cuadro de cargas del sistema balanceado

3.4.1 Cuadro de carga balanceado del panel de control secundario

Tabla 3.1: Cuadro de carga balanceado del panel de control secundario.

PANEL SECUNDARIO										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
331	331	331	994	3P-80 A	3,15	3,15	3,15	5%	220	Panel DCI (bomba Jockey) OFF
6.551	6.477	6.477	19.505	3P-350 A	62	62	62	100%	220	PD de la sala de bombas y compresores de GLP)
23.967	21.220	22.319	67.506	3P-500 A	225	202	212	50%	220	PD de mantenimiento de cilindros
793	793	793	2.378	3P-100 A	7,532	7,532	7,532	40%	220	Panel alumbrado envasado
1.107	1.107	0	2.214	2P-32 A	10,52	10,52	0	40%	220	Sistema de aguas tratadas
296	0	0	296	1P-20 A	2,44	0	0	20%	127	Fuente de sistema aspiración
136	136	136	407	3P-300 A	1,29	1,29	1,29	3%	220	Alarma SCI
529	529	0	1.058	2P-125 A	0	42,72	42,72	60%	220	Nueva garita
5.884	5.884	5.884	17.652	3P-300 A	55,92	55,92	55,92	80%	220	Banco de condensadores
6.233	5.055	4.919	16.207	3P-300 A	58	48	42	100%	220	PD de bodega de insumos

1.636	971	1.590	4.197	2P-40 A	13	8	13	100%	220	Panel alumbrado perimetral
-------	-----	-------	-------	---------	----	---	----	------	-----	----------------------------

3.4.2 Cuadro de carga balanceado del panel de la sala de bombas y compresores de GLP

Tabla 3.2: Cuadro de carga balanceado del panel de la sala de bombas y compresores de GLP.

PANEL DE LA SALA DE BOMBAS Y COMPRESORES DE GLP										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
3.239	3.239	3.239	9.716	3P-70	30,78	30,78	30,78	60%	220	Compresor #1 de 15 HP
3.239	3.239	3.239	9.716	3P-70	30,78	30,78	30,78	60%	220	Compresor #2 de 15 HP
0	0	0	0	3P-70	0	0	0	0%	220	Compresor #3 de 15 HP(OFF)
74	0	0	74	1P-20	0,605	0	0	5%	127	Sistema complementario

3.4.3 Cuadro de carga del panel de la nave de mantenimiento de cilindros

Tabla 3.3 : Cuadro de carga balanceado del panel de la nave de mantenimiento de cilindros.

NAVE DE MANTENIMIENTO DE CILINDROS										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			

7.161	7.161	7.161	23.850	3P-200 A	68	68	68	100%	220	Nave de envasado
1.284	1.284	1.284	3.851	3P-100 A	12,2	12,2	12,2	50%	220	Panel de alumbrado, nave mantenimiento y luminarias
324	324	324	972	3P-100 A	3,08	3,08	3,08	5%	220	Compresor 6025
0	0	0	0	3P-160 A	0	0	0	0%	220	Compresor Gardner L37 (para reemplazar a los otros compresores en caso de averías)
1.080	1.080	1.080	3.239	3P-100 A	10,26	10,26	10,26	20%	220	Compresor Hydronave(se usa para mantenimiento quincenal de los ductos)
1.648	0	0	1.648	1P-32 A	13,56	0	0	60%	127	UPS respaldo, medidor de flujo másico
300	300	300	900	3P-30 A	2,85	2,85	2,85	60%	220	Secador # 1 y # 2 de colores azul y verde, El primero es back up
8.030	8.030	8.030	24.091	3P-200	76,32	76,32	76,32	60%	220	Paletizadora
18	0	18	37	2P-60 A	0,164	0	0,164	20%	220	Toma 220 V (poco uso)
27	0	27	54	2P-60 A	0,24	0	0,24	20%	220	Toma 220 V
181	0	181	361	2P-60 A	1,615	0	1,615	50%	220	Toma 220 V (para un torno pequeño)

835	0	835	1.670	2P-60 A	7,47	0	7,47	60%	220	Luces reflector, torre de comunicación
23	0	23	46	2P-60 A	0,204	0	0,204	20%	220	Toma 220 V
16	0	16	33	2P-60 A	0,147	0	0,147	15%	220	Toma 220 V
10.202	10.202	10.202	30.606	3P-200 A	96,96	96,96	96,96	80%	220	Bomba principal de GLP
0	0	0	0	3P-200 A	0	0	0	0%	220	Bomba alterna de GLP(OFF)

3.4.4 Cuadro de carga balanceado de la nave de envasado

Tabla 3.4: Cuadro de carga balanceado de la nave de envasado.

Nave de envasado										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor entrada del carrusel
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor salida del carrusel
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor #2
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor #3
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor #4
612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor terminado #1

612	612	612	1.835	3P-14 A	5,814	5,814	5,814	60%	220	Motorreductor terminado #2
0	0	0	0	3P-14 A	0	0	0	0%	220	Motorreductor recuperado (OFF)
455	455	455	1.364	3P-10 A	4,32	4,32	4,32	60%	220	Carrusel
2.424	2.424	2.424	7.273	3P-60 A	23,04	23,04	23,04	60%	220	Termoselladora Siraga

3.4.5 Cuadro de carga balanceado del panel de alumbrado perimetral

Tabla 3.5: Cuadro de carga balanceado del panel de alumbrado perimetral.

ALUMBRADO PERIMETRAL										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
1.064	0	0	1.064	1P-30 A	8,76	0	0	60%	127	TC cuarto eléctrico
0	0	26	26	1P-20 A	0	0	0,212	5%	127	Luces cuarto generador
0	0	22	22	1P-20 A	0	0	0,179	5%	127	Luces cuarto tab, y transf,
0	971	971	1.942	2P-30 A	0	7,992	7,992	60%	220	Luces perimetrales circ, #1
572	0	572	1.143	2P-30 A	4,704	0	4,704	60%	220	Luces perimetrales circ, #2

3.4.6 Cuadro de carga balanceado del tablero de distribución de la bodega de insumos

Tabla 3.6: Cuadro de carga balanceado del tablero de distribución de la bodega de insumos.

BODEGA DE INSUMOS										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
708	708	708	2.123	3P-100 A	6,726	6,726	6,726	60%	220	Panel de garita
2.347	2.209	1.826	23.024	3P-80 A	19,42	18,29	15,03	100%	220	Panel del bloque administrativo
179	179	179	537	3P-20	1,7	1,7	1,7	40%	220	Bomba de agua potable de 2 HP
3.000	1.960	2206	11.326	2P-80	25,18	16,13	18,66	100%	220	Panel comedor y ducha
575	575	0	1.150	2P-50 A	4,734	4,734	0	30%	220	Panel de alumbrado bodega de insumos

3.4.7 Cuadro de carga balanceado del panel de bloque administrativo

Tabla 3.7: Cuadro de carga balanceado del panel de bloque administrativo.

PANEL DE BLOQUE ADMINISTRATIVO										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
0	0	129	129	1P-20 A	0	0	1,059	30%	127	Iluminación del pasillo
0	0	282	282	1P-20 A	0	0	2,324	40%	127	Iluminación del pasillo y la oficina
0	0	186	186	1P-20 A	0	0	1,528	25%	127	Iluminación baños y oficina
303	0	0	303	1P-30 A	2,496	0	0	30%	127	Tomacorrientes
0	0	0	0	1P-20 A	0	0	0	0%	127	Alarma OFF
836	0	0	836	1P-40 A	6,88	0	0	50%	127	UPS
649	0	0	649	1P-20 A	5,34	0	0	75%	127	Puntos de tomacorrientes
0	1.229	1.229	2.458	2P-30 A	0	10,12	10,12	60%	220	Lámparas exteriores
0	825	0	825	1P-50 A	0	6,792	0	40%	127	Carga de manejo
558,6	154,7	0	1.484	2P-30 A	4,708	1,384	0	100%	220	Panel de sala de espera

3.4.8 Cuadro de carga balanceado del panel de sala de espera

Tabla 3.8: Cuadro de carga balanceado del panel de sala de espera.

SALA DE ESPERA										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
155	155	0	309	2P-20 A	1,384	1,384	0	40%	220	Tomas de 220 V
404	0	0	404	1P-20 A	3,324	0	0	60%	127	Luminarias

3.4.9 Cuadro de carga balanceado del panel del comedor

Tabla 3.9: Cuadro de carga balanceado del panel de sala de comedor.

Panel del comedor										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
0	0	492	492	1P-20 A	0	0	4,05	65%	127	Iluminación cocina
473	0	0	473	1P-20 A	3,89	0	0	50%	127	Iluminación comedor y baño
0	0	626	626	1P-20 A	0	0	5,15	50%	127	TC 1
746	0	0	746	1P-20 A	6,144	0	0	60%	127	TC2 e iluminación exterior
0	842	0	842	1P-30 A	0	6,93	0	45%	127	Cocina
0	0	83	83	1P-20 A	0	0	0,685	10%	127	Alarma
0	312	0	312	1P-20 A	0	2,564	0	40%	127	Sistemas complementarios

1780	806,3	1006	3.592,25	2P-40	15,15	6,636	8,77	100%	127	Panel duchas
------	-------	------	----------	-------	-------	-------	------	------	-----	--------------

3.4.10 Cuadro de carga balanceado del panel ducha

Tabla 3.10: Cuadro de carga balanceado del panel ducha.

PANEL DUCHA										
Distribución de la potencia por fase (KW)			Carga Inst, (KW)	Breaker	Corrientes de fase (A)			Factor de demanda	Voltaje (V)	Descripción
FASE A	FASE B	FASE C			FASE A	FASE B	FASE C			
194	0	0	194	1P-20 A	1,596	0	0	30%	127	Iluminación vestidores
0	0	229	229	1P-20 A	0	0	1,884	30%	127	Iluminación
0	0	83	83	1P-20 A	0	0	0,687	30%	127	Iluminación del baño
693	0	693	1.386	2P-50 A	6,201	0	6,201	45%	127	Alumbrado exterior, circ, #0 duchas
893	0	0	893	1P-50 A	7,353	0	0	30%	127	Circ, #1 duchas
0	806	0	806	1P-50 A	0	6,636	0	30%	127	Circ, #2 duchas

3.5 Resultados económicos del proyecto

3.5.1 Antecedentes del análisis económico

Para la evaluación económica de nuestra solución planteada tomaremos en cuenta todos los aspectos que conlleva tener la Planta Pifo detenida, ya que es una de altísima importancia debido a todos los aspectos que se llevan aquí, sobre todo el llenado de los tanques, ya que se tiene una producción aproximada de 110 tanques por hora. Todos esos aspectos se detallarán más adelante, sin embargo, un punto muy importante a tener en consideración es que Duragas Abastible, por políticas internas, solo hace compra de elementos, o presta servicios de compañías externas que cumplan con todos los requisitos de seguridad y calidad que se requiere, por lo que a pesar de que los elementos o prestaciones se podrían conseguir a un menor valor, no se opta por esto por su falta de seguridad.

Tabla 3.11: Resumen de las intensidades de fase balanceadas de los tableros

Intensidades por fase			
Tableros	I_A	I_B	I_C
Panel DCI	3,15	3,15	3,15
Sala de bombas y compresores de GLP	62	62	62
Nave de mantenimiento de cilindros	225	202	212
Panel alumbrado envasado	7,532	7,532	7,532
Sistema de aguas tratadas	10,52	10,52	--
Fuente de sistema de aspiración	2,44	--	--
Alarma SCI	1,29	1,29	1,29
Nueva garita	--	42,72	42,72
Banco de condensadores	55,92	55,92	55,92
PD bodega de insumos	58	48	42
Panel alumbrado perimetral	13	8	13

3.5.2 Pérdida promedio anual

Para hacer el cálculo de la pérdida anual que se genera por desperfectos eléctricos hicimos un cálculo del valor que se pierde por tener la planta detenida, tomando en cuenta las “ganancias” que debieron ingresar si la planta estuviera operando, el costo de los operadores al no poder seguir en sus funciones, el costo de implementos eléctricos que deben ser reemplazados, el costo de la reparación de maquinaria, y el costo de mantenimientos correctivos.

Empezamos calculando el valor promedio que le cuesta a la empresa tener los operarios en funcionamiento por hora [22]

Tabla 3.12: Valores promedio de las horas totales de trabajo de los operadores

No. De personal promedio en la Planta Pifo	15
\$ Pago promedio / mes por operador (incluido tiempo extra)	\$ 750,00
No. De horas promedio por operador	52
\$ Valor promedio / hora por operador	\$ 14,42
\$ Valor promedio / hora por total de operadores	\$ 216,35

Además, se calculará un valor promedio de cuanto ingresa en ganancias brutas para Duragas por hora.

Tabla 3.13: Promedio de ganancias brutas por hora.

\$ Ganancias bruta anual generada por Duragas Planta Pifo	\$ 3.784.514,67
\$ Ganancias generadas por Planta Pifo / mes	\$ 315.376,22
No. Horas de operación /mes de la Planta Pifo	410
\$ Ganancias generada / hora en Planta Pifo	\$ 769,21

Posterior, se puede hacer un cálculo de las pérdidas generadas por tener las instalaciones detenidas por mes, teniendo en cuenta un promedio de 8 horas mensuales detenidas por fallas eléctricas, y que estas 8 horas no son de continuas, sino un promedio de las horas que no se produce.

Tabla 3.14: Promedio de los costos por pérdidas generadas.

No. Horas de paro promedio por incidentes eléctricos /mes	8
\$ Ganancias generada / hora en Planta Pifo	\$ 769,21
\$ Valor promedio / hora por total de operadores	\$ 216,35
\$ Costo de mantener la planta detenida * mes	\$ 7.884,45

Por otra parte, calculamos un promedio de los costos por compra de equipos deteriorados por fallas eléctricas, mantenimientos correctivos, y reparación de maquinaria. Todo esto se calculó omitiendo los mantenimientos preventivos, o elementos que se reemplacen por desgaste.

Tabla 3.15: Promedio de los costos por compra de equipos deteriorados por fallas, mantenimiento y reparaciones

\$ Compras de elementos por reemplazo / mensual	\$ 450,00
\$ Costo de reparación de maquinaria eléctrica / mensual	\$ 400,00
\$ Costo de mantenimientos correctivos / mensual	\$ 300,00
\$ Costo total de correctivos / mes	\$ 1.150,00

En esta sección detallamos los equipos que presentan más inconvenientes, así como las máquinas a las que se le da un constante mantenimiento correctivo.

Tabla 3.16: Costo de los equipos con mayores inconvenientes eléctricos en la planta.

Materiales eléctricos con mayor deterioro	Costo promedio	Teoría de fallo
UPS (Dependiendo de sus características)	\$ 360,00	Constantes saltos de breaker hacen que se desenergice las baterías, sulfatando la placa
Paneles LED (110 - 220 V)	\$ 25,00	Aumento de temperatura debido a un aumento de corriente en la red
Breaker 3P (Dependiendo de su amperaje)	\$ 350,00	Sobrecarga excesiva en una de las líneas, generalmente causado al poner en funcionamiento compresores
Juego de cables para sensores (Dependiendo del equipo)	\$117,00	Sobrecarga en los cables, generando corto en los sensores
Metro de cable superflex (Dependiendo su calibre)	\$20,00	Sobrecarga en el cable
Contactores (Dependiendo del modelo)	\$120,00	Deterioro por paso de corrientes eléctricas de alta intensidad
Tira de fusibles (Dependiendo del amperaje)	\$ 25,00	Se funde cuando existe un aumento de tensión eléctrica

Tabla 3.17: Costo de los equipos con mayor deterioro eléctricos en la planta

Equipos eléctricos con mayor deterioro	Costo promedio	Teoría de fallo
Motor de aislación para horno 1/4" Hp trifásico - 220 V	\$ 320,00	Sobrecarga eléctrica causada por flujo de corriente excesivo dentro de los devanados del motor
Mantenimiento y arreglo en banco de capacitores	\$ 555,00	Fallo de un fusible ocasionado por un cortocircuito en una unidad del capacitor
Mantenimiento correctivo de motor de bomba de GLP	\$ 600,00	Sobrecarga eléctrica causada por flujo de corriente excesivo dentro de los devanados del motor

Una vez calculado todos los parámetros podemos calcular el valor mensual y posterior anual que se designa a solucionar problemas eléctricos.

Tabla 3.18: Costo de mantener la planta detenida y el total de correctivos mensuales.

\$ Costo de mantener la planta detenida * mes	\$ 7.884,45
\$ Costo total de correctivos / mes	\$ 1.150,00

Tabla 3.19: Pérdidas económicas por fallas eléctricas mensuales y anuales.

\$ Pérdidas económicas por fallos eléctricos / mes	\$ 9.034,45
\$ Pérdidas económicas por fallos eléctricos / año	\$108.413,42

Una vez calculado el valor que se destina a solucionar los problemas generados por esta falla, calculamos el valor que nos costaría solucionar el problema desde cero, tomando en cuenta los estudios realizados, las modificaciones en las instalaciones y los materiales implementados en el sistema [23]

Un punto importante para señalar es que el costo de estudio de balanceo de cargas no se ve contemplado en el sistema debido a que son estudios propios, lo que si se contempló es el costo del personal técnico, ya que estos trabajos se realizarían en días en el que la planta no opere y se tiene que reconocer las horas extras.

Tabla 3.20: Costos totales para la implementación del estudio de balance de cargas.

Reconocimiento del sistema	\$ 3.000,00
Identificación de zonas con anomalías	\$ 2.000,00
Cambio de salida del transformador	\$ 2.500,00

Estudio de comportamiento del sistema	\$ 3.500,00
Suministros eléctricos (cables de diferentes calibres)	\$ 500,00
Mano de obra (Personal técnico de la Planta Salitral)	\$ 800,00
Implementación del estudio	\$ 9.300,00

Notamos que el costo económico que representaría hacer un balance en las líneas del sistema respalda implementar el estudio, debido a que, si bien es cierto, las adecuaciones tienen un valor más bajo que implementar, si tomamos en cuenta las pérdidas por tener la planta detenida, y el beneficio por realizar el balance, es considerablemente mayor.

3.6 Simulación de transientes de corriente de un motor de la Planta.

Para esta simulación se toma en consideración los parámetros eléctricos del motorreductor de 5 HP a 220 V de la nave de envasado, esto para realizar la simulación de los picos de corriente, cuando se considera un par de arranque de 22.40 Nm [24]

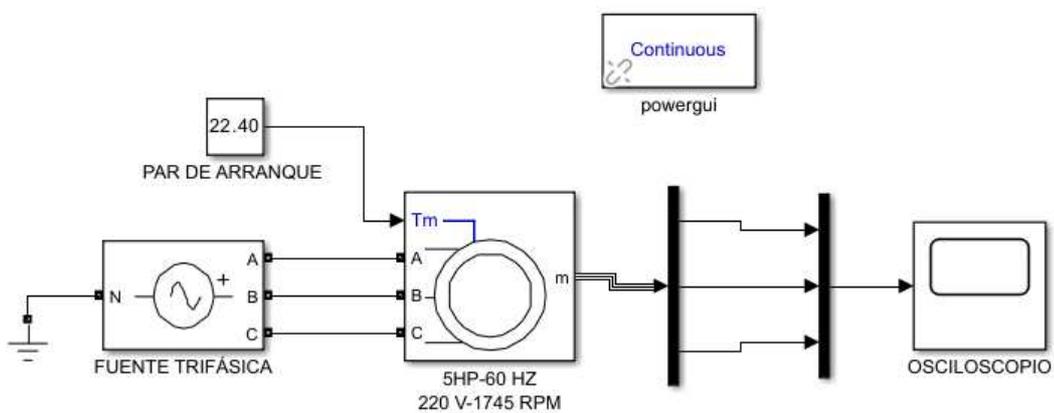


Figura 3.11: Simulación de un motor de inducción de 5 HP.

Los resultados muestran picos de corriente parecidos a los que ocurrieron a la realidad, estos cercanos a un promedio de 550 A.

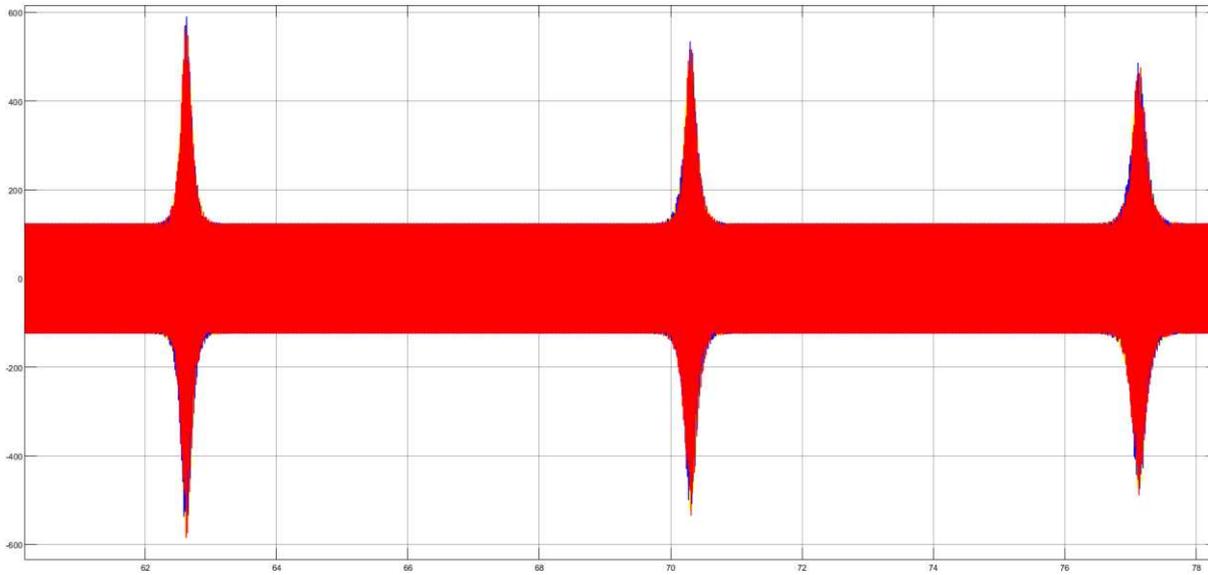


Figura 3.12: Simulación de los picos de corriente de un motor de 5 HP debido al desbalance de cargas.

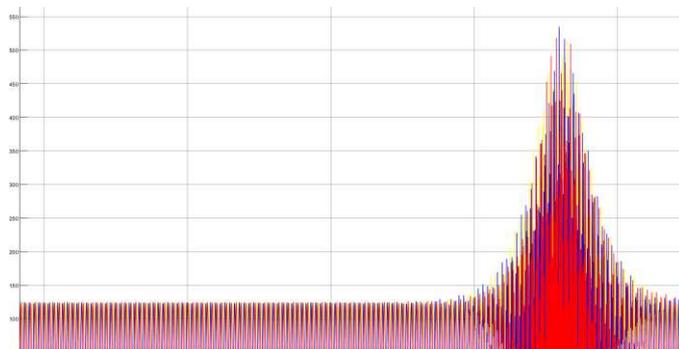


Figura 3.13: Visualización de las corrientes de fase cuando se genera el primer pico de corriente.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta sección se mostrarán las conclusiones y recomendaciones para este caso de estudio del balanceo de cargas, considerando los resultados obtenidos en las simulaciones y el análisis económico.

4.1 Conclusiones

1. Uno de los mayores problemas en las instalaciones industriales es el balance de las cargas que se implementan en el área, ya que existen muchos factores que determinarán el tipo de balance que se deba aplicar, desde la salida del transformador, hasta el tiempo de funcionamiento de los equipos. El desbalance de cargas acarrea muchos problemas consigo, además de picos de corriente anormales en el lado con mayor carga, si no también pérdidas por de energía, sobrecalentamiento de la línea con mayor carga, y cortes de energía por actuación de un breaker.
2. El estudio realizado en esta planta abarcó diferentes áreas, empezando por un reconocimiento unifilar del sistema, en el cual identificamos las zonas con mayores cargas y con mayor número de cargas que pueden presentar un problema en el balanceo, como lo son las cargas monofásicas y bifásicas, posterior a un cambio de la salida del transformador que se implementó para facilitar el balanceo de las cargas. Una vez conocido el sistema, se reconoció las cargas, para poder simularlas y se balanceen en el circuito simulado, acompañado de un estudio de cargas elaborado por nosotros.
3. Con las modificaciones realizadas se pudo resolver la diferencia tan marcada en el tema de desbalance por líneas, con esto garantizamos una operación menos forzada y menos daños severos a los transformadores, menos sobrecalentamiento en las líneas y menos pérdidas por aumento de corriente

en el sistema, dando como resultado un sistema más estable, el cual no se verá afectado al encender uno de los equipos de gran carga, que además no cuentan con un sistema de arranque suave.

4.2 Recomendaciones

1. El estudio previo al balance de cargas es de suma importancia, entre más detallado sea el estudio se tendrá más datos al momento de hacer el balance de cargas que nos permitirá hacer un balance más conveniente en el sistema, en nuestro caso nos sirvió para identificar zonas con picos de corriente y la línea con mayor carga. Por otro lado, se recomienda evaluar los equipos instalados para adecuar el sistema de la mejor manera, en este proyecto se determinó que hacer un cambio en la salida del transformador nos sería muy conveniente ya que nos facilitaría el balance del circuito además de no afectar la operación de las máquinas eléctricas.
2. Además, es importante simular el sistema antes de ejecutar la obra, ya que nos ayudaría a identificar fenómenos que tal vez no estemos considerando, como podría ser el paro de operación del sistema o equipos que no se estén alimentando correctamente.
3. Y finalmente, se recomienda que siempre se debe estudiar el sistema nuevamente para evidenciar que los efectos por desbalance se erradicaron y se cuenta con un sistema más confiable.

Bibliografía

Esta fue la bibliografía utilizada para la elaboración del proyecto:

- [1] “Seguridad industrial y salud - C. Ray Asfahl - Google Libros.” <https://books.google.com.ec/books?id=QxVrdulPs64C&pg=PA216&dq=gas+licuado+de+petroleo&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjrgOjXjZj7AhUFTDABHQjgDp0Q6AF6BAgDEAI#v=onepage&q=gas%20licuado%20de%20petroleo&f=false> (accessed Nov. 09, 2022).
- [2] Banco Central del Ecuador, “Análisis del sector petrolero,” 2022. <https://contenido.bce.fin.ec/documentos/Estadisticas/Hidrocarburos/ASP202201.pdf> (accessed Nov. 09, 2022).
- [3] L. Sánchez and O. Reyes, “Elementos para una reforma fiscal ambiental.”
- [4] D. Peña, A. Neira, and Ruiz Reynel, “Aplicación de técnicas de balanceo de línea para equilibrar las cargas de trabajo en el área de almacenaje de una bodega de almacenamiento”, Accessed: Nov. 18, 2022. [Online]. Available: <https://www.redalyc.org/pdf/849/84950585006.pdf>
- [5] “IEEE Xplore Full-Text PDF:” <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=475495> (accessed Nov. 10, 2022).
- [6] “Vista de Implementación de un analizador de redes trifásico a bajo costo.” http://investigacionistct.ec/ojs/index.php/investigacion_tecnologica/article/view/14/3 (accessed Nov. 10, 2022).
- [7] Schneider electric, “PM5340 - Central de medida - Ethernet, hasta 31 H, 256K 2DI/2DO 35 alarmas,” 2022. <https://www.se.com/es/es/product/METSEPM5340/pm5340-central-de-medida-ethernet-hasta-31-h-256k-2di-2do-35-alarmas/> (accessed Nov. 10, 2022).
- [8] Chapman, “MÁQUINAS ELÉCTRICAS.”
- [9] Miguel Watt, “¿Qué es la corriente monofásica, bifásica y trifásica?,” Mar. 05, 2020. <https://vreelectricaciones.com/que-es-la-corriente-monofasica-bifasica-y-trifasica/#:~:text=Suministro%20monof%C3%A1sico&text=En%20cada%20ciclo%2C%20un%20voltaje,trif%C3%A1sico%20compartido%20en%20dos%20fases.> (accessed Dec. 22, 2022).
- [10] “REGULACION No. CONELEC – 004/01,” May 23, 2001. <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-CalidadDeServicio.pdf> (accessed Dec. 03, 2022).
- [11] REGULACION No. CONELEC-004/02, “Transacciones de potencia reactiva en el MEM”, Accessed: Dec. 22, 2022. [Online]. Available: http://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/CONELEC-PotenciaReactiva-004_02.pdf

- [12] REGULACIÓN No. ARCONEL 005/18, “Resolución Nro. ARCONEL-053/18”, Accessed: Dec. 22, 2022. [Online]. Available: <https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/03/053-18-Proyect-Regulac-Sustitutiva-a-Reg-N-CONELEC-004-01-Calidad-del-servicio-de-dist-y-comercializaci%C2%A6n-de-EE.pdf>
- [13] Marlés Sáenz Eduardo, Palomino de la Cruz Jairo, and Sierra Garzón Hernando, *Fundamentos de circuitos eléctricos II Colección Ciencias físicas, exactas y naturales*, 2a. Edición. Cali, 2018.
- [14] “Duragas Abastible.” <https://www.duragas.com.ec/> (accessed Dec. 22, 2022).
- [15] MONSAELECTRIC, “Venta de materiales eléctricos-automatización-mantenimiento-asesoria y soluciones eléctricas.” Accessed: Aug. 20, 2022. [Online]. Available: <https://www.monsaelectric.com/>
- [16] ARCONEL, “REGULACIÓN No. ARCONEL XXX/18 EL DIRECTORIO DE LA AGENCIA DE REGULACIÓN Y CONTROL DE ELECTRICIDAD”, Accessed: Dec. 26, 2022. [Online]. Available: https://www.regulacionelectrica.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/07/2018_07_09_proyecto-regulacion-calidad-distribucion_V12.pdf
- [17] Figueroa Figueroa, O. N. (2015). Definición de plan de mantenimiento óptimo para equipos críticos de una planta de laminación.
- [18] Bravo Revilla, V. A. (2018). Diseño del sistema de utilización en media tensión a nivel de 22.9 Kv y subestación tipo caseta de 1000Kva para la empresa congelados Gutiérrez.
- [19] Rodríguez, M. R. S. (2018). Análisis de la normatividad eléctrica aplicada a las actividades del sector eléctrico en la construcción y mantenimiento de redes eléctricas de distribución. LOGINN Investigación Científica y Tecnológica.
- [20] Angela Gineth, P. A., & Vásquez Riaño, C. A. (2021). La capacitación necesita más que una certificación, propuesta para la formación en trabajo seguro en alturas en una empresa especializada en el campo eléctrico de la zona Caribe del país.
- [21] Anda Gaibor, C. A. (2019). Índice de levantamiento de carga basado en la multitarea en las operaciones de producción de cuero en la empresa Tenería Díaz Cia Ltda (Bachelor's thesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería en Sistemas, Electrónica e Industrial. Carrera de Ingeniería Industrial en Procesos de Automatización).
- [22] Meza Cely, C. E., & Sabogal Moreno, A. F. (2018). Análisis de metodologías para la cuantificación de pérdidas económicas por presencia de armónicos eléctricos y ocurrencia de SAGS de tensión.
- [23] Rey Paba, E. N. Diseño e implementación de un tablero de distribución eléctrica bifásico inteligente de cuatro circuitos, basado en tecnología Arduino, para minimizar el impacto negativo ocasionado por los desbalances de cargas monofásicos y algunos tipos de perturbaciones frecuentes en las redes eléctricas.
- [24] Simba Luna, K. G. (2018). Estimación de parámetros de un motor trifásico de inducción a partir de mediciones en el arranque directo de corrientes transitorias

del estator utilizando la herramienta de estimación de parámetros de Matlab/Simulink (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).

- [25] Pérez, P. A. (2020). Transformadores de distribución. Teoría, cálculo, construcción y pruebas. Reverté.

Apéndices

Apéndice A: Definiciones

Permiso de Trabajo (PT): Es un documento escrito en la que el jefe del Centro Operativo o responsable de cualquier instalación concede la autorización para la realización de un trabajo; que incluye la ubicación y el tipo de actividad a realizar. El documento certifica que los riesgos fueron evaluados por el personal capacitado y se determinaron las medidas de control necesarias para la realización segura del trabajo.

Actividades Críticas: Todo trabajo que, dada su importancia y especificidad de acuerdo con el giro de la compañía, presente riesgos para la Seguridad Industrial y Salud Ocupacional, durante su ejecución y que se encuentre definido y tipificado en el “Listado de trabajos Críticos”.

Análisis de Trabajo Seguro (ATS): Es un documento que permite identificar los peligros y evaluar los riesgos asociados a las actividades técnicas, elaborado en la fase de planificación y complementado en el lugar de trabajo previo a la ejecución de las actividades, siguiendo una metodología establecida de evaluación de riesgos definida por Duragas, para el desarrollo de: proyectos, trabajos de alta energía y trabajos con presencia de GLP en tuberías y tanques, trabajos esporádicos con frecuencia superior a la anual, o cuando lo solicite el Jefe de Centro de Trabajo o el Área de Seguridad y Medioambiente. Este registro no reemplaza al registro de Permiso de Trabajo.

Intrínsecamente Seguro: Una condición en que la cantidad de energía eléctrica o térmica están limitadas a niveles que son insuficientes para encender una atmósfera potencialmente peligrosa.

Energía Peligrosa: Cualquier energía eléctrica, mecánica, hidráulica, neumática, química, nuclear, térmica, gravedad u otra que podría causar daños al personal.

LOTO o Sistema Lock-Out/Tag-Out (Bloqueo y Etiquetado): Instalación de un dispositivo de bloqueo y de tarjeta sobre un mecanismo, que aísla energía (eléctrica, neumática, térmica, etc.) a fin de garantizar que el equipo/maquina/instalación controlada

no pueda ser operado o entrar en funcionamiento hasta la culminación de los trabajos. Garantiza que no se libere abruptamente la energía.

Trabajo en Altura: Se entiende por trabajo en altura a aquellas tareas que involucran circular o trabajar a un nivel cuya diferencia de cota sea igual o mayor al estándar técnico legal establecido en Ecuador (1,80 m) con respecto al plano horizontal inferior más próximo, y donde exista riesgo de caída. También son trabajos en altura las actividades que se desarrollan al ras del piso cerca de pozos o excavaciones profundas mayores al estándar técnico legal igualmente establecido.

Trabajos Eléctricos: Todas las labores que impliquen el trabajo en líneas eléctricas o próximas a estas, que impliquen un riesgo por contacto y/o inducción eléctrica, que puede generar la electrocución del trabajador o incendio, afectando la seguridad de las personas y las instalaciones.

Dispositivos móviles de seguridad intrínseca: Son dispositivos de comunicación que cuentan con certificación intrínseca, es decir, reducen la energía disponible a un nivel tan bajo que se garantiza que no se provocará ignición.

Activo industrial: Cada una de las instalaciones y/o establecimientos propios y operados por la compañía, necesarios para el ejercicio de sus actividades.

Apéndice B: Información técnica de los equipos de la planta de Duragas-Pifo

Tabla B.1: Dato técnico de placa de los equipos de Duragas-Pifo

Equipo	Dato técnico de placa
Unidad motriz 1	WEG Tipo 100L 04-03 60HZ 2,2 kW 1710 rpm cos°0,83
Unidad motriz 2	WEG Tipo 100L 04-03 60HZ 2,2 kW 1710 rpm cos°0,83
Unidad motriz 3	WEG Tipo 100L 04-03 60HZ 2,2 kW 1710 rpm cos°0,83
Unidad motriz 4	WEG Tipo 100L 04-03 60HZ 2,2 kW 1710 rpm cos°0,83
Unidad motriz 5	WEG Tipo 100L 04-03 60HZ 3 kW 1705 rpm cos°0,84
Unidad motriz del carrusel	WEG Tipo 100L 04-03 60HZ 2,2 kW 1710 rpm cos°0,83
Termo selladora	
Carrusel de llenado	Consta de 24 balanzas, con control de tara modo mecánico
Detectora de fugas	Fuga 100%propano:2g/hora ISO 8575 clase2 P 7bar
Balanza de control	Max 120Kg: Min 2Kg e 0,1Kg
Balanza de llenado	Max 120Kg: Min 2Kg e 0,1Kg
Cofre de Control de 220V	Norma IRAM I-AP-IEC 79/01 220V
Cofre de Control de 220V	Norma IRAM I-AP-IEC 79/01 220V
Cofre de Control de 220V	Norma IRAM I-AP-IEC 79/01 220V
Compresor de Aire 6025	

Compresor de Aire 6020	
Compresor de GLP 1	BLACMER GAS COMPRESOR LB361B
Compresor de GLP 2	BLACMER GAS COMPRESOR LB361V
Compresor de GLP 3	BLACMER GAS COMPRESOR LB361V
Bomba de GLP Principal	STERLING FLUID SISTEMS S.A 78190 TRAPPERS
Bomba de GLP 2	MODE: HRA RATIO 2,76 CODE 03-98
Bomba de GLP 3	
Estacionarios	Industria Acero de los Andes 1m3 11452
Estacionarios	Industria Acero de los Andes 100m3 C 00 10814
Estacionarios	Industria Acero de los Andes 100m3 C 00 10951
Estacionarios	Industria Acero de los Andes 100m3 C 00 11216
Tanque de Aire	
Generador de Emergencia	Kohler 150R07JB1 188KVA 155KW 220V/440V
Transformador	MARCA MAGNETRON SERIE 49849 POTENCIA 250kva
Bomba principal DCI	AP AURORA TYPE 6-4B1-15B FIRE PUMP 2000GPM
Bomba secundaria 1	HIDROSTAL FIRE PUMP 125-400-11 S/M 500GPM
Bomba secundaria 2	HIDROSTAL FIRE PUMP 125-400-12 S/M 500GPM
Bomba jockey	N° 03972748 GPM 20 TYPE A 392-9 RPM 3600
Banco de Capacitores	OTESA S.A Marzo 98 Un 220V KVAR 60 In 300A
Cofre principal de fuerza	150A / 220V
Cofre principal de fuerza	150A / 220V
Cofre EX de arrancadores	Está diseñado para un arrancador directo de 15hp / 220-440vac /3ph
Cofre EX de arrancadores	Está diseñado para un arrancador directo de 15hp / 220-440vac /3ph
Cofre EX de arrancadores	Está diseñado para un arrancador directo de 15hp / 220-440vac /3ph
Cofre EX de arrancadores	Está diseñado para un arrancador directo de 15hp / 220-440vac /3ph
Cofre EX de arrancadores	Está diseñado para un arrancador directo de 15hp / 220-440vac /3ph
Cofre EX de arrancadores	Está diseñado para un arrancador directo de 15hp / 220-440vac /3ph
Botonera de paro y marcha	Tiene dos contactos abiertos y dos cerrados, trabaja a 220vac
Botonera de paro y marcha	Tiene dos contactos abiertos y dos cerrados, trabaja a 220vac
Botonera de paro y marcha	Tiene dos contactos abiertos y dos cerrados, trabaja a 220vac
Botonera de paro y marcha	Tiene dos contactos abiertos y dos cerrados, trabaja a 220vac
Botonera de paro y marcha	Tiene dos contactos abiertos y dos cerrados, trabaja a 220vac
Botonera de paro y marcha	Tiene dos contactos abiertos y dos cerrados, trabaja a 220vac

Tabla B.2: Información técnica de los equipos de Duragas-Pifo.

Equipo	Tipo de servicio	Descripción técnica	Ubicación técnica	Capacidad de servicio
Unidad motriz 1	Envasado	Equipo de transportación	Nave de envasado	Sistema de envasado
Unidad motriz 2	Envasado	Equipo de transportación	Nave de envasado	Sistema de envasado
Unidad motriz 3	Envasado	Equipo de transportación	Nave de envasado	Sistema de envasado
Unidad motriz 4	Envasado	Equipo de transportación	Nave de envasado	Sistema de envasado
Unidad motriz 5	Envasado	Equipo de transportación	Nave de envasado	Sistema de envasado
Unidad motriz del carrusel	Envasado	Equipo motriz de carrusel	Nave de envasado	Sistema de envasado
Termo selladora	Envasado	Equipo de sellado de cilindros	Nave de envasado	Sistema de envasado
Carrusel de llenado	Envasado	Equipo de llenado de cilindros	Nave de envasado	Sistema de envasado
Detector de fugas	Envasado	Equipo de control de fugas	Nave de envasado	Sistema de envasado
Balanza de control	Envasado	Equipo de control de pesos	Nave de envasado	Sistema de envasado
Balanza de llenado	Envasado	Equipo de llenado de cilindros	Nave de envasado	Sistema de envasado
Cofre de Control de 220V	Servicios Generales	3 Arrancadores Directos	Nave de envasado	Tablero de distribución APE
Cofre de Control de 220V	Servicios Generales	2 Arrancadores Directos	Nave de envasado	Tablero de distribución APE
Cofre de Control de 220V	Servicios Generales	1 Arrancador Directo	Nave de Envasado	Tablero de Distribución APE
Compresor de Aire 6025	Servicios Generales	Equipo Generador de Aire a Presión	Nave de Mantenimiento de cilindros	Sistema de Aire Comprimido
Compresor de Aire 6020	Servicios Generales	Equipo Generador de Aire a Presión	Nave de Mantenimiento de cilindros	Sistema de Aire Comprimido
Compresor de GLP 1	Servicios Generales	Equipo Generador de Presión	Cuarto de Bombas y Compresores de GLP	Sistema de Evacuación de GLP
Compresor de GLP 2	Servicios Generales	Equipo Generador de Presión	Cuarto de Bombas y Compresores de GLP	Sistema de Evacuación de GLP
Compresor de GLP 3	Servicios Generales	Equipo Generador de Presión	Cuarto de Bombas y Compresores de GLP	Sistema de Evacuación de GLP
Bomba de GLP Principal	Servicios Generales	Centrifuga Multietapas	Cuarto de Bombas y Compresores de GLP	Sistema de Bombeo de GLP
Bomba de GLP 2	Servicios Generales	Centrifuga Multietapas	Cuarto de Bombas y	Sistema de Bombeo de GLP

			Compresores de GLP	
Bomba de GLP 3	Servicios Generales	Centrifuga Multietapas	Cuarto de Bombas y Compresores de GLP	Sistema de Bombeo de GLP
Estacionarios	Servicios Generales	Tanques de Almacenamiento de GLP	Área de Evacuación de Cilindros	Sistema de Abastecimiento de GLP
Estacionarios	Servicios Generales	Tanques de Almacenamiento de GLP	Tanques Estacionarios	Sistema de Abastecimiento de GLP
Estacionarios	Servicios Generales	Tanques de Almacenamiento de GLP	Tanques Estacionarios	Sistema de Abastecimiento de GLP
Estacionarios	Servicios Generales	Tanques de Almacenamiento de GLP	Tanques Estacionarios	Sistema de Abastecimiento de GLP
Tanque de Aire	Taller de Cilindros	Tanques de Aire Comprimido	Nave de Mantenimiento de Cilindros	Sistema Taller de Cilindros
Generador de Emergencia	Servicios Generales	Equipo de Generación Eléctrica	Cuarto de Generador Eléctrico	Subestación Eléctrica
Transformador	Servicios Generales	Equipo de Transformación Eléctrica	Cuarto de Transformador	Subestación Eléctrica
Bomba principal DCI	Servicios generales	Bomba centrífuga horizontal	Cuarto de bomba de DCI	Sistema de defensa contra incendios
Bomba secundaria 1	Servicios generales	Bomba centrífuga horizontal	Cuarto de bomba de DCI	Sistema de defensa contra incendios
Bomba secundaria 2	Servicios generales	Bomba centrífuga horizontal	Cuarto de bomba de DCI	Sistema de defensa contra incendios
Bomba jockey	Servicios generales	Bomba eléctrica	Cuarto de bomba de DCI	Sistema de defensa contra incendios
Banco de Capacitores	Servicios Generales	Equipo Compensador de Reactivos	Cuarto de Generador eléctrico	Subestación Eléctrica
Cofre principal de fuerza	Servicios Generales	Breaker Fuerza	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre principal de fuerza	Servicios Generales	Breaker Fuerza	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre principal de fuerza	Servicios Generales	Breaker Fuerza	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre principal de fuerza	Servicios Generales	Breaker Fuerza	Cuarto de Bombas y	Tableros de Distribución APE

			Compresores GLP	
Cofre EX de arrancadores	Servicios Generales	Caja donde se ubican los contactores y térmicos	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre EX de arrancadores	Servicios Generales	Caja donde se ubican los contactores y térmicos	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre EX de arrancadores	Servicios Generales	Caja donde se ubican los contactores y térmicos	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre EX de arrancadores	Servicios Generales	Caja donde se ubican los contactores y térmicos	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre EX de arrancadores	Servicios Generales	Caja donde se ubican los contactores y térmicos	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Cofre EX de arrancadores	Servicios Generales	Caja donde se ubican los contactores y térmicos	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Botonera de paro y marcha	Servicios Generales	---	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Botonera de paro y marcha	Servicios Generales	---	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Botonera de paro y marcha	Servicios Generales	---	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Botonera de paro y marcha	Servicios Generales	---	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Botonera de paro y marcha	Servicios Generales	---	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE
Botonera de paro y marcha	Servicios generales	---	Cuarto de Bombas y Compresores GLP	Tableros de Distribución APE

Apéndice C: Simulación de los tableros desbalanceados (Estado actual)

PANEL DUCHAS

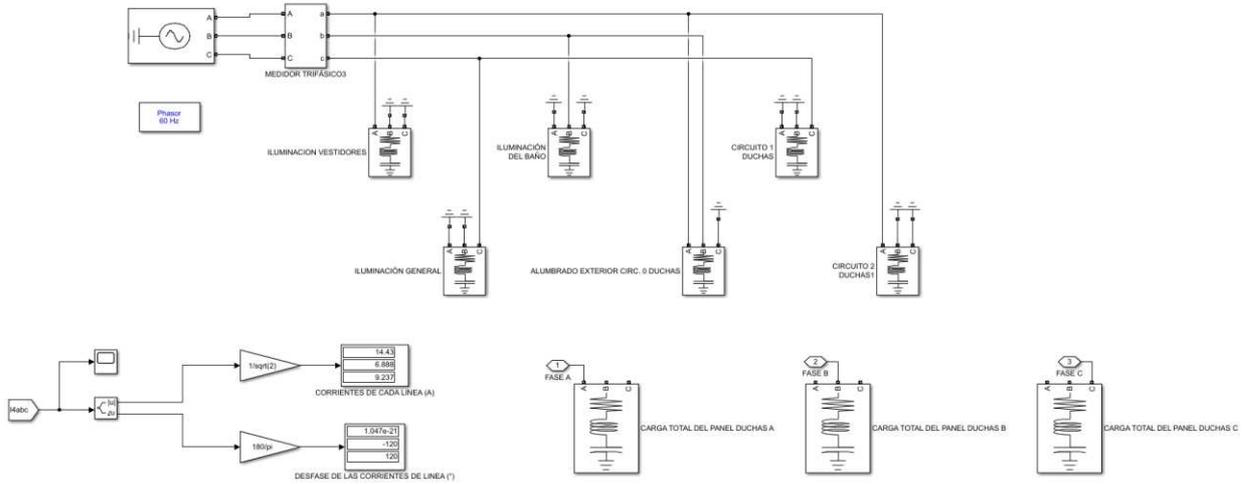


Figura C.1: Simulación desbalanceada del panel comedor

PANEL COMEDOR

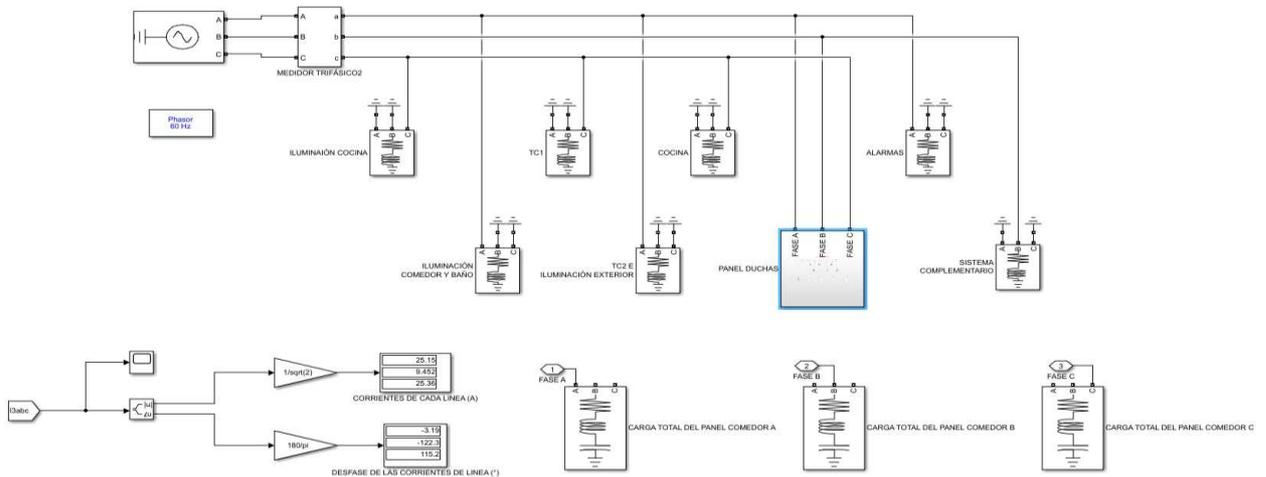


Figura C.2: Simulación desbalanceada del panel comedor

PANEL SALA DE ESPERA

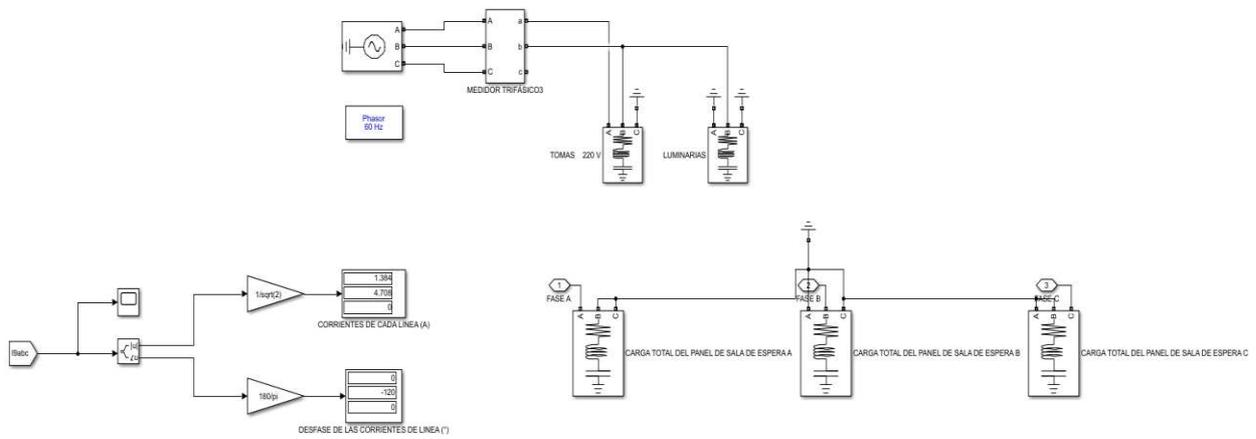


Figura C.3: Simulación desbalanceada del panel sala de espera

PANEL BLOQUE ADMINISTRATIVO

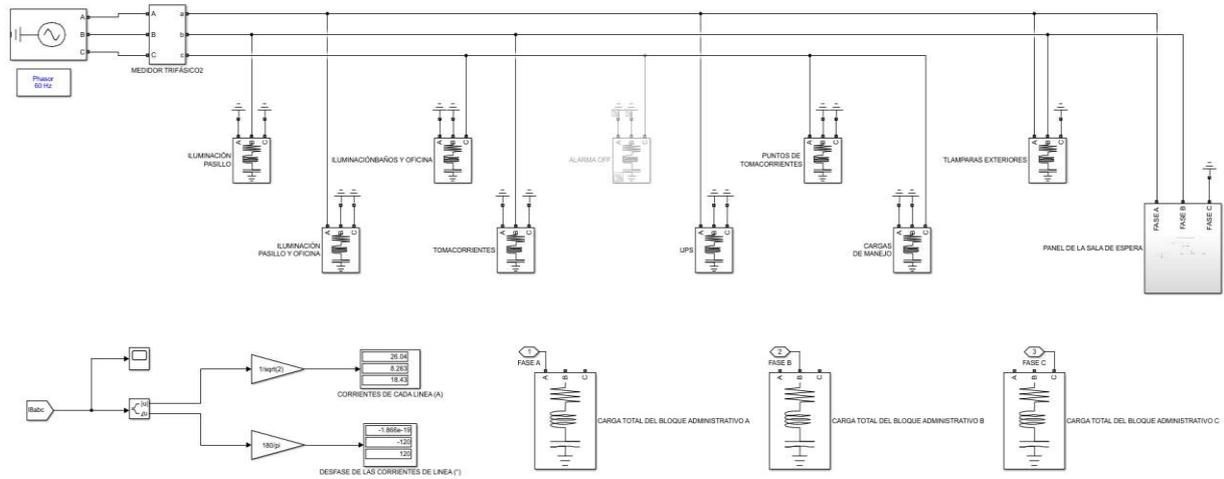


Figura C.4: Simulación desbalanceada del panel bloque administrativo.

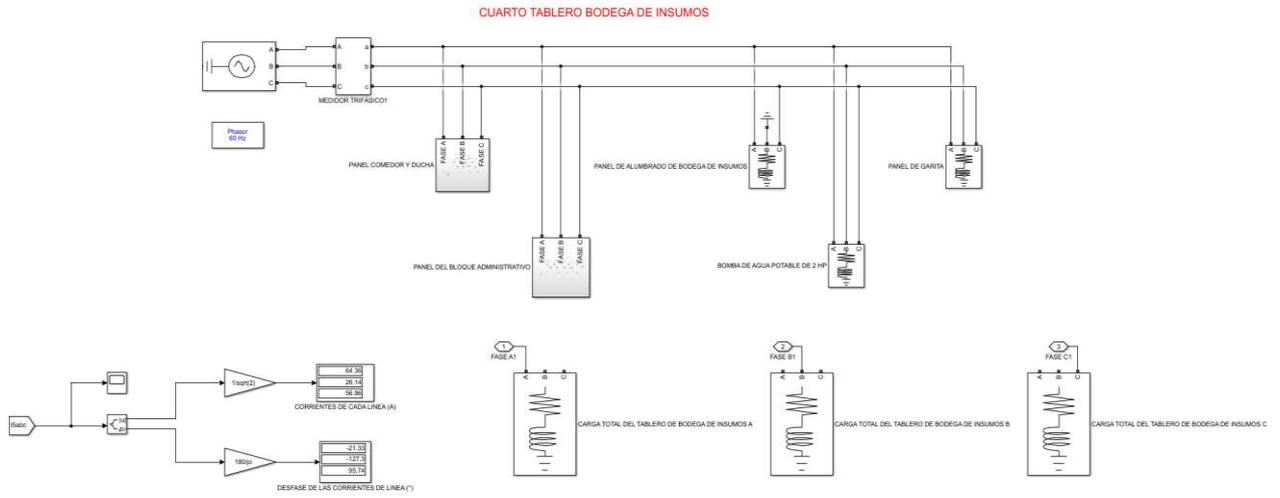


Figura C.5: Simulación desbalanceada del cuarto tablero bodega de insumos.

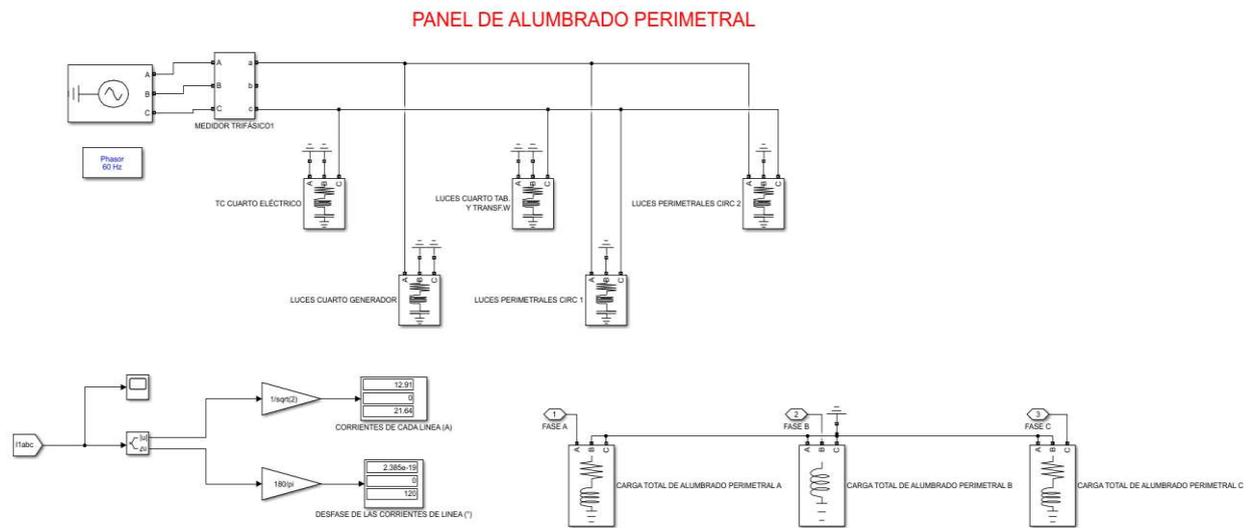


Figura C.6: Simulación desbalanceada del panel de alumbrado perimetral.

NAVE DE ENVASADO

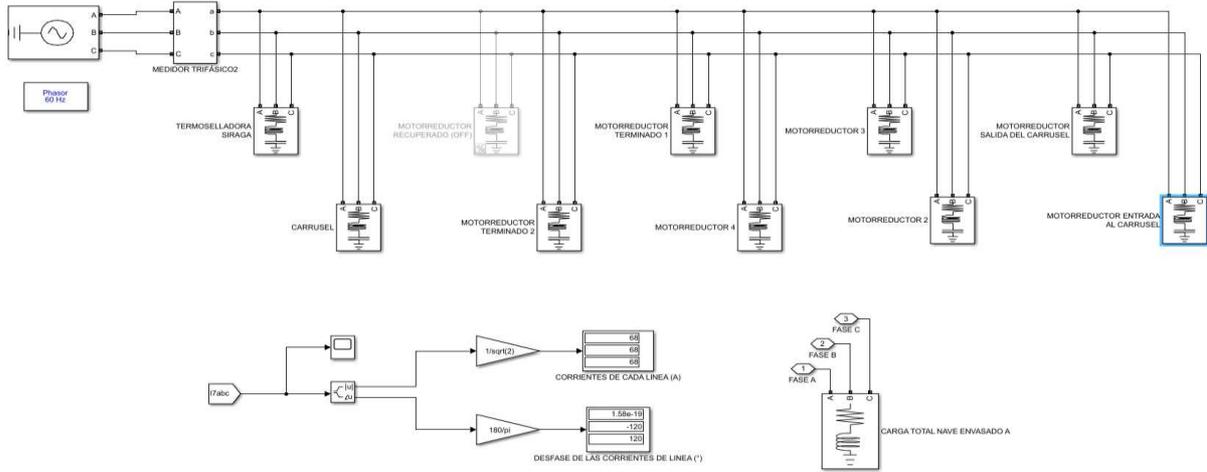


Figura C.7: Simulación desbalanceada del panel nave de envasado.

NAVE DE MANTENIMIENTO DE CILINDROS

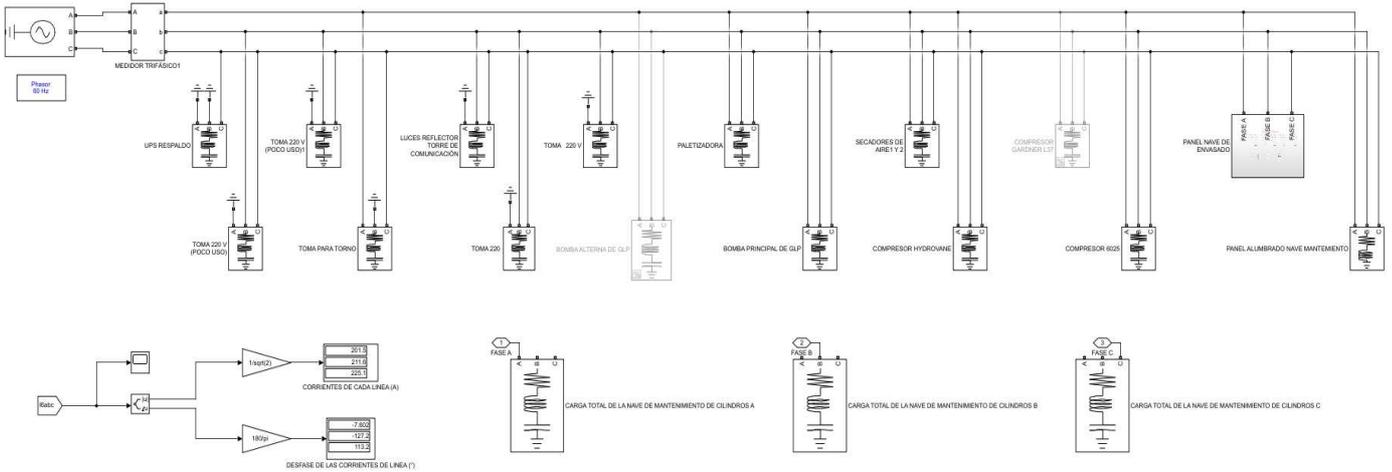


Figura C.8: Simulación desbalanceada del panel nave de mantenimiento de cilindros.

SALA DE BOMBAS Y COMPRESORES DE GLP

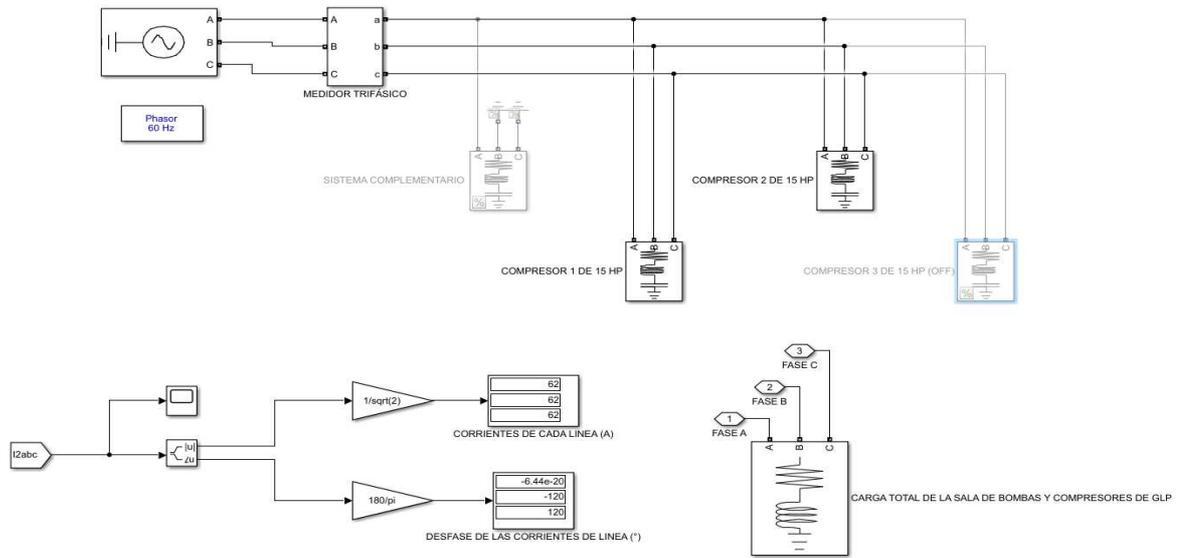


Figura C.9: Simulación desbalanceada del panel sala de bombas y compresores de GLP.

PANEL DE CONTROL SECUNDARIO

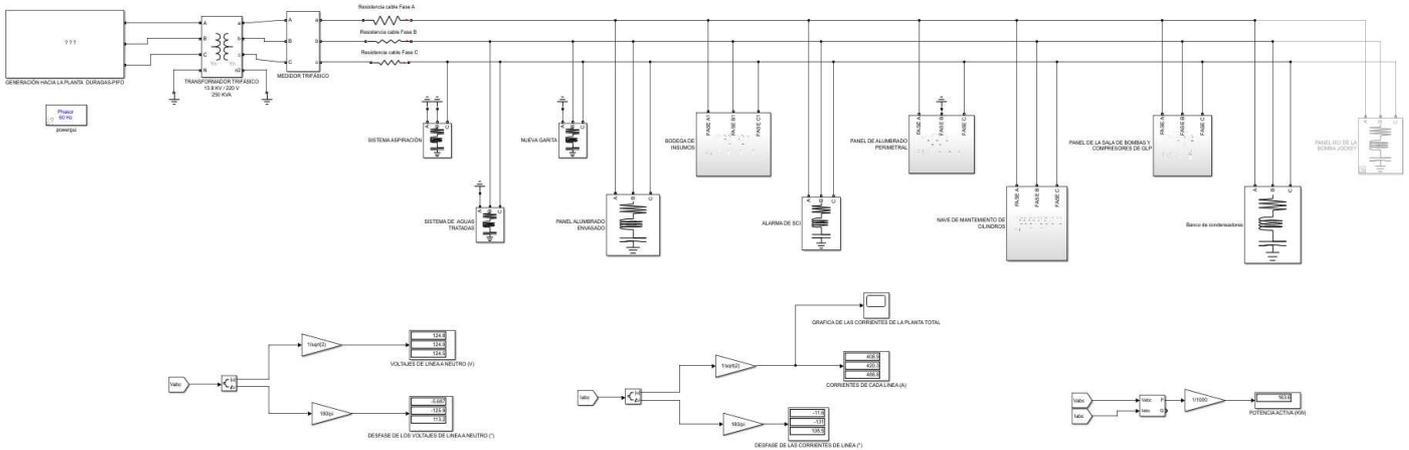


Figura C.10: Simulación desbalanceada del panel de control secundario.

Apéndice D: Imágenes del levantamiento eléctrico en Duragas-Pifo.



Figura D.1: Collage del levantamiento de cargas de la empresa Duragas-Pifo

Apéndice E: Diagrama Unifilar de la planta de Duragas-Pifo.

Figura E.1: Diagrama Unifilar de Duragas-Pifo

DIAGRAMA UNIFILAR ACTUAL PLANTA PIFO

