



UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTROENERGÉTICA

TRABAJO DE DIPLOMA

**"Niveles de cortocircuito y análisis de interruptores de medio
voltaje en la fábrica Cemento Cienfuegos S.A."**

Autor: César Alexei Cárdenas Cabrera

Tutores: MSc. Emilio Francesena Bacallao.

Dr.C. José Luís Romero Cabrera.

Santa Clara, Cuba, 2017



UNIVERSIDAD CENTRAL “MARTA ABREU” DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
DEPARTAMENTO DE ELECTROENERGÉTICA

TRABAJO DE DIPLOMA

“Niveles de cortocircuito y análisis de interruptores de medio voltaje en la fábrica Cemento Cienfuegos S.A.”

Autor: César Alexei Cárdenas Cabrera.

Email: cccabrera@uclv.cu

Tutores: MSc. Emilio Francesena Bacallao.

Email: emiliof@uclv.edu.cu

Centro de procedencia: Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas.

Dr.C. José Luís Romero Cabrera.

Email: jrcabrera@cementoscfg.com

Centro de procedencia: Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A.

Santa Clara, Cuba, 2017



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Eléctrica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de
Departamento donde se
defiende el trabajo

Firma del Responsable
de Información
Científico-Técnica

PENSAMIENTO

Años hace, la electricidad era fuerza rebelde, destructora y confusa. Hoy obedece al hombre, como caballo domado."

José Martí

DEDICATORIA

A Dios, porque sin la fe en él nada sería posible.

A mis padres, por estar siempre presentes en los momentos más importantes de mi vida, por el ejemplo que me han dado y por ocupar el mejor sitio de mi corazón.

A mi abuela Mireya, por haberme enseñado a leer y escribir mis primeras palabras.

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores que tuvieron que ver en mi formación como un profesional competente.

A Dayana, mi novia, por andar a mi lado y tirar de mi mano cuando los caminos parecían no tener salida en los inicios de este proyecto.

A los miembros de mi familia que estuvieron conmigo en cada una de las batallas libradas para lograr este sueño.

A todas las personas que de una forma u otra me brindaron su apoyo incondicional.

A todos muchas gracias.

TAREAS TÉCNICAS

1. Revisión de la literatura relacionada con el tema.
2. Actualización completa del monolineal y definición con la empresa sobre los regímenes de operación que se utilizarán en el cálculo de cortocircuitos.
3. Simulación del diagrama monolineal en el programa IPA, con el equipamiento eléctrico de la empresa Cemento Cienfuegos S.A.
4. Ejecución en el programa IPA de los regímenes de operación definidos, para obtener los niveles de cortocircuito.
5. Análisis de la capacidad momentánea e interruptiva de los interruptores de 6 kV de la fábrica y recomendación de medidas correctivas en caso necesario.
6. Confección y redacción del informe acorde a las normas establecidas.

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en la Empresa Mixta Cemento Cienfuegos S.A en la provincia de Cienfuegos, cuyo objetivo principal fue hacer un análisis de los interruptores de 6 kV instalados en la industria con el fin de verificar si su selección inicial y/o aplicación actual es correcta. Para ello se realizó un estudio de cortocircuito máximo que permitió obtener los niveles de corriente de falla en cada una de las barras a este nivel voltaje. Para la obtención de los datos requeridos se hizo uso de la documentación disponible en la empresa, de la información brindada por el personal calificado en la materia y de un intenso trabajo práctico en el terreno. El procesamiento de la información y el logro de los resultados se obtuvo haciendo uso del software IPA. A partir de la obtención de los resultados se pudo verificar que todos los interruptores instalados en la planta en este nivel de voltaje están bien seleccionados, puesto que sus capacidades momentáneas e interruptivas están por encima del valor máximo de cortocircuito a los que pudieran enfrentarse. También se pudieron verificar los resultados obtenidos en el software IPA haciendo una comparación de estos con el programa ETAP 12.6.0, programa certificado internacionalmente, comprobándose la credibilidad de los resultados alcanzados en el IPA.

Palabras Claves: cortocircuito, interruptores, capacidad momentánea, capacidad interruptiva.

ÍNDICE

PENSAMIENTO.....	III
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
TAREAS TÉCNICAS	VI
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO 1. Cortocircuito e interruptores de media tensión	7
1.1 Corriente de cortocircuito	8
1.2 Tipos de cortocircuitos	9
1.2.1 Falla monofásica.....	10
1.2.2 Falla bifásica.....	11
1.2.3 Falla bifásica a tierra	12
1.2.4 Falla trifásica.....	13
1.3 Fuentes de cortocircuito	13
1.3.1 La empresa de suministro eléctrico	14
1.3.2 Los generadores sincrónicos	14
1.3.3 Los motores sincrónicos.....	16
1.3.4 Los motores de inducción.....	16
1.4 Asimetría de la corriente de cortocircuito.....	18
1.4.1 Componente de AC y DC de la corriente de cortocircuito.....	18
1.4.2 Magnitud y duración de la corriente de cortocircuito.....	18
1.4.3 Corriente total de cortocircuito.....	19
1.4.4 Importancia del cálculo de la corriente asimétrica de cortocircuito	19
1.5 Interruptores de alta y media tensión	20
1.5.1 Tipos de interruptores según el medio y modo de extinción del arco eléctrico	20
1.6 Capacidades interruptivas y esfuerzos momentáneos	25
1.6.1 Capacidad interruptiva	26
1.6.2 Capacidad momentánea.....	26

CAPÍTULO 2. Metodología a emplear para el estudio y descripción de la empresa.....	27
2.1 Norma ANSI/IEEE	27
2.1.1 La red de primer ciclo.....	27
2.1.2 La red de interrupción	29
2.1.3 La red de 30 ciclos.....	33
2.2 Descripción del software IPA	33
2.2.1 Corrientes de cortocircuito calculadas por el IPA.....	35
2.2.2 Procedimiento del IPA para el chequeo de los interruptores de alto voltaje	35
2.3 Descripción del sistema eléctrico de la empresa.....	36
2.4 Confección del monolineal	43
2.5 Escenarios de operación de la planta a analizar	46
CAPÍTULO 3. Cálculo de cortocircuito y chequeo de interruptores de media tensión	47
3.1 Niveles de cortocircuito en las barras de 6 kV para cada uno de los escenarios de operación.....	47
3.2 Máximo valor de cortocircuito en las barras de 6 kV y escenarios en los que puede presentarse.....	51
3.3 Chequeo de interruptores de media tensión	52
3.4 Niveles de cortocircuito en las barras de 6 kV para el estado de operación No.6 según el software ETAP 12.6.0.....	56
CONCLUSIONES	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
OTRAS FUENTES CONSULTADAS	61
ANEXOS	63

INTRODUCCIÓN

En cualquier comercio, industria o institución, uno de los sistemas bases y de los más importantes es el sistema eléctrico, por lo cual es fundamental que sea confiable y se garantice su disponibilidad en todo momento. Los sistemas eléctricos industriales, desempeñan un papel importante para el pleno desarrollo de un país, apoyando a los principales sectores industriales como la industria Siderúrgica, Metalúrgica, Cementera, Química, Petroquímica, Alimentaria y Textil principalmente. Por lo anterior se ha producido un desarrollo crucial en la sociedad, fomentando el crecimiento económico, social, científico y tecnológico.

Una planta industrial es un conjunto formado por máquinas, aparatos y otras instalaciones dispuestas convenientemente en edificios o lugares adecuados, cuya función es transformar materias o energías de acuerdo a un proceso básico preestablecido. La función del hombre dentro de este conjunto es la utilización racional de estos elementos, para obtener mayor rendimiento de los equipos.

El continuo crecimiento de plantas industriales por el aumento en su producción se realiza en forma paralela al aumento de potencia instalada en los equipos, principalmente en motores. Un sistema eléctrico industrial moderno requiere tener características técnicas de funcionamiento aceptables, algunas de las cuales pueden ser: seguridad, confiabilidad, regulación de tensión, calidad de la energía eléctrica, etc.

Tal situación requiere la realización de estudios eléctricos en sistemas industriales, tanto en la etapa de planificación, como en la de operación, ampliación y mantenimiento. Un aspecto que interesa es el dimensionamiento de equipos de protección, particularmente interruptores, ante la eventualidad de una falla, considerando la influencia de equipos rotatorios (motores y generadores).

Existen muchas herramientas y análisis del sistema eléctrico, uno de ellos es el estudio de cortocircuito que tiene como principal objetivo analizar el comportamiento del sistema en un evento de este tipo, con el fin de garantizar que todos sus

componentes sean capaces de soportar grandes niveles de energía a los que se somete el sistema en estos casos.

Este tipo de estudio es importante pues una inadecuada selección de un alimentador, interruptor o una protección, puede provocar daños irreversibles, inclusive su destrucción, donde la avería en estos puede derivar en una explosión y ocasionar un incendio.

Los estudios de cortocircuito se deben realizar al momento de diseñar el sistema eléctrico, y luego actualizarse cuando se realicen modificaciones importantes o remodelaciones como sería el caso de:

- Cambios en la capacidad de cortocircuito de la red de distribución o suministro, debido a que por nuevos generadores y líneas de transmisión que se incorporan al sistema, la capacidad de cortocircuito tiende a crecer.
- Cambios en la configuración del sistema primario o secundario de la instalación industrial.
- Cambio en los transformadores o en las impedancias de los mismos.
- Cambio en la longitud o dimensiones de los conductores.
- Aumento de los motores internos de la empresa.

Sin embargo la buena práctica aconseja, que dichos estudios deben de realizarse por lo menos cada cinco años en las instalaciones. Es a consecuencia de las ampliaciones y modificaciones del sistema, donde los ingenieros a cargo del mantenimiento adquieren responsabilidad, de hacer el reemplazo de interruptores o fusibles, o dotar la instalación de dispositivos limitadores de corriente, como los reactores.

El presente trabajo se desarrolla en la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A. Ubicada en el municipio Cienfuegos, extendida sobre áreas de la Llanura de Cienfuegos a los 220 09' 20" de latitud Norte y los 800 15' 19" de longitud Oeste.

Esta instalación industrial, entre las mayores en Cuba y en Latinoamérica, se encuentra muy cercana a asentamientos poblacionales tanto urbanos como rurales, entre los que se destacan:

- Al Norte, viviendas rurales dispersas, cultivo de cañas y potreros.
- Al Este, los asentamientos, Dolores, Codicia y Cumanayagua.
- Al Sur, los asentamientos, Guaos, Pepito Tey y las instalaciones del Jardín Botánico.
- Al Oeste, los asentamientos, Lagunillas, La Josefa y la ciudad de Cienfuegos, ubicada aproximadamente a 14 km de la fábrica.

En el mes de Junio de 1975, se confeccionó el expediente de Tarea de Inversión para la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, donde se planteó la localización del lugar destinado para la construcción de las instalaciones, la red de comunicación vial necesaria a construir, las fuentes de abasto de agua y las soluciones necesarias a gestionar para la fábrica. También fueron analizados los indicadores tales como los requerimientos de abastecimiento de materias primas y factores socio - económicos para la ejecución y puesta en marcha de la industria.

En el año 1979 comienza la explotación del primero de los tres hornos de la Fábrica de Cemento de Cienfuegos, lo cual permitió un aumento considerable en la producción nacional de este renglón. La Fábrica de Cementos “Karl Marx”, fue inaugurada por el Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz y el presidente de la RDA “Eric *Honecker*”. La Fábrica la conformaban tres líneas paralelas de producción con una capacidad instalada de 1 500 000 t/año de *Clinker* (tres hornos rotatorios de 500000 t/año de *Clinker*), con tecnología de producción de vía seca que se mantiene hasta hoy.

Después de 21 años de explotación, en el año 2001 se crea la empresa con capital mixto Cementos Cienfuegos S.A., perteneciente al Ministerio de la Construcción y comienza un proceso de rehabilitación de la línea 3 con vistas a la modernización para restablecer su capacidad productiva y alcanzar una producción total de la fábrica de 1 500 000 t/año de *Clinker*. En noviembre del 2004 se pone en operación la línea con resultados productivos y ambientales muy favorables.

El comportamiento productivo de la Fábrica ha ido en ascenso. El año 2007 cerró con una producción superior al millón de toneladas de *Clinker* y se implantaron nuevos récords históricos de producción para un mes. En el año 2009 se alcanzó la mayor producción registrada desde su reestructuración llegando a 1 106 000 t de *Clinker*.

Situación problemática

A partir de las modernizaciones sufridas por la empresa a causa de la inversión extranjera al conformarse la empresa mixta, como se mencionó anteriormente, el sistema eléctrico de la planta, como es lógico, se vio involucrado también en dichos procesos. Por estas causas es necesario realizar un estudio de los niveles de cortocircuito en los distintos regímenes, escenarios o condiciones de operación del sistema, así como el chequeo de los interruptores existentes por las normas correspondientes para comprobar su correcto funcionamiento. Además los esquemas y monolineales se encuentran desactualizados, motivo por el cual es necesario realizar un intenso trabajo en el terreno para obtener la información necesaria en la solución de esta problemática. Todo esto motivó a la gerencia de la empresa, a través del Departamento Eléctrico de la misma, a solicitar dichos estudios a la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas.

Problema científico a resolver

Tomando lo anterior en consideración, es necesario realizar un estudio de las corrientes de cortocircuito mediante el uso del software IPA, actualizando detalladamente el monolineal completo de la planta a los niveles de 115 kV, 6 kV y 0,48 kV, a fin de obtener los valores de cortocircuito en la barras de 6 kV para el posterior análisis del comportamiento de los interruptores en este nivel de voltaje, ante elevados valores de corrientes de falla.

A partir de estos antecedentes cabe entonces el planteamiento de la *Pregunta de Investigación* siguiente:

¿Son adecuados los interruptores en los niveles de medio voltaje en la empresa Cemento Cienfuegos S.A. acorde a las modernizaciones realizadas en la industria?

Para dar respuesta a esta interrogante en el presente trabajo se planteó como *objetivo general* el siguiente:

Comprobar las capacidades interruptivas y momentáneas de los interruptores de medio voltaje instalados en la empresa Cementos Cienfuegos S.A.

De este objetivo general se derivan los *objetivos específicos* siguientes:

1. Fundamentar la base normativa que rige la selección de interruptores en la industria.
2. Confeccionar el diagrama monolineal actualizado de la empresa Cemento Cienfuegos S.A.
3. Emplear el software para la simulación de sistemas eléctricos IPA, para obtener las corrientes de cortocircuito máximas en las barras de 6 kV.
4. Chequear las capacidades interruptivas y momentáneas de los desconectivos actuales instalados en este nivel de voltaje acorde a las normas internacionales.

Justificación

La desactualización existente en la empresa en cuanto al cálculo de los valores de cortocircuito justifica esta investigación, puesto que una falla que no se aísla de la mejor manera, pone en riesgo la integridad del personal y la del inmueble, provocando serios daños en los equipos, deterioro de los conductores y paro en la producción no deseados, por esta razón, el buen cálculo de cortocircuito, y la buena selección de los interruptores son fundamentales en los sistemas eléctricos industriales.

Viabilidad

El estudio es viable pues es un tema de suma importancia para la empresa. Además se cuenta con los recursos necesarios, tales como instrumentos de medición y de cómputo, entre otros que pudieran ser empleados para la realización del trabajo. Existe un personal calificado en disposición de proporcionar toda la información necesaria y también se cuenta con parte de la documentación de algunos equipos que puede ser usada como fuente para la obtención de datos.

Limitaciones y alcance

El estudio abarcará el análisis de los niveles de cortocircuito en la planta, así como la comprobación de la correcta selección o no de los interruptores instalados en la misma, aunque dicho estudio no se limitará solamente a estas cuestiones sino también que podrá ser usado posteriormente para realizar el cálculo de ajuste de las protecciones.

Descripción de los contenidos a tratar

La tesis se estructura en tres capítulos, conclusiones, recomendaciones y anexos.

En el Capítulo 1 se desarrolla el marco teórico de la investigación, en el cual se hace una búsqueda bibliográfica sobre el estudio de cortocircuito, así como de la capacidad de los interruptores ante las grandes corrientes de falla.

En el Capítulo 2 se alude a la base metodológica que se usa para el cálculo de cortocircuito y la selección de interruptores en la actualidad según la norma ANSI/IEEE C37.010. Se hace una descripción del software IPA, programa que se usa para la simulación. Se realiza una descripción del circuito que se va a analizar en cuanto a la configuración de la red, se definen los regímenes principales de operación de la planta que establecen las condiciones extremas de operación del sistema eléctrico para la creación de los escenarios.

En el Capítulo 3 se ejecutan en el software los distintos escenarios necesarios para obtener los valores de cortocircuito máximo en las barras a estudiar y se muestra el análisis de los desconectivos en cuanto a su capacidad momentánea e interruptiva en los niveles de medio voltaje.

CAPÍTULO 1. Cortocircuito e interruptores de media tensión

El estudio de cortocircuito es sumamente importante para determinar las magnitudes de corriente eléctrica durante una falla en un sistema eléctrico. La selección apropiada de los dispositivos de protección y de su activación selectiva se basa en los cálculos de cortocircuito. Los dispositivos principales de protección contra cortocircuito son los relés, interruptores y los fusibles. Los interruptores protegen al circuito automáticamente por medio de relevadores que detectan las corrientes anormales y hacen que el interruptor se active. Además, los elementos no interruptores tales como: cables, barras colectoras y dispositivos de desconexión deben resistir los esfuerzos térmicos y mecánicos que son consecuencia de las elevadas corrientes de cortocircuito.

Un estudio de corrientes de cortocircuito es en principio, la capacidad de conocer el comportamiento de un sistema eléctrico en un estado de falla. Esto se calcula al realizar un flujo de potencia en los pocos segundos que dura una falla por cortocircuito y con esto obtener la corriente que pasa por el punto de interés.

El estudio de corrientes de cortocircuito permite conocer estas corrientes en distintos puntos de la instalación, siendo los de mayor interés los paneles eléctricos (conocidos en los estudios eléctricos como buses o barras). Con estas corrientes de falla se puede realizar la selección de las capacidades de interrupción de los interruptores y conductores a instalar en el sistema.

Existen varias causas que pueden originar la ocurrencia de un cortocircuito como por ejemplo una maniobra errónea en la operación, la falla en el aislamiento de los equipos o presencia de animales en los mismos y por descargas atmosféricas. En cualquier caso, el objetivo principal es interrumpir de la forma más rápida este estado en el sistema.

Las corrientes de cortocircuitos introducen una cantidad significativa de energía en el sistema, que puede tener un efecto negativo en los componentes que lo conforman. Durante el tiempo de duración del cortocircuito todos los elementos sufren estrés térmico y mecánico y pueden causar daños en los mismos.

1.1 Corriente de cortocircuito

La norma ANSI/IEEE 551-2006 define un cortocircuito como una conexión anormal (inclusive un arco) con una baja impedancia realizada accidental o intencionalmente, entre dos puntos con diferencia de potencial. [1]

El aumento de corriente produce un incremento deliberado de energía a la que todos los elementos eléctricos son sometidos a diferentes niveles. La capacidad de soportar esta energía (ecuación 1.1) es lo que puede diferir en seleccionar un disyuntor u otro.

$$e = I^2 t \quad (1.1)$$

Donde:

e : energía térmica.

i : corriente de cortocircuito.

t : tiempo de permanencia de la corriente de falla.

Se conoce como corriente de cortocircuito disponible, a la máxima corriente de falla posible en un punto específico del sistema eléctrico a estudiar. Esta corriente es directamente proporcional a la cantidad y tamaño de las fuentes de corriente de falla. Estas fuentes de corriente de falla suelen ser generadores, motores y la empresa de suministro (contribución de la empresa de suministro) donde esta última, típicamente suele ser el mayor aporte. [2]

Un cortocircuito en un sistema eléctrico puede ser modelado mediante el circuito RL de la figura 1.1. El circuito consiste en una fuente ideal de tensión sinusoidal conectada en serie con una impedancia resistiva e inductiva y un interruptor. El cortocircuito es iniciado cuando el interruptor cierra en el instante $t=0$. [3]

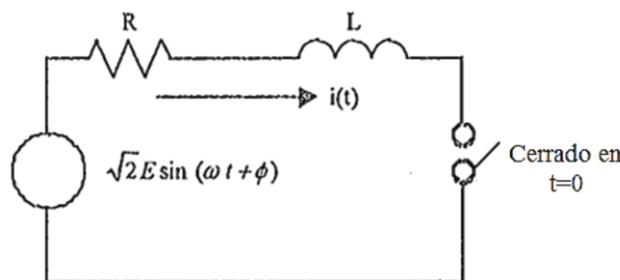


Figura 1.1 Circuito RL para modelar un sistema fallado.

La ecuación 1.2 [3], diferencial, que describe las condiciones del circuito anterior al establecerse un cortocircuito es:

$$Ri + L \frac{di}{dt} = \sqrt{2}E \text{sen}(wt + \phi) \quad (1.2)$$

O bien normalizada:

$$\frac{di}{dt} + \frac{R}{L}i = \sqrt{2} \frac{E}{L} \text{sen}(wt + \phi) \quad (1.3)$$

Donde:

E: es la magnitud rms de la fuente de tensión senoidal en (V).

i: es la corriente en el circuito en (A).

R: es la resistencia del circuito en (Ω).

L: es la inductancia del circuito en (H).

t: es el tiempo en segundos (s).

Φ : es el ángulo de la tensión aplicada en radianes cuando ocurre la falla.

w: es $2\pi f$ donde f es la frecuencia del sistema en (Hz).

Asumiendo que la corriente de prefalla en el circuito es cero (corriente de carga igual a cero), la ecuación 1.4 muestra la corriente instantánea, solución a la ecuación diferencial lineal de coeficientes constantes que define a la corriente de cortocircuito en función del tiempo:

$$i(t) = \frac{\sqrt{2}E}{\sqrt{R^2+(wL)^2}} (\text{sen}(wt + \phi - \theta)) - \frac{\sqrt{2}E}{\sqrt{R^2+(wL)^2}} (\text{sen}(\phi - \theta)) e^{-\frac{R}{L}t} \quad (1.4)$$

Donde:

$$\theta = \tan^{-1} \frac{wL}{R} \quad (1.5)$$

1.2 Tipos de cortocircuitos

En los sistemas eléctricos se pueden presentar diferentes tipos de cortocircuitos. A continuación se muestra una lista de las posibles fallas que pueden ocurrir, asumiendo un orden acorde a la probabilidad de su ocurrencia:[4]

- Monofásico.
- Bifásico
- Bifásico a tierra
- Trifásico

Los cortocircuitos pueden ser clasificados en simétricos o asimétricos. En el primer grupo solo se encuentran los cortocircuitos trifásicos, puesto que las tres fases llegan a tener la misma alteración. En el segundo grupo se encuentra el resto de los mencionados anteriormente.

1.2.1 Falla monofásica

El cortocircuito monofásico es el más común en los sistemas de potencia. Debido a que es un cortocircuito desbalanceado, requiere la modelación de las tres redes de secuencia. La figura 1.2 [4] muestra el esquema de conexión de las secuencias.

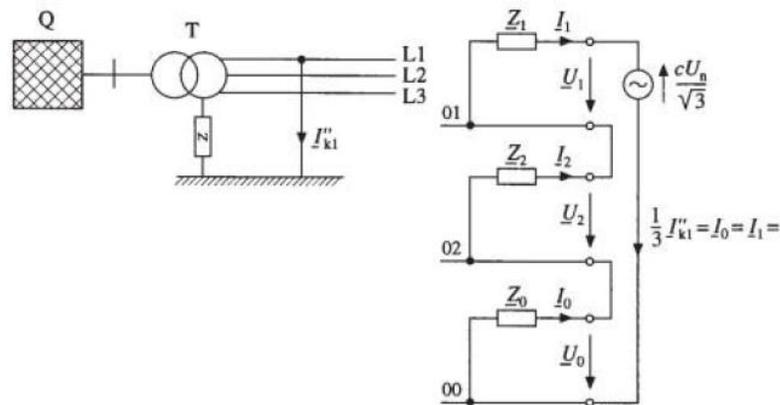


Figura 1.2 Circuito equivalente de un cortocircuito monofásico.

Se puede observar en la figura 1.3 que las redes de secuencia se conectan en serie, consecuentemente las tres corrientes de secuencia son iguales. La ecuación 1.6 detalla el cálculo de las corrientes de secuencia. La ecuación 1.7 corresponde a la corriente de cortocircuito en la fase fallada.

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = \frac{V_{1pre}}{(Z_{th1} + Z_{th2} + Z_{th0})} \quad (1.6)$$

$$I_{cc1\phi} = 3 \cdot I_{a1} \quad (1.7)$$

Donde:

I_{a1}, I_{a2}, I_{a0} : Son las corrientes de secuencias

V_{1pre} : Es el voltaje de prefalla en el punto que ocurre el cortocircuito.

$Z_{th1}, Z_{th2}, Z_{th0}$: Son las impedancias de Thevenin de secuencia positiva, negativa y cero respectivamente en el punto de cortocircuito.

$I_{1\phi}$: Es la corriente de cortocircuito en la fase fallada.

1.2.2 Falla bifásica

La falla bifásica es otro tipo de cortocircuito asimétrico. Al no tener cambio a tierra, la red de secuencia cero no se debe incluir en el análisis. La figura 1.3 [4] muestra el esquema de conexión de las redes de secuencias.

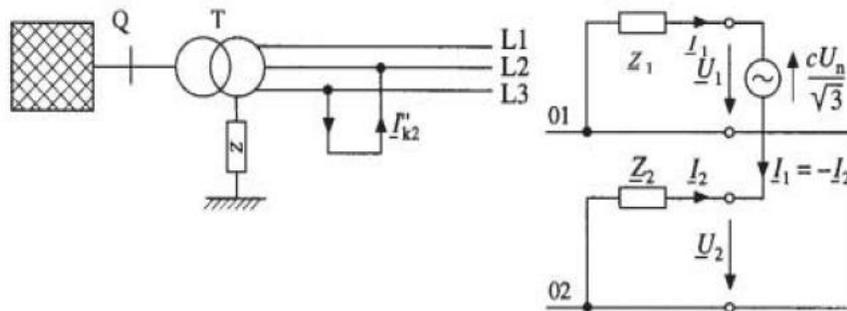


Figura 1.3 Circuito equivalente de un cortocircuito bifásico.

La ecuación 1.8, 1.9 y 1.10 muestran las corrientes de secuencias.

$$I_{a1} = \frac{V_{1pre}}{(Z_{th1} + Z_{th2})} \quad (1.8)$$

$$I_{a2} = -I_{a1} \quad (1.9)$$

$$I_{a0} = 0 \quad (1.10)$$

Donde:

I_{a1}, I_{a2}, I_{a0} : Son las corrientes de secuencias

V_{1pre} : Es el voltaje de prefalla en el punto que ocurre el cortocircuito.

Z_{th1} , Z_{th2} : Son las impedancias de Thevenin de secuencia positiva, negativa y cero respectivamente en el punto de cortocircuito.

1.2.3 Falla bifásica a tierra

La modelación de la falla bifásica a tierra requiere de las tres redes de secuencia debido al desbalance y camino por tierra. La figura 1.4 [4] muestra el esquema de conexión de este tipo de cortocircuito.

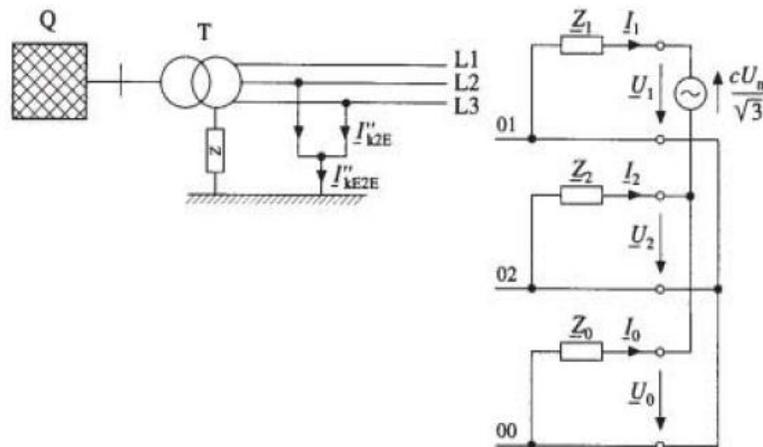


Figura 1.4 Circuito equivalente de un cortocircuito bifásico a tierra.

Las ecuaciones 1.11, 1.12 y 1.13 que se muestran a continuación hacen referencia a las corrientes de secuencia que se obtienen del análisis en este tipo de falla.

$$I_{a1} = \frac{V_{1pre}}{Z_{th1} + (Z_{th2} \parallel Z_{th0})} \quad (1.11)$$

$$I_{a2} = -I_{a1} \frac{Z_{th0}}{Z_{th2} + Z_{th0}} \quad (1.12)$$

$$I_{a0} = -I_{a1} \frac{Z_{th2}}{Z_{th2} + Z_{th0}} \quad (1.13)$$

Donde:

I_{a1} , I_{a2} , I_{a0} : Son las corrientes de secuencias.

V_{1pre} : Es el voltaje de prefalla en el punto que ocurre el cortocircuito.

Z_{th1} , Z_{th2} , Z_{th0} : Son las impedancias de Thevenin de secuencia positiva, negativa y cero respectivamente en el punto de cortocircuito.

La ecuación 1.14 muestra la corriente de cortocircuito total que se obtiene al sumar las corrientes de las dos fases falladas.

$$I_{cc\ 2\phi-T} = I_b + I_c \quad (1.14)$$

1.2.4 Falla trifásica

El cortocircuito trifásico es de tipo simétrico. La corriente que se muestra en la ecuación 1.15 se presenta en todas las fases. La figura 1.5 [4] representa la modelación del esquema de la red de secuencia que se debe utilizar en el análisis de este tipo de falla.

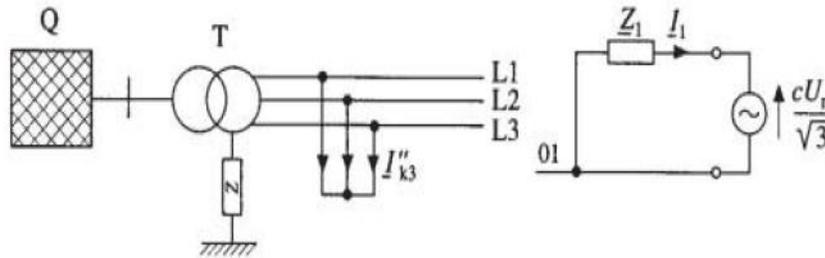


Figura 1.5 Circuito equivalente de un cortocircuito trifásico.

$$I_{cc\ 3\phi} = \frac{V_{1pre}}{Z_{th1}} \quad (1.15)$$

Donde:

$I_{cc\ 3\phi}$: Es la corriente de cortocircuito trifásico en cada fase.

V_{1pre} : Es el voltaje de prefalla en el punto que ocurre el cortocircuito.

Z_{th1} : Es la impedancia de Thevenin de secuencia positiva en el punto de cortocircuito.

1.3 Fuentes de cortocircuito

Para evaluar la corriente de cortocircuito de un sistema de potencia es necesario identificar los diferentes equipos que van a contribuir a la corriente de falla. Al producirse un cortocircuito, las corrientes de frecuencia fundamental que circulan por

el sistema de distribución, provienen del sistema de transmisión y de las máquinas eléctricas conectadas.

Hay que tener presente que los condensadores utilizados para compensar reactivos, generan corrientes de falla que pueden llegar a tener una amplitud elevada, pero su frecuencia de descarga es alta, razón por la cual el tiempo de permanencia en el sistema de distribución es bajo y no se consideran en el cálculo de cortocircuitos. Las principales fuentes que contribuyen a aumentar las corrientes de cortocircuito son las que se describen a continuación. [5]

1.3.1 La empresa de suministro eléctrico

El sistema de suministro público proporciona energía generalmente a través de transformadores reductores de voltajes deseados por el usuario. Aunque algunas veces se considera a los transformadores como fuentes de corriente de cortocircuito, en realidad esto es falso. Los transformadores cambian las magnitudes de voltaje y de corriente pero no los generan.

La corriente de cortocircuito que se proporciona mediante un transformador depende de la realización de un voltaje nominal de su secundario y de su porcentaje de reactancia. También depende de la reactancia de los generadores y del sistema hasta los terminales del transformador, así como la reactancia que tiene el circuito entre el transformador y la falla.

1.3.2 Los generadores sincrónicos

Los generadores sincrónicos son la fuente principal de contribución de cortocircuitos. La razón principal se debe a que durante este estado, el generador mantiene activo el campo de excitación y la turbina tiende a mover el generador a la velocidad normal.

Si un cortocircuito se aplica a los terminales de un generador sincrónico, la corriente de cortocircuito comienza con un valor alto y va decayendo a un estado estable en algún momento después de la incidencia del mismo. Como el generador después del cortocircuito sigue recibiendo potencia por su eje mecánico, y el circuito de campo se mantiene excitado con corriente continua, la tensión inducida se mantiene constante y

la corriente en el devanado del estator permanece hasta alcanzar estado estacionario o ser despejada por el sistema de protecciones.

En la Figura 1.6 [5], se muestra un grupo de oscilogramas típico de las corrientes en la armadura trifásica cuando un generador sincrónico está cortocircuitado. En las tres gráficas es evidente la presencia de una componente de CD, y cuya magnitud de la corriente directa presente, depende del instante en el cual el cortocircuito es aplicado y del factor de potencia del circuito. Como hay tres voltajes a 120° es posible que tenga una componente de corriente directa igual a cero.

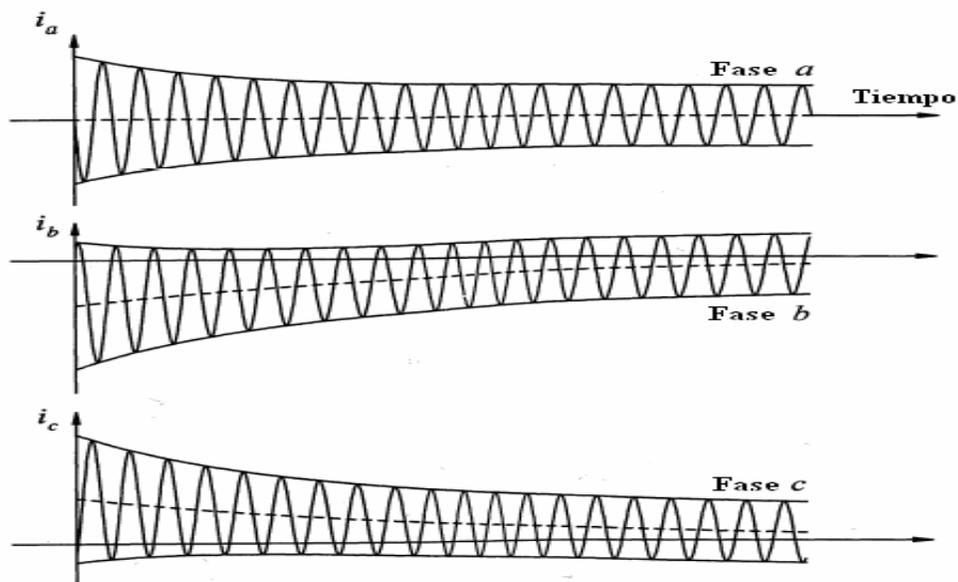


Figura 1.6 Oscilogramas de la corriente en las tres fases de un generador cuando se aplica un cortocircuito.

En un generador, la corriente es limitada por sus reactancias: subtransitoria X_d'' transitoria X_d' y sincrónica X_d . Las reactancias mencionadas se pueden definir brevemente como siguen:[6]

Reactancia subtransitoria (X_d'')

Es la reactancia aparente del enrollado del estator en el instante en que ocurre un cortocircuito con la máquina a tensión nominal y en vacío. Esta reactancia determina la corriente durante los primeros ciclos después de iniciado el cortocircuito.

Reactancia transitoria (X_d')

Es la reactancia aparente del enrollado del estator varios ciclos después de iniciada la falla con la máquina a tensión nominal y en vacío. El período de tiempo en que la reactancia puede ser considerada transitoria puede ser medio segundo o más, dependiendo sobre todo del diseño de la máquina y es determinado por la constante de tiempo transitoria de eje directo.

Reactancia sincrónica (X_d)

Es la reactancia que determina la intensidad de corriente que circula por el enrollado de la máquina cuando se ha llegado a un estado estacionario. Solo hace sentir sus efectos después de transcurrir algunos segundos desde el instante en que se ha producido el cortocircuito y, por lo tanto, carece de valor en los cálculos de cortocircuito relacionados con la operación de interruptores, fusibles y contactores.

1.3.3 Los motores sincrónicos

Los motores sincrónicos alimentan a la corriente de cortocircuito tanto como los generadores sincrónicos. Cuando una falla provoca una caída de tensión, el motor sincrónico recibe menos potencia del sistema para mover su carga. Al mismo tiempo un voltaje interno hace que la corriente fluya hacia la falla del sistema.

La inercia del motor y su carga actúan como impulsores y, con la excitación mantenida, el motor actúa como un generador para contribuir a la corriente de falla. Esta corriente de falla disminuye en la medida en que el campo magnético en la máquina decae. [1]. Un motor sincrónico tiene las mismas clases de reactancias que un generador, aunque de diferente valor.

1.3.4 Los motores de inducción

Según [1], un motor de inducción de jaula de ardilla contribuirá con la corriente de cortocircuito de un sistema de potencia. Este es generado por la inercia que maneja el motor en presencia de un flujo de campo producido por inducción desde el estator en vez de provenir de un bobinado de campo de CD. A medida que este flujo decae en pérdida de la fuente de voltaje causada por una falla en los terminales del motor, la contribución de corriente por parte de un motor de inducción se reduce y desaparece

completamente luego de un par de ciclos. Debido a que el campo de excitación no se mantiene, no existe valor de estado estacionario como en las máquinas sincrónicas.

La figura 1.7 muestra la gráfica corriente contra tiempo en las tres fases de un motor durante un cortocircuito trifásico, donde se observa un rápido decaimiento en la corriente desde el inicio hasta alcanzar el valor de cero

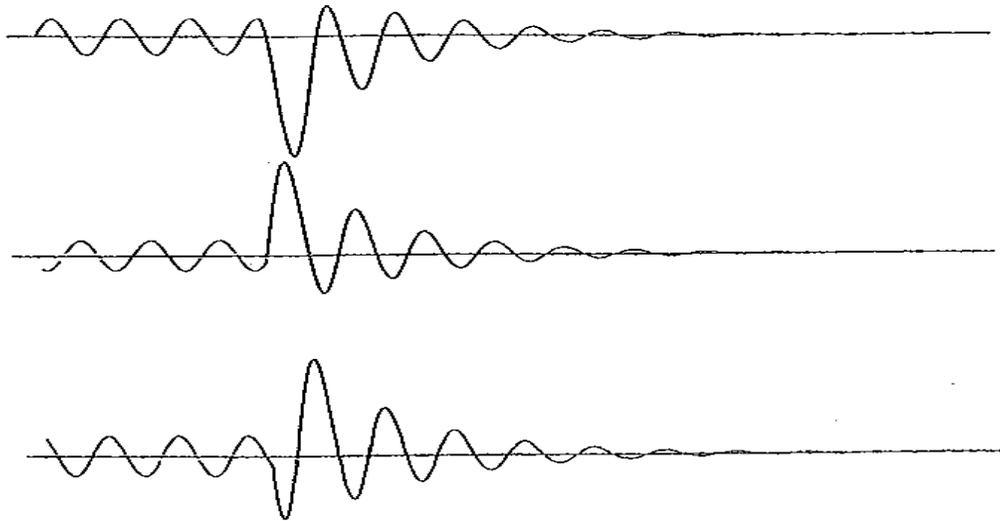


Figura 1.7 Oscilograma de la contribución de un motor de inducción.

Como los motores de inducción no tienen bobinados inductores de campo, pero las barras del rotor actúan como los arrollamientos amortiguadores en un generador; entonces, se considera que estos motores solo tienen reactancia subtransitoria. La magnitud inicial del cortocircuito es calculado utilizando la reactancia subtransitoria (X_d''). En la práctica es aceptado sustituir la conocida o estimada reactancia a rotor bloqueado X_{RB} por X_d'' .

En los sistemas eléctricos, la tensión de un motor de inducción durante una falla remota puede ser parcialmente sostenida por fuentes de energía cercanas. Inicialmente, la tensión es reducida por la falla y el motor genera una contribución al cortocircuito. Durante la falla si hay alguna fuente que sostenga la tensión lo suficientemente alta, el motor regresará a su operación normal. Los métodos simplificados de cortocircuito ignoran este efecto y consideran que todos los motores de inducción medianos o grandes, continuarán contribuyendo al cortocircuito durante al menos 4 ciclos después de iniciada la falla, sin importar lo remoto de su ubicación respecto al punto de falla.[7]

1.4 Asimetría de la corriente de cortocircuito

1.4.1 Componente de AC y DC de la corriente de cortocircuito

De acuerdo a la ecuación 1.4, es posible observar que la corriente de cortocircuito está conformada por dos componentes. El primer término de la ecuación es una función sinusoidal respecto al tiempo, que representa la componente de AC (corriente alterna) de la corriente de cortocircuito. La magnitud de la componente de AC es el valor de la corriente de cortocircuito en estado estacionario. El segundo término de la ecuación es una función exponencial decreciente respecto al tiempo, que representa la componente de DC (corriente directa) de la corriente de cortocircuito. [8]

El adjetivo simétrica o asimétrica, describe la forma de onda de la corriente con base en el eje 0 en la ordenada. Lo anterior viene de la mano con el tipo de cargas existentes y conectadas en el sistema en el momento del cortocircuito. Por ejemplo, en un sistema con cargas meramente resistivas, la corriente respecto al tiempo tendrá una oscilación “simétrica” con base al eje X. Mientras que un sistema con cargas meramente inductivas tendrá una compensación positiva debido a la oscilación del flujo magnético de las distintas máquinas eléctricas (entiéndase como transformadores, motores de inducción y motores sincrónicos).[2]

Como toda industria posee cargas resistivas e inductivas en el mismo sistema y como fue mencionado, parte del aporte se ve disminuido ya que las contribuciones de los motores son breves. Existe también un decrecimiento en corriente directa debido al cambio según la energía de la resistencia de los equipos (R). La componente de DC suele ser máxima en el primer ciclo y según criterios de [9] para 30 ciclos ya es cero.

1.4.2 Magnitud y duración de la corriente de cortocircuito

La magnitud y duración de la corriente asimétrica de cortocircuito depende de la relación X/R del sistema y de la posición de la onda de tensión en el instante en que ocurre el cortocircuito. Los sistemas de alta y media tensión son predominantemente inductivos, por lo tanto, puede considerarse en la ecuación 1.4 que $\phi \approx \pi / 2$. Si el cortocircuito ocurre en el instante donde la onda de tensión está en su valor máximo ($\phi = \pi / 2, 3\pi / 2$) entonces la componente de DC será cero y no habrá asimetría en la corriente de cortocircuito. En cambio, si el cortocircuito ocurre en el instante donde la

onda de tensión cruza por cero ($\phi=0, \pi$) entonces la componente de DC tendrá un valor máximo igual a la magnitud de la componente de AC y se tendrá la máxima asimetría en la corriente de cortocircuito. [8]

1.4.3 Corriente total de cortocircuito

Con lo mencionado anteriormente, se tiene que la corriente de cortocircuito depende de tres componentes, la componente en DC que varía según la resistencia del sistema, la componente estable en AC aplicado principalmente por generadores y aporte de la empresa de suministro y la componente en AC en decrecimiento la cual se compone fundamentalmente de los aportes de los motores.

$$i_{total} = i_{dc \text{ decreciente}} + i_{ac \text{ estable}} + i_{ac \text{ decreciente}} \quad (1.16)$$

La corriente asimétrica o corriente total de cortocircuito es la suma de las componentes de AC y DC. La figura 1.8 [10] muestra los oscilogramas de la corriente total y corriente simétrica de cortocircuito así como la gráfica de la componente de DC respecto del tiempo.

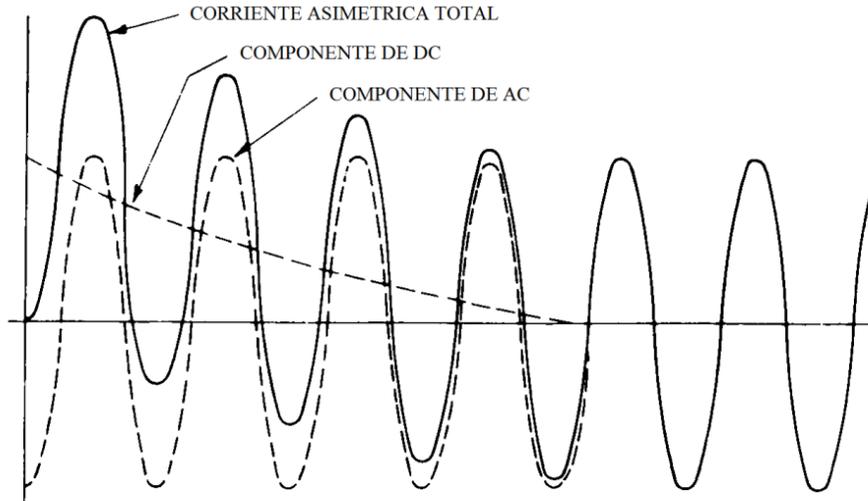


Figura 1.8 Corriente de cortocircuito en función del tiempo.

1.4.4 Importancia del cálculo de la corriente asimétrica de cortocircuito

La importancia de la asimetría en la corriente de cortocircuito es que esta en el primer ciclo puede llegar a ser 1.5 veces la corriente simétrica, esto influye directamente en las fuerzas electromagnéticas a las que se someten los equipos que pueden llegar a

ser 2.25 veces más grandes que las fuerzas causadas por la corriente simétrica y la energía convertida en calor.[2]

De acuerdo a lo anterior, se deben diseñar y aplicar dispositivos que estarán expuestos a corrientes de falla que sean capaces de soportar el transitorio (asimetría) de la corriente de cortocircuito, debido a que los esfuerzos mecánicos y los efectos térmicos son mayores durante el primer ciclo después de iniciada la falla.

1.5 Interruptores de alta y media tensión

El interruptor es un equipo indispensable en un sistema eléctrico de potencia. Su principal tarea es interrumpir corrientes de falla y aislar las partes falladas del sistema. Además del libramiento de las corrientes de cortocircuito, un interruptor también debe ser capaz de interrumpir corrientes capacitivas, pequeñas corrientes inductivas y corrientes de carga. Un interruptor debe cumplir los siguientes requerimientos básicos:

- En posición cerrada debe ser buen conductor.
- En posición abierta debe comportarse como buen aislante entre las dos partes del sistema.
- Cambiar de la posición de cerrado a abierto en un período mínimo de tiempo.
- No causar sobretensiones durante la interrupción.
- Ser confiable en su operación.

1.5.1 Tipos de interruptores según el medio y modo de extinción del arco eléctrico

Interruptor en aire a la presión atmosférica

La figura 1.9 muestra este tipo de interruptores donde la corriente que va a interrumpir se utiliza para crear un campo magnético que impulsa el arco contra un laberinto de celdas de material cerámico, donde el arco se alarga y se enfría hasta apagarse. [8]

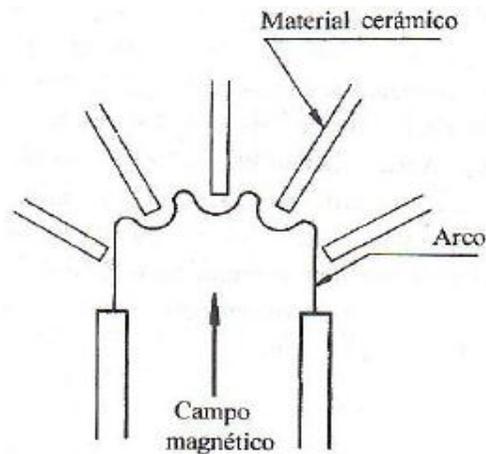


Figura 1.9 Representación esquemática de un interruptor de gran resistencia de arco.

El medio en el que se produce el arco es aire a la presión atmosférica, cuya rigidez dieléctrica es baja comparada con otros medios utilizados para la interrupción del arco como son el aceite, aire comprimido o hexafloruro de azufre. Además la constante de tiempo de desionización del aire a la presión atmosférica es relativamente elevada. Estas características hacen que el aire a la presión atmosférica sea un medio inadecuado para la interrupción en circuitos de alta tensión, pero, en cambio, puede utilizarse en interruptores de baja tensión y para tensiones de distribución primaria hasta unos 24 kV, siempre que el diseño del aparato proporcione una potencia de enfriamiento suficiente. Este tipo de aparato presenta la ventaja de que no produce sobretensiones, lo que es muy conveniente en los circuitos de baja tensión, cuyo aislamiento es muy reducido.

Interruptor en aceite

Este tipo corresponde a los interruptores de pequeño y gran volumen de aceite. Al realizar la separación de los contactos en un baño de aceite, en lugar de aire a presión atmosférica, la capacidad interruptiva aumenta gradualmente debido a dos razones principales: primero, la rigidez dieléctrica del aceite es mayor que la del aire a presión atmosférica; segundo, el arco descompone el aceite, generando hidrógeno y este gas es un medio refrigerante superior al aire, con una constante de tiempo de desionización baja. La figura 1.10 muestra este tipo de interruptores. [8]

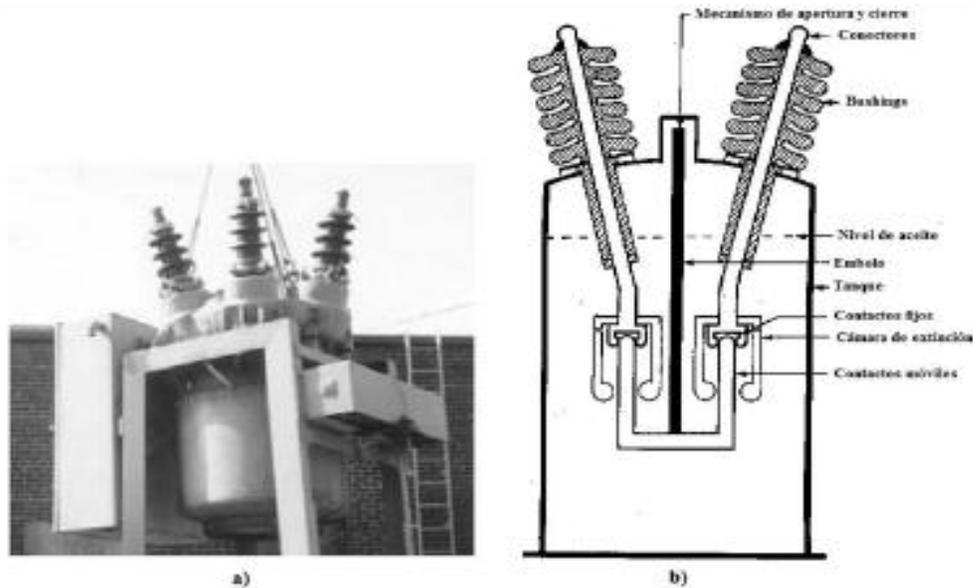


Figura 1.10 Interruptor de gran volumen de aceite, a) Interruptor trifásico típico exterior, b) Representación esquemática.

En los interruptores en aceite, los contactos se rodean de un recipiente pequeño, la cámara de interrupción, provista de algún orificio de salida. El hidrógeno desprendido por el arco y confinado en la cámara de interrupción aumenta la presión, lo que incrementa la rigidez dieléctrica del gas; además, el gas a presión que atraviesa el arco para salir por los orificios de la cámara de interrupción enfría el arco. Con este tipo de interruptores se alcanzan capacidades interruptivas de 25 kA eficaces (rms) y se han aplicado para tensiones de hasta 765 kV usando varias cámaras en serie.

Interruptor en aire comprimido

Como ocurre en general con todos los gases a presión, el aire comprimido posee una rigidez dieléctrica y propiedades térmicas muy superiores al aire a la presión atmosférica. Esto se debe al aumento de la densidad molecular que tiene por efecto multiplicar las colisiones entre partículas y acelerar así los intercambios térmicos y las reacciones de recombinación de partículas cargadas, esto se traduce en un proceso de desionización reducido, que permite realizar la interrupción al pasar la corriente por cero con arcos eléctricos relativamente cortos.

Todos los interruptores de aire comprimido utilizan el flujo de aire a presión a través de toberas y su descarga es a la atmósfera. El arco, centrado en la tobera y sometido

a la corriente gaseosa, sufre un enfriamiento muy enérgico que contribuye a su desionización, que se facilita por los fenómenos de turbulencia. La figura 1.11 muestra este tipo de interruptores. [8]

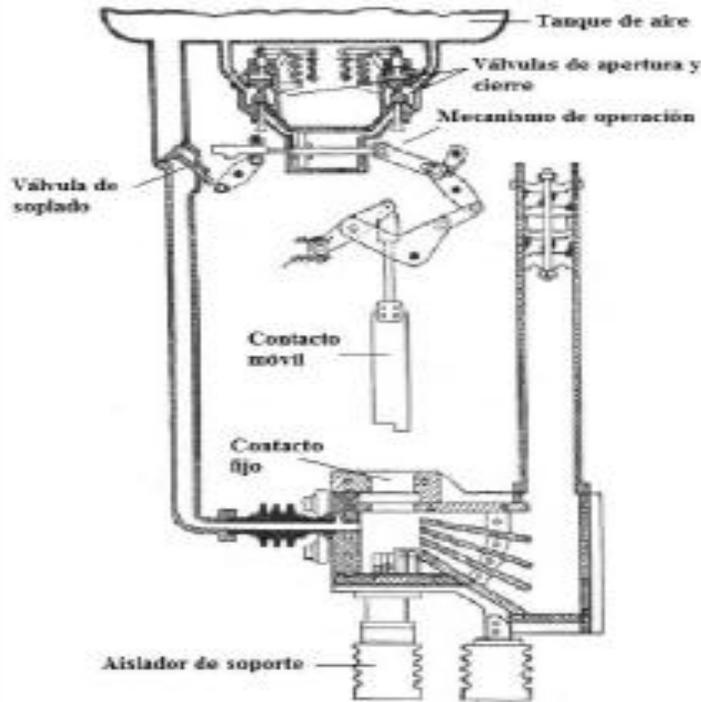


Figura 1.11 Representación esquemática de un interruptor en aire comprimido.

Con este criterio de diseño se alcanzan capacidades interruptivas hasta 275 kA eficaces y tiempos de interrupción de un ciclo y se han utilizado interruptores de aire comprimido en tensiones de 800 kV y aun superiores, haciendo uso de varias cámaras de interrupción en serie. Para que sus cualidades dieléctricas y térmicas no se deterioren, el aire comprimido debe estar desprovisto de humedad. Generalmente, las presiones de utilización son del orden de 25 kg/cm² en aparatos para alta tensión.

Interruptor en hexafloruro de azufre

El hexafloruro de azufre (SF₆) es un gas incoloro e inodoro, con una densidad cinco veces mayor que la del aire. Es sumamente estable hasta temperaturas de 500 °C y permanece gaseoso, a una presión de 4.5 kg/cm², hasta temperaturas inferiores a 40 °C bajo cero.

Constituye un excelente dieléctrico, a una presión de 4.5 kg/cm² a 20 °C, alcanza una rigidez dieléctrica igual a la del aceite y tres veces mayor a la del aire a la misma presión. La presencia de otro gas (por ejemplo aire o nitrógeno) en proporciones del 10 al 20% no reduce prácticamente su tensión disruptiva. La figura 1.12 muestra este tipo de interruptores.

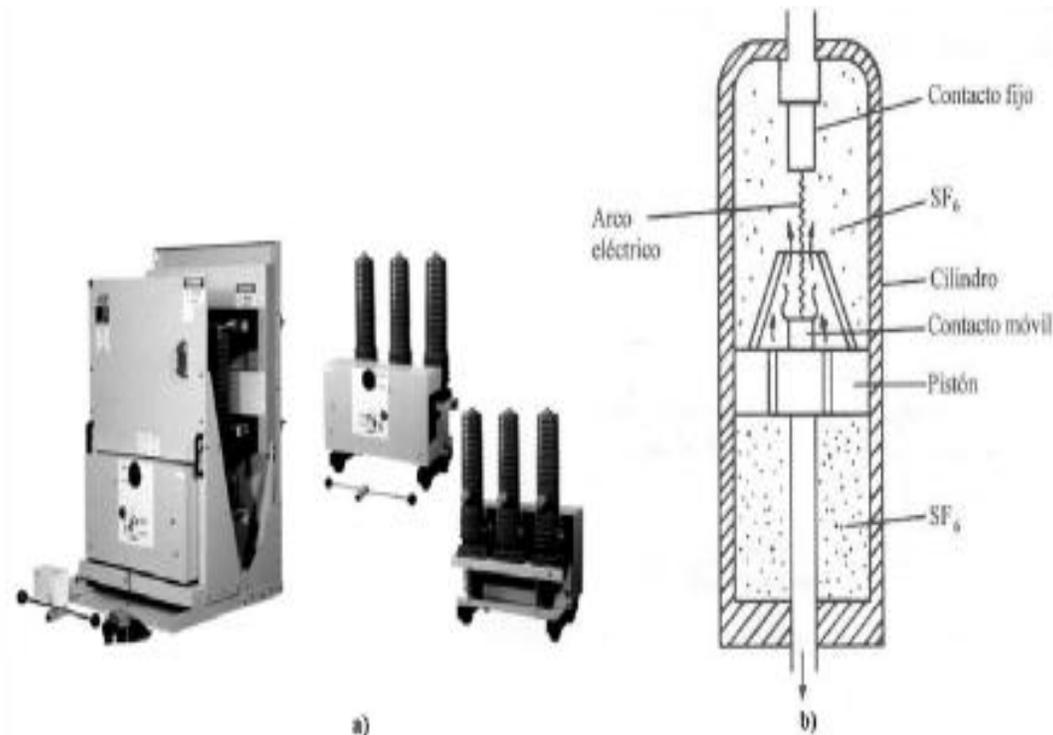


Figura 1.12 Interruptor de SF₆, a) Interruptor trifásico tipo exterior, b) Representación esquemática.

En los interruptores de hexafluoruro de azufre el SF₆ desempeña la función de dieléctrico y de medio de interrupción. La cámara que contiene el SF₆ y donde se realiza la interrupción debe ser hermética de manera que no se tenga ninguna pérdida del gas. Las magníficas cualidades del SF₆, reducen considerablemente el mantenimiento de los contactos del interruptor.[8]

Interruptor en vacío

La figura 1.13[8] muestra los interruptores en vacío donde los contactos se separan en una cámara hermética donde se ha hecho vacío.

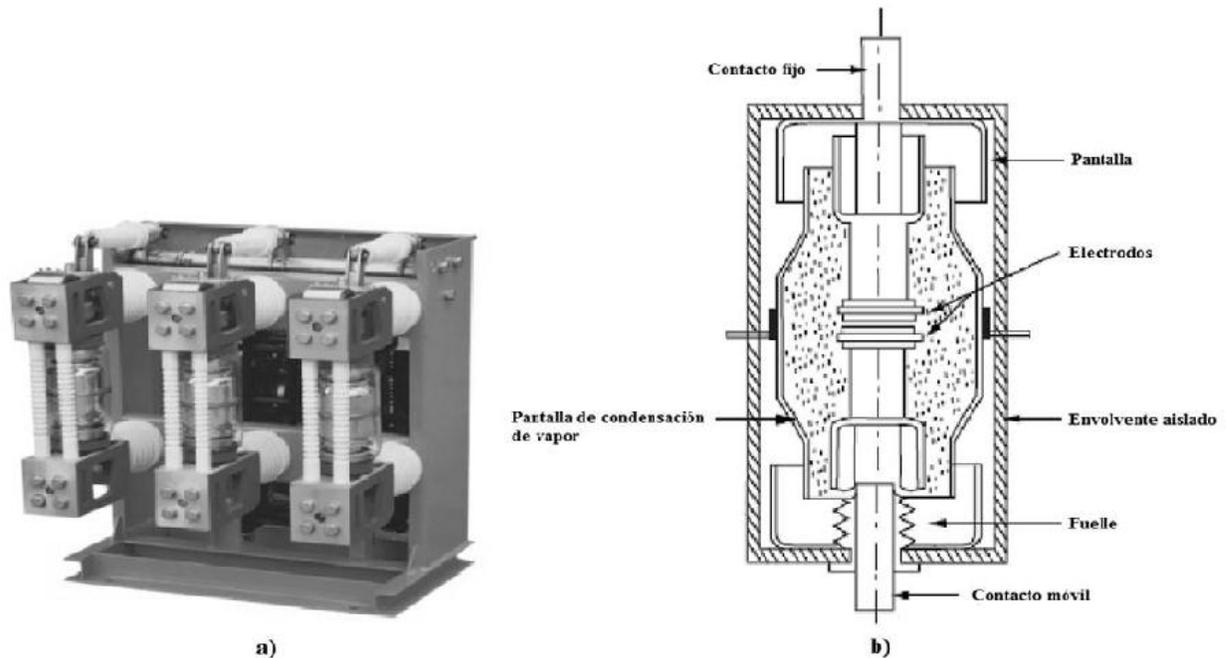


Figura 1.13 Interruptor en vacío, a) Interruptor trifásico tipo interior, b) Representación esquemática.

Las notables cualidades del vacío se deben a que la ausencia de moléculas de gas elimina, en principio, la posibilidad de ionización. Sin embargo, la imperfección del vacío que puede realmente realizarse y la producción de vapores metálicos en los contactos reducen en la práctica estas cualidades. De todas maneras, en los interruptores de vacío se logra disminuir considerablemente la energía producida por el arco y la distancia que tienen que separarse los contactos para lograr la interrupción.

1.6 Capacidades interruptivas y esfuerzos momentáneos

La protección selectiva de los sistemas eléctricos de potencia se inicia con los cálculos de cortocircuito. El primer objetivo de estos cálculos es lograr una selección adecuada de los interruptores. La selección de interruptores de potencia no es tan simple, ya que en un lapso que dura pocos ciclos, ocurren variaciones sensibles de los parámetros eléctricos y en la evaluación de la propia corriente de cortocircuito. Este lapso es la suma de los tiempos necesarios para que el relevador de protección cierre sus contactos, la bobina de disparo del interruptor active su mecanismo de operación, los contactos del interruptor se separen y el arco se interrumpa dentro de su cámara. Los mayores esfuerzos térmicos y mecánicos se producen durante el primer medio ciclo

debido a la componente de DC y a las aportaciones de corriente de generadores y motores. Desde el inicio del cortocircuito hasta la separación de los contactos del interruptor, la corriente disminuye debido al decremento de las componentes de DC y las modificaciones en los valores de las reactancias en las máquinas rotatorias. Por lo tanto, la corriente que el interruptor debe interrumpir en los primeros ciclos después de que se originó la falla, es menor que el valor máximo durante el primer medio ciclo. Debido a que la magnitud de la corriente de cortocircuito se modifica con el tiempo, deben considerarse dos tipos de capacidades de cortocircuito en los interruptores, la momentánea y la interruptiva.[11]

1.6.1 Capacidad interruptiva

La capacidad interruptiva se considera como la capacidad de un interruptor para interrumpir el flujo de corriente de cortocircuito mediante su elemento interruptor después de dos, tres, cinco u ocho ciclos.[12]

1.6.2 Capacidad momentánea

Cuando se presenta una falla, todos los elementos de la red tales como cables, barras colectoras y dispositivos de desconexión deben resistir los esfuerzos térmicos y mecánicos debido a las elevadas corrientes de cortocircuito. En el caso de los interruptores, la capacidad momentánea o esfuerzo momentáneo se considera como la capacidad del interruptor para permanecer cerrado y resistir los esfuerzos térmicos y mecánicos producidos por la corriente máxima de cortocircuito del primer medio ciclo de falla.[12]

CAPÍTULO 2. Metodología a emplear para el estudio y descripción de la empresa

En este capítulo se estructura la metodología empleada para desarrollar el estudio a partir de las consideraciones de la norma ANSI/IEEE. Se describe el software IPA, usado para la simulación y la obtención de los resultados, así como el sistema eléctrico de la Empresa Mixta Cementos Cienfuegos S.A., teniendo en cuenta los diferentes y posibles escenarios de operación de la planta.

2.1 Norma ANSI/IEEE

El ANSI/IEEE 141 es la norma de origen americano, que determina el procedimiento en los cálculos de corrientes de cortocircuito en Estados Unidos y en los países, que por influencia tecnológica, han adoptado esta norma, la misma va acompañada por otros estándares que se les conoce genéricamente como la Serie C37.[13]

Para facilitar el análisis de cortocircuito la ANSI/IEEE separa y trabaja la corriente total de cortocircuito en sus componentes de AC y DC, y después integra sus efectos. El cálculo de la corriente de falla en los diferentes períodos de la onda, conduce a definir tres intervalos de tiempo, que definirán tres redes [1], según las normas ANSI/IEEE las tres redes señaladas son: la red de primer ciclo, la red de interrupción y la red de 30 ciclos, cabe mencionar que la única diferencia entre una red y otra es el valor que se asigna a las reactancias de cada máquina rotatoria, las reactancias de los elementos pasivos son las mismas en las tres redes.[13]

2.1.1 La red de primer ciclo

La corriente de cortocircuito de primer ciclo (momentánea) representa el valor más alto de la corriente de cortocircuito antes de que los decaimientos de DC y AC lleven la corriente de falla a un valor permanente, se considera que este valor se presenta en un tiempo de medio ciclo después de que la falla se ha iniciado.[14]

Esta red se usa para calcular la corriente momentánea simétrica de cortocircuito y los esfuerzos de los equipos de protección en el primer ciclo después de haber ocurrido la falla, las máquinas rotatorias se representan con sus reactancias modificadas por un factor en la tabla 2.1[15].

Se recomienda que las dos últimas líneas de la tabla 2.1 sean sustituidas por la tabla 2.2 para hacer más exactos los cálculos en un sistema industrial.

Tabla 2.1 Multiplicadores de la reactancia (o impedancia) de las máquinas rotatorias.

Tipo de máquina rotatoria	Red de primer ciclo	Red de interrupción
Todos los turbogeneradores	1,0 Xd''	1,0 Xd''
Hidrogeneradores	0,75 Xd'	0,75 Xd'
Todos los motores sincrónicos	1,0 Xd''	1,5 Xd''
Motores de inducción		
Arriba de 1000 hp a 1800 r/min	1,0 Xd''	1,5 Xd''
Arriba de 250 hp a 3600 r/min	1,0 Xd''	1,5 Xd''
Todos los demás (50 hp y más)	1,2 Xd''	3,0 Xd''
Los más pequeños de 50 hp	Ignorar	Ignorar

Tabla 2.2 Multiplicadores de la reactancia (o impedancia) de las máquinas rotatorias para una red combinada.

Tipo de máquina rotatoria	Red de primer ciclo	Red de interrupción
Motores de inducción		
Todos los demás (50 hp y más)	1,2 Xd''	3,0 Xd''
Los más pequeños de 50 hp	1,67 Xd''	Ignorar

La corriente de cortocircuito en el primer ciclo se calcula como se muestra en la ecuación 2.1[15]:

$$I_{cc \text{ simétrica, primer ciclo}} = \frac{kV_{Acc \text{ totales, primer ciclo}}}{kV * \sqrt{3}} \quad (2.1)$$

En esta red se consideran dos corrientes asimétricas de cortocircuito, la corriente momentánea de primer ciclo y la corriente pico de primer ciclo.

La norma ANSI/IEEE permite el uso de factores de multiplicación de la corriente simétrica, para encontrar la corriente asimétrica, como se muestra en las ecuaciones 2.2 y 2.3.[1]

$$I_{cc \text{ mom, asim}} = FM_{mom} * I_{cc \text{ simétrica, primer ciclo}} \quad (2.2)$$

$$I_{cc \text{ pico, asim}} = FM_{pico} * I_{cc \text{ simétrica, primer ciclo}} \quad (2.3)$$

- $FM_{mom} = 1,6$ para obtener la corriente momentánea de primer ciclo.

- $FM_{pico} = 2,7$ para obtener la corriente pico de primer ciclo.

2.1.2 La red de interrupción

Esta red presenta las siguientes características:

- Se usa para calcular los esfuerzos de interrupción (de apertura de contactos).
- Se usa para determinar corrientes de cortocircuito de interrupción para aplicaciones de interruptores de circuito (ICs) de mediana y alta tensión (por encima de 1 kV).

En la aplicación de las corrientes calculadas en esta red, la norma ANSI/IEEE hace la siguiente distinción.[16]

- Los ICs fabricados antes de 1964 toman como referencia o base la corriente total de cortocircuito de interrupción, a estos ICs se les conoce como ICs con Base de Corriente Total, en estos ICs aplica el IEEE Std.C37.5-1979.
- Los ICs fabricados después de 1964, y que toman como referencia la corriente simétrica (componente AC) de la corriente de cortocircuito de la red de interrupción, se les conoce como ICs con Base de Corriente Simétrica, en estos ICs aplica el IEEE Std. C37.010-1979.

Para calcular la corriente de cortocircuito en la red de interrupción, se usan las reactancias modificadas de las máquinas rotatorias, estas reactancias se localizan en la segunda columna de las tablas 2.1 y 2.2. Cabe mencionar, que las impedancias de los elementos pasivos de la red no varían.

La corriente de cortocircuito de interrupción se calcula como se muestra en la ecuación 2.4:

$$I_{cc} \text{ simétrica, ciclo interrupción} = \frac{kV_{Acc} \text{ totales, ciclo interrupción}}{kV * \sqrt{3}} \quad (2.4)$$

Para el esfuerzo de interrupción con base de la corriente total, se deberán de caracterizar las contribuciones de las diferentes barras a la barra de falla como local o remota, se considera local si la falla es alimentada desde generadores a través de no más de una transformación o con una reactancia externa en serie con un valor menor

a 1.5 veces la reactancia subtransitoria del generador, en caso contrario se dice que la falla es remota.[17]

Si la contribución es local o remota, se determinan los factores de multiplicación (FM) que se muestran en las figuras 2.1 y 2.2 [13], entrando el dato de la relación X/R del punto de falla y con el dato del tiempo de apertura de contactos del ICs; el tiempo de separación de contactos se puede obtener del fabricante y desde la tabla 2.3.

Tabla 2.3 Definición del tiempo de separación de contactos para ICs de alta tensión. En ciclos (60 Hz).

Tiempo nominal de interrupción	Tiempo mínimo de separación
8	4
5	3
3	2
2	1,5

X/R Relación	IC de 8 Ciclos (TSC4 Ciclos)	IC de 5 Ciclos (TSC3 Ciclos)	IC de 3 Ciclos (TSC2 Ciclos)	IC de 2 Ciclos (TSC1.5 Ciclos)
100	1.252	1.351	1.443	1.512
90	1.239	1.340	1.441	1.511
80	1.222	1.324	1.435	1.508
70	1.201	1.304	1.422	1.504
60	1.175	1.276	1.403	1.496
50	1.141	1.241	1.376	1.482
45	1.121	1.220	1.358	1.473
40	1.098	1.196	1.337	1.461
35	1.072	1.169	1.313	1.446
30	1.044	1.136	1.283	1.427
25	1.013	1.099	1.247	1.403
20	1.000	1.057	1.201	1.371
18	1.000	1.039	1.180	1.356
16	1.000	1.021	1.155	1.339
14	1.000	1.003	1.129	1.320
12	1.000	1.000	1.099	1.299
10	1.000	1.000	1.067	1.276
9	1.000	1.000	1.051	1.263
8	1.000	1.000	1.035	1.250
7	1.000	1.000	1.019	1.236
6	1.000	1.000	1.003	1.221
5	1.000	1.000	1.000	1.205
4	1.000	1.000	1.000	1.188
3	1.000	1.000	1.000	1.170
2	1.000	1.000	1.000	1.152
1	1.000	1.000	1.000	1.132

Figura 2.1 Factor de multiplicación remota para diferentes ICs y X/R, base de corriente total.

X/R Relación	IC de 8 Ciclos (TSC4 Ciclos)	IC de 5 Ciclos (TSC3 Ciclos)	IC de 3 Ciclos (TSC2 Ciclos)	IC de 2 Ciclos (TSC1.5 Ciclos)
100	1.487	1.540	1,599	1,63
90	1,464	1.522	1,585	1,619
80	1.438	1.499	1.569	1.606
70	1.405	1.472	1.548	1.59
60	1.366	1.438	1.522	1.569
50	1.316	1.393	1.487	1.54
45	1.286	1.366	1.464	1.255
40	1.253	1.334	1.438	1.499
35	1.215	1.297	1.405	1.472
30	1.172	1.253	1.366	1.438
25	1.126	1.201	1.316	1.393
20	1.078	1.142	1.253	1.334
18	1.059	1.116	1.223	1.305
16	1.042	1.091	1.190	1.271
14	1.027	1.066	1.154	1.233
12	1.015	1.042	1.11	1.190
10	1.007	1.023	1.078	1.142
9	1.004	1.015	1.059	1.116
8	1.002	1.009	1.042	1.091
7	1.001	1.005	1.027	1.066
6	1.000	1.002	1.015	1.047
5	1.000	1.00.	1.007	1.023
4	1.000	1.000	1.002	1.009
3	1.000	1.000	1.000	1.002
2	1.000	1.000	1.000	1.000
1	1.000	1.000	1.000	1.000

Figura 2.2 Factor de multiplicación local para diferentes ICs y X/R, base de corriente total.

Cualquiera que sea el caso (local o remota) se multiplica la corriente obtenida en la ecuación 2.4 por el factor de multiplicación para obtener el esfuerzo de interrupción total, como se muestra en la ecuación 2.5.

$$Esfuerzo\ de\ int.\ total = FM * I_{cc\ simétrica,\ ciclo\ interrupción} \quad (2.5)$$

Este valor representa el esfuerzo de interrupción de la corriente de cortocircuito total (asimétrica) para una falla trifásica, en un tiempo igual al tiempo de separación de contactos. En la aplicación de ICs, esta corriente será comparada con la capacidad de interrupción, ya sea para seleccionarlo o para verificar su adecuada capacidad.[18]

Para el esfuerzo de interrupción con base de corriente simétrica, el procedimiento es prácticamente el mismo que se sigue para ICs con base de corriente total, si la

2.1.3 La red de 30 ciclos

Esta red se usa para calcular las corrientes mínimas, o de estado permanente, que se requieren para operar los relevadores actuados por corriente, las partes de la instalación eléctrica en las que se debe de realizar el estudio de esta red, son aquellas donde se tiene la mínima generación, es decir posee carga mínima, con estas condiciones, cuando ocurre la falla, algunos interruptores podrían abrir y dejar fuera algunas cargas. En esta red, los generadores de la planta se representan con su reactancia transitoria o con una reactancia grande, que se relaciona con la magnitud del decaimiento de la corriente de cortocircuito en el tiempo deseado.[19]

El tipo de máquina rotaria y su representación en la red de 30 ciclos se muestran en la tabla 2.4, nótese que las máquinas de inducción, los motores sincrónicos y los condensadores no son considerados en el cálculo de fallas en esta red.

Tabla 2.4 Impedancia en la red de 30 ciclos.

Tipo de máquina	X a considerar
Suministrador	X'
Turbogenerador	X'
Hidrogeneradores	X'd
Condensador	infinita
Motor Sincrónico	infinita
Máquina de Inducción	infinita

2.2 Descripción del software IPA

El editor de redes industriales IPA, desarrollado por el Centro de Estudios de Electroenergética perteneciente a la facultad de Ingeniería Eléctrica de la Universidad Central "Marta Abreu" de las Villas, permite la descripción interactiva del diagrama monolineal de un Sistema de Suministro Eléctrico Industrial. Puede describir el diagrama monolineal de cualquier tipo de circuito utilizado en la industria, aunque está fundamentalmente orientado a la descripción de circuitos radiales y magistrales; sus cálculos siguen en general estándares planteados por la norma ANSI/IEEE. La red puede fragmentarse en varias "islas eléctricas".[20]

El editor de redes se basa en un editor gráfico orientado a componentes que se ofrecen en un conjunto de paletas en que pueden escogerse libremente para ser insertados en el monolineal, siempre sobre alguno de los componentes ya insertados. Cuando se crea una red nueva, aparece implícitamente un nodo raíz para permitir la inserción del resto de los componentes en el circuito que se describe. Este nodo raíz no pertenece a la red y solo se incluye para facilitar la edición. Todos los componentes insertados tienen un nombre que puede ser modificado libremente.

El editor permite tanto la edición de los datos de los componentes y de la propia configuración del circuito, como la visualización de los resultados que se obtienen de cualquiera de los estudios disponibles. Una vez calculado el estudio, los componentes cambian de color según se muestra en la figura 2.5 para denotar que poseen resultados. En este caso, el menú contextual del componente incorpora la opción implícita de Cálculos, la que permite visualizar los resultados correspondientes al componente seleccionado para el estudio previamente ejecutado.

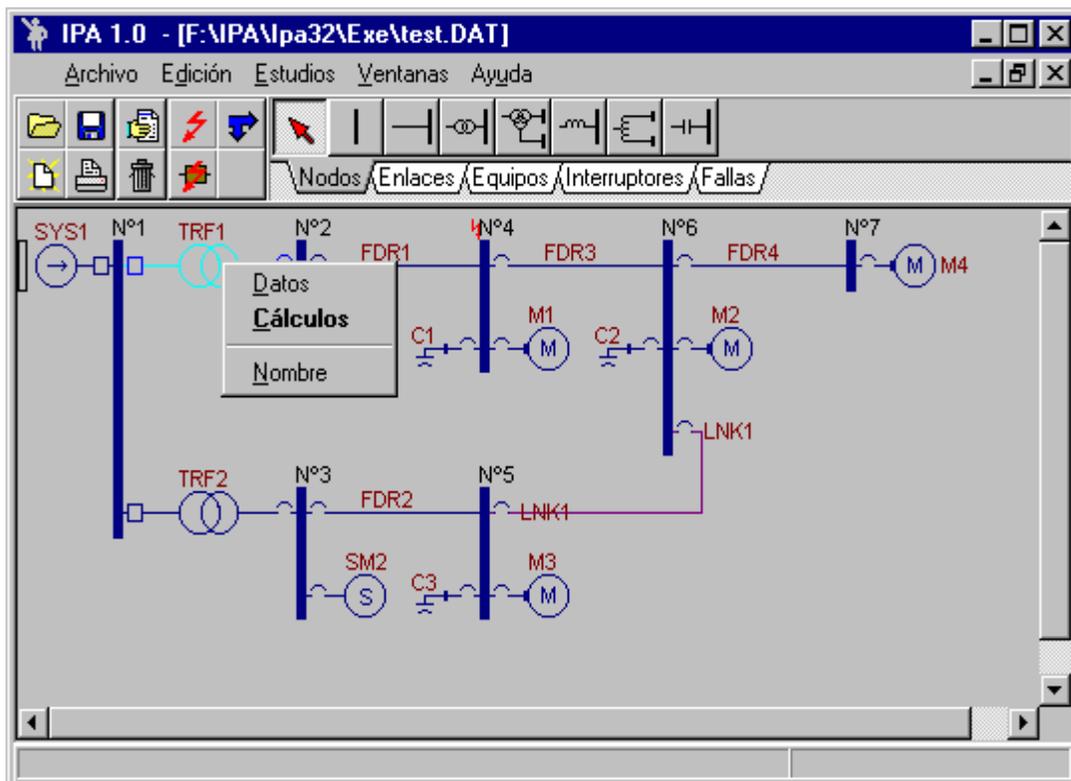


Figura 2.5 Vista de un sistema de prueba en el IPA después de corrido.

2.2.1 Corrientes de cortocircuito calculadas por el IPA

El software IPA muestra en el reporte de cortocircuito en barras cuatro valores de corrientes diferentes. A continuación se explica cuáles son estas corrientes y cómo fueron calculadas por el programa:

- I''_{sim} : Corriente de cortocircuito simétrica del ciclo de interrupción. (Ver ecuación 2.4).
- I''_{sim} : Corriente de cortocircuito simétrica de primer ciclo. (Ver ecuación 2.1).
- I''_{total} : Corriente de cortocircuito momentánea rms asimétrica. (Ver ecuación 2.2).

Para el cálculo de la I''_{total} se utiliza el factor de asimetría momentáneo siguiente:

$$FM_{mom} = \sqrt{1 + 2 * e^{-2\pi/(X/R)}} \quad (2.6)$$

- I''_{pico} : Corriente de cortocircuito pico asimétrica. (Ver ecuación 2.3).

Para el cálculo de la I''_{pico} se utiliza el factor de asimetría pico siguiente:

$$FM_{pico} = \sqrt{2} * (1 + e^{-\pi/(X/R)}) \quad (2.7)$$

2.2.2 Procedimiento del IPA para el chequeo de los interruptores de alto voltaje

Capacidad momentánea:

1. Calcular la capacidad de cierre total (CCT) y capacidad de cierre pico (CCP).

$$CCT = 1,6 * I_{int \text{ máx}} \quad (2.8)$$

$$CCP = 2,7 * I_{int \text{ máx}} \quad (2.9)$$

Donde:

$I_{int \text{ máx}}$.: es la máxima capacidad interruptiva de chapa introducida en los datos del interruptor.

2. Comparación:

OK: $I''_{pico} \leq CCP$ y $I''_{total} \leq CCT$.

Capacidad interruptiva:

1. Calcular la corriente asimétrica ajustada (I_{adj}).

$$I_{adj} = I'_{sim} * \sqrt{1 + 2 * e^{-4\pi t/(X/R)}} \quad (2.10)$$

Donde:

t: tiempo de apertura de los contactos del interruptor en ciclos.

2. Comparación:

OK: $I'_{sim} \leq I_{int}$

OK: $I_{adj} \leq I_{int}$

Donde:

I_{int} : es la capacidad interruptiva de chapa introducida en los datos del interruptor.

2.3 Descripción del sistema eléctrico de la empresa

La empresa Cemento Cienfuegos S.A. cuenta con una instalación principal de 115 kV, la cual se basa en el esquema de conexión H con dos líneas de alimentación como se observa en la Figura 2.6, línea Expreso que transfiere la energía total consumida por la fábrica, mientras la otra es un ramal de la línea Trinidad que entrega 20 MW en caso de averías, en la operación normal esta línea se mantiene desconectada. Las líneas son introducidas en la subestación de la empresa a través de pasa muros de cobre tipo MDF110/250, que alimentan las barras de donde se instalan los transformadores de fuerza $Tr-101$ y $Tr-102$ separados por interruptores de soplo de aire tipo $D3AF7$ de 2000 A. [21]

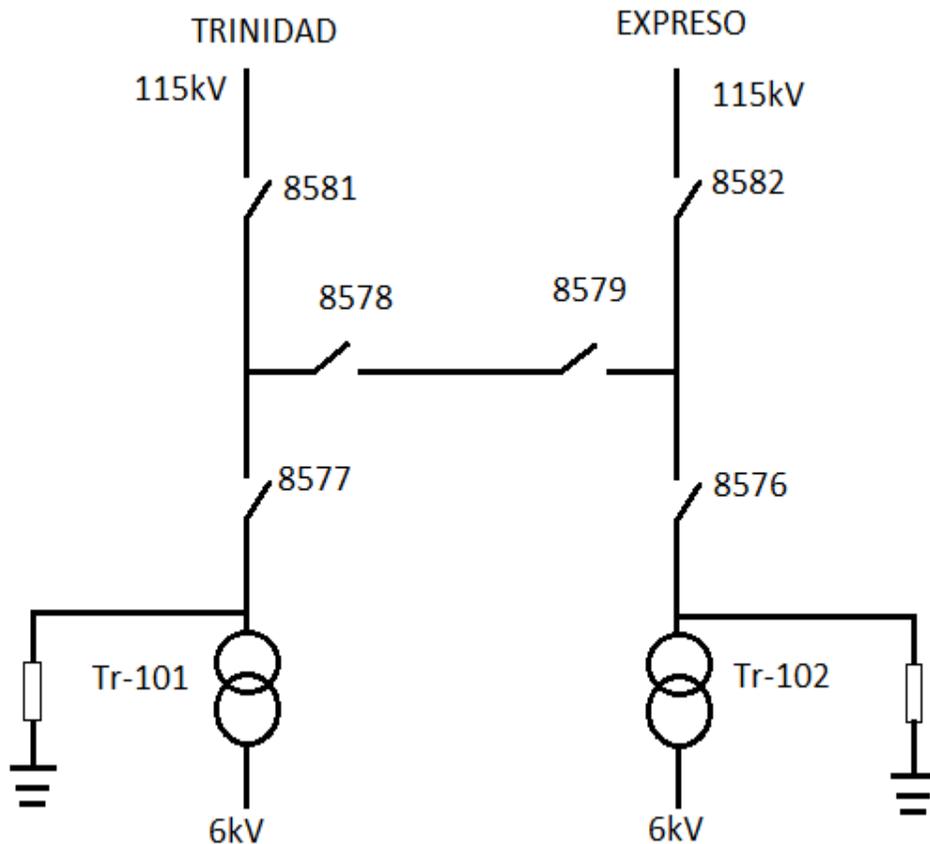


Figura 2.6 Esquema de conexión H de la alimentación de la red nacional a la Sub. Principal.

A partir de los transformadores de entrada *Tr-101* y *Tr-102* encontrados en la subestación 10 (principal), se alimentan cinco subestaciones y doce centros de cargas que son los encargados de distribuir las líneas de 480 V, mediante transformadores, hacia los CCM (Centro de Control de Motores) y las fuerzas tecnológicas y no tecnológicas.

En general, la empresa cuenta con 40 transformadores distribuidos en las subestaciones y en centros de carga, 22 motores de 6 kV y un gran número de motores de 480 V.

Subestación 10 (principal):

➤ Motores de 6 kV:

- 561-AP1 (Accionamiento Principal Molino de Cemento L1).

- 562-AP1 (Accionamiento Principal Molino de Cemento L2).
 - 561-VE1 (Ventilador Succionador).
 - 562-VE1 (Ventilador Succionador).
- Centro de carga 10:
- Los transformadores 101 y 102 son los encargados de entregar las líneas de 6kV.
 - Los transformadores 103 y 104 se encargan de alimentar a la sub principal.
- Centro de carga 11:
1. El transformador 111 alimenta los siguientes bloques:
 - Panel 5P1-1M1 (dosificadora L-I).
 - Panel 5P1-1M2 (molienda de cemento L-I).
 - Panel 5P0-1M1 (transporte de cemento).
 - Electrofiltro Cemento Línea 1.
 2. El transformador 112 alimenta los siguientes bloques:
 - Panel 5P2-1M1 (dosificación L-II).
 - Panel 5P2-1M2 (molienda de cemento L-II).
 - Electrofiltro Cemento Línea 2.
 3. El transformador 114 (Fuerzas no tecnológicas).
 4. El transformador 121 (deshabilitado).
 5. El transformador 122 (Fuerzas no tecnológicas).
 6. El transformador 124 (Fuerzas no tecnológicas).
 7. El transformador 125 (deshabilitado).

Subestación 20:

- Motores de 6 kV:
- 332-TB1 (Accionamiento Principal Molinillo)

- 362-VE1 (Ventilador Exahustor)
 - 362-VE2 (Ventilador Exahustor)
 - 362-AP1 (Accionamiento Principal Molino de crudo L2)
 - 362-AP2 (Accionamiento Principal Molino de crudo L2)
 - 333-TB1 (Accionamiento Principal Molinillo)
 - 363-AP1 (Accionamiento Principal Molino de crudo L3)
 - 363-AP2 (Accionamiento Principal Molino de crudo L3)
 - 363-VE1 (Ventilador Exahustor)
 - 363-VE2 (Ventilador Exahustor)
- Centro de carga 20:
1. El transformador 4P0 1T1 (alimentación de compresores).
 2. El transformador 201 (reserva).
 3. El transformador 202 alimenta:
 - Fuerza no tecnológica (cocina comedor, departamento técnico).
 - Bombas de agua caliente del comedor.
 - Bombas de agua fría del comedor.
- Centro de carga 21:
1. El transformador 211 (deshabilitado).
 2. El transformador 212 (deshabilitado).
 3. El transformador 214 alimenta los siguientes bloques:
 - Compresores.
 - Electrofiltros.
- Centro de carga 22:
1. El transformador 221 (deshabilitado).
 2. El transformador 222 alimenta los siguientes bloques:

- Electrofiltros.
 - Panel 3P2-1M1 (Dosificación Molino de Crudo Línea 2).
 - Panel 3P2-1M2 (Transporte a silos de harina línea 2).
 - Panel 4P2-1M1 (Silos de Harina L2).
 - Panel 4P2-1M2 (Silos de Mezcla L2).
3. El transformador 223 alimenta los siguientes bloques:
- Electrofiltros.
 - Panel 3P3-1M1 (Dosificación Molino de Crudo Línea 3).
 - Panel 3P3-1M2 (Transporte a silos de harina línea 3).
 - Panel 4P3-1M1 (Silos de Harina L3).
 - Panel 4P3-1M2 (Silos de Mezcla L3).
4. El transformador 224 (Fuerzas no tecnológicas).

Subestación 23:

- Centro de carga 23:
 1. El transformador 231 (Reserva).
 2. El transformador 232 alimenta los siguientes bloques:
 - Panel 3P1-1M3 (nave de marga).
 - Fuerza no tecnológica (laboratorio).

Subestación 30:

- Centro de carga 30:
 1. El transformador 301 alimenta los siguientes bloques:
 - Panel 2P1-2M2 (silos de caliza).
 - Tratamiento de agua.
 - Fuerza no tecnológica.

2. El transformador 302 (Reserva).

➤ Centro de carga 31:

1. El transformador 310 (Taller Central).

Subestación 40:

➤ Centro de carga 40:

1. El transformador 401 (Reserva).

2. El transformador 402 alimenta:

Compresores.

➤ Centro de carga 41:

1. El transformador 411 (deshabilitado).

2. El transformador 412 alimenta los siguientes bloques:

- Panel 6P1-1M1.
- Panel 6P1-1M2.

Subestación 50:

➤ Motores de 6 kV:

- 211-AP1 (Trituradora)
- 211-AP2 (Trituradora)

➤ Centro de carga 50:

1. El transformador 502 alimenta los siguientes bloques:

- Panel 2P1-2M1.
- Fuerzas no tecnológicas.

A partir del bloque 3 de la subestación principal se acopló el proyecto de Línea 3 concebido por la modernización:

Pre calentador:

➤ Motores de 6 kV:

- 422-VE1 (Ventilador)

- 423-VE1 (Ventilador)
- 443-VE1 (Ventilador Gas Caliente)
- El transformador 4P1-1T1 alimenta los siguientes bloques:
 1. Panel 4P3-1M1.
 2. Panel 4P3-1M2.
- El transformador 463- AP1.T01 alimenta:
 1. Motor 463-AP1.

Descarga del horno:

- Motores de 6 kV:
 - 473-VEB (Ventilador)
- El transformador 4P3-1T2 alimenta los siguientes bloques:
 1. Panel 4P3-1M6.
 2. Panel 4P3-1M7.
- El transformador 4P3-1T3 alimenta el siguiente bloque:
 1. Panel 4P3-1M8.

Molino de carbón:

- Motores de 6 kV:
 - L61-VE1 (Ventilador)
- El transformador L61-AP1.T01 alimenta:
 1. Motor L61-AP1.
- El transformador LP1-1T1 alimenta los siguientes bloques:
 1. Panel LP1-1M1.
 2. Panel LP1-1M2.
- El transformador LP1-1T2 alimenta los siguientes bloques:
 1. Panel LP1-1M3.

Secador de materias primas:

- Motores de 6 kV:

- 221-VE3 (Ventilador)
- El transformador 2P1-1T3 alimenta los siguientes bloques:
 1. Panel 2P1-1M1.
 2. Panel 2P1-1M2.
- El transformador 221-AP1.T01 alimenta:
 1. Motor 221-AP1.
 2. Motor 221-AP2.

2.4 Confección del monolineal

Para lograr la confección del monolineal de la empresa Cementos Cienfuegos S.A. es necesario la realización de un intenso trabajo práctico en el terreno para la obtención de los datos, debido a la falta de documentación necesaria para este tipo de estudio. Los elementos y los datos empleados para la realización del diagrama monolineal montados en el software IPA, como se muestra en las figuras 2.7 y 2.8, fueron los siguientes:

- Sistema eléctrico de suministro de 115 kV. (Ver Anexo 1).
- Reactores serie. (Ver Anexo 2).
- Motores trifásicos de inducción de medio y bajo voltaje. (Ver Anexo 3).
- Transformadores trifásicos. (Ver Anexo 4).
- Interruptores de alto, medio y bajo voltaje.
Interruptores de medio voltaje. (Ver Anexo 5).
- Conductores trifásicos. (Ver Anexo 6).

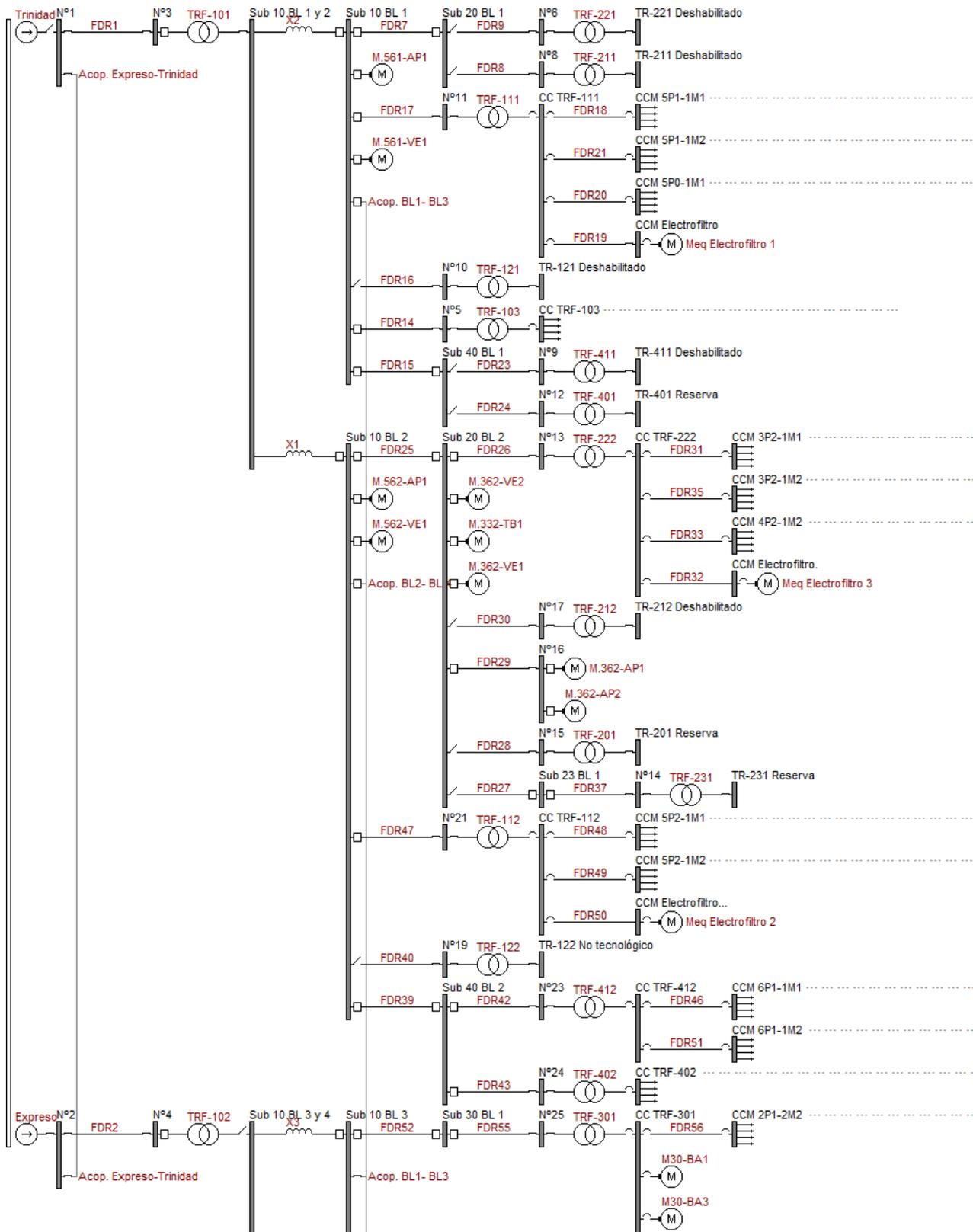


Figura 2.7 Monolineal de la empresa

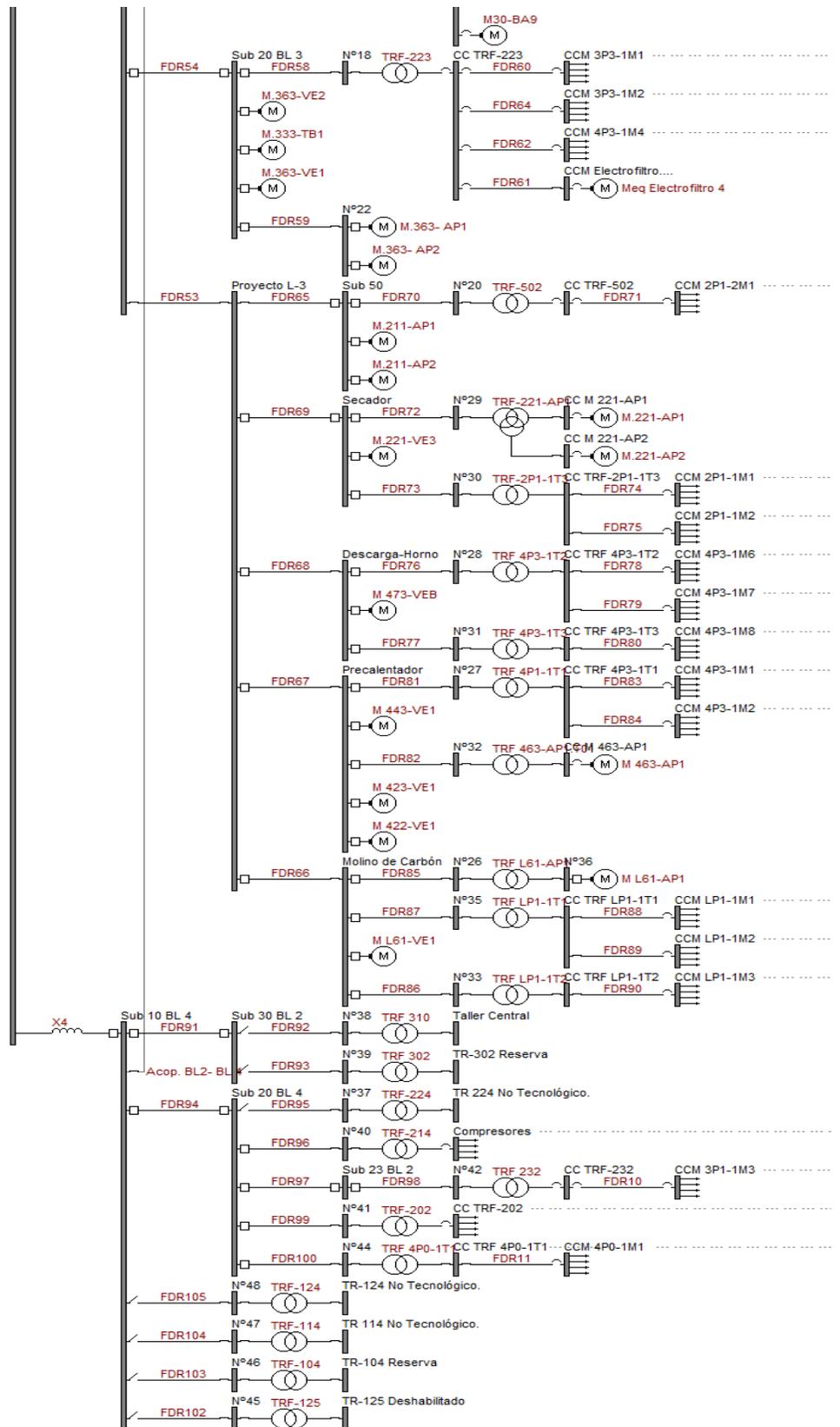


Figura 2.8 Continuación

2.5 Escenarios de operación de la planta a analizar

Para el análisis de las capacidades interruptivas y momentáneas de los interruptores se deben definir los diferentes escenarios de operación de la planta y así determinar de ellos, en cual se presenta mayor valor de cortocircuito, tomando este valor como patrón para la comparación con los parámetros de los interruptores anteriormente señalados. A continuación se definen los seis posibles estados de operación de la fábrica.

1. Alimentación por la línea Expreso y funcionando los dos transformadores principales (101 y 102), alimentando el primero los bloques 1 y 2 y el segundo los bloques 3 y 4 de la subestación principal.
2. Alimentación por la línea Expreso funcionando solamente el transformador 101 y llevando la carga de los cuatro bloques de la subestación principal.
3. Alimentación por la línea Expreso funcionando solamente el transformador 102 y llevando la carga de los cuatro bloques de la subestación principal.
4. Alimentación por la línea Trinidad y funcionando los dos transformadores principales (101 y 102), alimentando el primero los bloques 1 y 2 y el segundo los bloques 3 y 4 de la subestación principal.
5. Alimentación por la línea Trinidad funcionando solamente el transformador 101 y llevando la carga de los cuatro bloques de la subestación principal.
6. Alimentación por la línea Trinidad funcionando solamente el transformador 102 y llevando la carga de los cuatro bloques de la subestación principal.

CAPÍTULO 3. Cálculo de cortocircuito y chequeo de interruptores de media tensión

En este capítulo se muestran los valores de cortocircuito en las barras de 6 kV, obtenidos en las corridas realizadas por el software IPA en régimen de cortocircuito máximo, para cada uno de los escenarios de operación anteriormente descritos. También se hace un chequeo del comportamiento de los interruptores instalados en estos niveles de voltaje para la corrida que arroje los valores más elevados de corriente de falla, de esta forma se comprueba que si para esta condición los interruptores están bien seleccionados, así mismo estarán para los estados de operación menos críticos, y en caso de que en esta condición haya alguno que no tenga capacidad momentánea e interruptiva suficiente para enfrentar la corriente de falla que le corresponde, entonces debe cambiarse por uno de mayores capacidades de las mencionadas.

3.1 Niveles de cortocircuito en las barras de 6 kV para cada uno de los escenarios de operación

Estos valores se obtienen realizando una corrida del software IPA para cada uno de los escenarios descritos. El orden en que se mostrarán los resultados coincide con el orden de los estados de operación mencionados anteriormente.

Las tablas 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6 muestran los valores de cortocircuito máximo en las barras a estudiar para los diferentes estados de operación de la planta.

Tabla 3.1 Valores de cortocircuito máximo en las barras de 6 kV para el estado de operación No.1.

Nombre de las barras	I"pico (kA)	I"tot (kA)	I"sim (kA)	I'sim (kA)
Sub 10 BL 1 y 2	82	49	31	29
Sub 10 BL 1	48	29	18	16
Sub 20 BL 1	31	18	12	11
Sub 40 BL 1	14	8	6	6
Sub 10 BL 2	52	31	19	17
Sub 20 BL 2	36	22	14	13
Accionamiento Principal Crudo 2	32	19	13	11
Sub 23 BL 1	16	9	6	6
Sub 40 BL 2	23	14	9	8

Sub 10 BL 3 y 4	94	56	36	33
Sub 10 BL 3	61	37	23	19
Sub 30 BL 1	15	9	7	6
Sub 20 BL 3	40	24	16	14
Accionamiento Principal Crudo 3	34	20	14	12
Proyecto L-3	61	36	23	19
Sub 50	5	3	2	2
Secador	9	5	3	3
Descarga-Horno	12	7	5	4
Pre calentador	16	10	6	5
Molino de Carbón	15	9	6	5
Sub 10 BL 4	49	29	18	17
Sub 30 BL 2	14	8	6	6
Sub 20 BL 4	33	20	13	12
Sub 23 BL 2	16	9	7	6

Tabla 3.2 Valores de cortocircuito máximo en las barras de 6 kV para el estado de operación No.2.

Nombre de las barras	I"pico (kA)	I"tot (kA)	I"sim (kA)	I'sim (kA)
Sub 10 BL 1 y 2	96	58	37	32
Sub 10 BL 1	75	45	28	23
Sub 20 BL 1	41	24	16	14
Sub 40 BL 1	16	9	7	6
Sub 10 BL 2	69	42	26	21
Sub 20 BL 2	43	25	17	15
Accionamiento Principal Crudo 2	36	22	15	13
Sub 23 BL 1	17	10	7	7
Sub 40 BL 2	26	15	10	9
Sub 10 BL 3 y 4	59	36	22	19
Sub 10 BL 3	75	45	28	23
Sub 30 BL 1	16	9	7	6
Sub 20 BL 3	45	27	18	15
Accionamiento Principal Crudo 3	38	22	15	13
Proyecto L-3	75	45	28	22
Sub 50	5	3	2	2
Secador	9	5	3	3
Descarga-Horno	13	8	5	4
Pre calentador	17	10	6	5
Molino de Carbón	15	9	6	5
Sub 10 BL 4	69	42	26	21

Sub 30 BL 2	15	9	7	6
Sub 20 BL 4	41	24	16	14
Sub 23 BL 2	17	10	7	7

Tabla 3.3 Valores de cortocircuito máximo en las barras de 6 kV para el estado de operación No.3.

Nombre de las barras	I ^{"pico} (kA)	I ^{"tot} (kA)	I ^{"sim} (kA)	I ^{'sim} (kA)
Sub 10 BL 1 y 2	96	58	37	32
Sub 10 BL 1	78	47	29	24
Sub 20 BL 1	42	25	17	15
Sub 40 BL 1	16	10	7	6
Sub 10 BL 2	72	44	27	23
Sub 20 BL 2	44	26	17	15
Accionamiento Principal Crudo 2	37	22	15	13
Sub 23 BL 1	17	10	7	7
Sub 40 BL 2	26	15	10	10
Sub 10 BL 3 y 4	106	63	40	35
Sub 10 BL 3	78	47	29	24
Sub 30 BL 1	16	9	7	7
Sub 20 BL 3	46	27	18	16
Accionamiento Principal Crudo 3	38	23	15	13
Proyecto L-3	78	47	29	24
Sub 50	5	3	2	2
Secador	9	5	3	3
Descarga-Horno	13	8	5	4
Pre calentador	17	10	7	5
Molino de Carbón	15	9	6	5
Sub 10 BL 4	72	44	27	23
Sub 30 BL 2	16	9	7	6
Sub 20 BL 4	42	25	17	15
Sub 23 BL 2	18	10	7	7

Tabla 3.4 Valores de cortocircuito máximo en las barras de 6 kV para el estado de operación No.4.

Nombre de las barras	I ^{"pico} (kA)	I ^{"tot} (kA)	I ^{"sim} (kA)	I ^{'sim} (kA)
Sub 10 BL 1 y 2	87	52	34	31
Sub 10 BL 1	49	30	18	17
Sub 20 BL 1	32	19	12	12
Sub 40 BL 1	14	9	6	6

Sub 10 BL 2	54	32	20	18
Sub 20 BL 2	37	22	14	13
Accionamiento Principal Crudo 2	32	19	13	11
Sub 23 BL 1	16	9	7	6
Sub 40 BL 2	23	14	9	9
Sub 10 BL 3 y 4	100	60	39	36
Sub 10 BL 3	63	38	24	20
Sub 30 BL 1	16	9	7	6
Sub 20 BL 3	41	24	16	14
Accionamiento Principal Crudo 3	35	21	14	12
Proyecto L-3	63	38	23	20
Sub 50	5	3	2	2
Secador	9	5	3	3
Descarga-Horno	12	7	5	4
Pre calentador	16	10	6	5
Molino de Carbón	15	9	6	5
Sub 10 BL 4	50	30	19	17
Sub 30 BL 2	14	8	6	6
Sub 20 BL 4	34	20	13	12
Sub 23 BL 2	16	9	7	6

Tabla 3.5 Valores de cortocircuito máximo en las barras de 6 kV para el estado de operación No.5.

Nombre de las barras	I"pico (kA)	I"tot (kA)	I"sim (kA)	I'sim (kA)
Sub 10 BL 1 y 2	102	61	39	34
Sub 10 BL 1	77	46	29	23
Sub 20 BL 1	41	24	17	15
Sub 40 BL 1	16	10	7	6
Sub 10 BL 2	71	43	27	22
Sub 20 BL 2	44	26	17	15
Accionamiento Principal Crudo 2	37	22	15	13
Sub 23 BL 1	17	10	7	7
Sub 40 BL 2	26	15	10	9
Sub 10 BL 3 y 4	60	36	22	19
Sub 10 BL 3	77	46	29	23
Sub 30 BL 1	16	9	7	7
Sub 20 BL 3	46	27	18	15
Accionamiento Principal Crudo 3	38	22	15	13
Proyecto L-3	77	46	29	23
Sub 50	5	3	2	2
Secador	9	5	3	3
Descarga-Horno	13	8	5	4

Pre calentador	17	10	7	5
Molino de Carbón	15	9	6	5
Sub 10 BL 4	71	43	26	22
Sub 30 BL 2	16	9	7	6
Sub 20 BL 4	42	25	17	14
Sub 23 BL 2	18	10	7	7

Tabla 3.6 Valores de cortocircuito máximo en las barras de 6 kV para el estado de operación No.6.

Nombre de las barras	I"pico (kA)	I"tot (kA)	I"sim (kA)	I'sim (kA)
Sub 10 BL 1 y 2	102	61	39	34
Sub 10 BL 1	81	49	30	25
Sub 20 BL 1	42	25	17	15
Sub 40 BL 1	16	10	7	6
Sub 10 BL 2	75	45	28	24
Sub 20 BL 2	45	27	18	15
Accionamiento Principal Crudo 2	38	22	15	13
Sub 23 BL 1	17	10	7	7
Sub 40 BL 2	26	15	11	10
Sub 10 BL 3 y 4	113	68	43	39
Sub 10 BL 3	81	49	30	25
Sub 30 BL 1	16	10	7	7
Sub 20 BL 3	47	28	19	16
Accionamiento Principal Crudo 3	39	23	16	14
Proyecto L-3	80	48	30	25
Sub 50	5	3	2	2
Secador	9	5	3	3
Descarga-Horno	13	8	5	4
Pre calentador	17	10	7	6
Molino de Carbón	15	9	6	5
Sub 10 BL 4	75	45	28	24
Sub 30 BL 2	16	9	7	6
Sub 20 BL 4	43	25	17	15
Sub 23 BL 2	18	10	7	7

3.2 Máximo valor de cortocircuito en las barras de 6 kV y escenarios en los que puede presentarse

A continuación en la tabla 3.7 se muestra el valor máximo de cortocircuito que puede presentarse en cada una de las barras objeto de análisis, especificando los escenarios en los que pueden presentarse dichos valores.

Tabla 3.7 Valor máximo de cortocircuito en las barras de 6 kV y escenario en los que se presenta.

Nombre de las barras	I ^{"pico} (kA)	I ^{"tot} (kA)	I ^{"sim} (kA)	I ^{'sim} (kA)	Escenarios
Sub 10 BL 1 y 2	102	61	39	34	5, 6
Sub 10 BL 1	81	49	30	25	6
Sub 20 BL 1	42	25	17	15	3, 6
Sub 40 BL 1	16	10	7	6	3, 5, 6
Sub 10 BL 2	75	45	28	24	6
Sub 20 BL 2	45	27	18	15	6
Accionamiento Principal Crudo 2	38	22	15	13	6
Sub 23 BL 1	17	10	7	7	2, 3, 5, 6
Sub 40 BL 2	26	15	11	10	6
Sub 10 BL 3 y 4	113	68	43	39	6
Sub 10 BL 3	81	49	30	25	6
Sub 30 BL 1	16	10	7	7	6
Sub 20 BL 3	47	28	19	16	6
Accionamiento Principal Crudo 3	39	23	16	14	6
Proyecto L-3	80	48	30	25	6
Sub 50	5	3	2	2	1, 2, 3, 4, 5, 6
Secador	9	5	3	3	1, 2, 3, 4, 5, 6
Descarga-Horno	13	8	5	4	2, 3, 5, 6
Precaentador	17	10	7	6	6
Molino de Carbón	15	9	6	5	1, 2, 3, 4, 5, 6
Sub 10 BL 4	75	45	28	24	6
Sub 30 BL 2	16	9	7	6	3, 5, 6
Sub 20 BL 4	43	25	17	15	6
Sub 23 BL 2	18	10	7	7	3, 5, 6

3.3 Chequeo de interruptores de media tensión

Como puede observarse en la tabla 3.7, en el escenario de operación No.6, en todas las barras, se alcanza el máximo valor de cortocircuito que puede existir en cada una de ellas. Esto permite hacer el chequeo de los interruptores instalados en estos niveles de voltaje para la corrida correspondiente a este estado de operación. A continuación se muestra en la tabla 3.8 dicho chequeo.

Tabla 3.8 Chequeo de interruptores para el escenario No.6.

Nombre del interruptor en el IPA	Capacidad momentánea						Capacidad interruptiva					
	I"pico (kA)	CCP (kA)	Chequeo	I"tot (kA)	CCT (kA)	Chequeo	Iadj (kA)	I int (kA)	Chequeo	I'sim (kA)	I int (kA)	Chequeo
X2.PCB2	64	≤ 257	OK	39	≤ 152	OK	23	≤ 32	OK	19	≤ 32	OK
M.561-AP1.PCB	76	≤ 203	OK	46	≤ 120	OK	28	≤ 61	OK	24	≤ 61	OK
M.561-VE1.PCB	80	≤ 203	OK	48	≤ 120	OK	30	≤ 61	OK	25	≤ 61	OK
Acop. BL1- BL3.PCB1	58	≤ 257	OK	35	≤ 152	OK	22	≤ 32	OK	18	≤ 32	OK
FDR7.PCB1	81	≤ 203	OK	49	≤ 120	OK	30	≤ 61	OK	25	≤ 61	OK
FDR7.PCB2	42	≤ 203	OK	25	≤ 120	OK	16	≤ 61	OK	15	≤ 61	OK
FDR17.PCB1	80	≤ 203	OK	48	≤ 120	OK	30	≤ 61	OK	25	≤ 61	OK
FDR14.PCB1	80	≤ 203	OK	48	≤ 120	OK	30	≤ 61	OK	25	≤ 61	OK
FDR15.PCB1	81	≤ 203	OK	49	≤ 120	OK	30	≤ 61	OK	25	≤ 61	OK
FDR15.PCB2	16	≤ 203	OK	10	≤ 120	OK	6	≤ 61	OK	6	≤ 61	OK
X1.PCB2	56	≤ 257	OK	34	≤ 152	OK	21	≤ 32	OK	18	≤ 32	OK
M.562-AP1.PCB	70	≤ 203	OK	42	≤ 120	OK	27	≤ 61	OK	22	≤ 61	OK
M.562-VE1.PCB	74	≤ 203	OK	45	≤ 120	OK	28	≤ 61	OK	23	≤ 61	OK
Acop. BL2- BL 4.PCB1	44	≤ 257	OK	26	≤ 152	OK	18	≤ 32	OK	15	≤ 32	OK
FDR25.PCB1	69	≤ 203	OK	42	≤ 120	OK	27	≤ 61	OK	22	≤ 61	OK
FDR25.PCB2	39	≤ 203	OK	23	≤ 120	OK	15	≤ 61	OK	14	≤ 61	OK
M.362-VE2.PCB	44	≤ 203	OK	26	≤ 120	OK	16	≤ 61	OK	15	≤ 61	OK
M.332-TB1.PCB	44	≤ 203	OK	26	≤ 120	OK	16	≤ 61	OK	15	≤ 61	OK
M.362-VE1.PCB	44	≤ 203	OK	26	≤ 120	OK	16	≤ 61	OK	15	≤ 61	OK
FDR26.PCB1	45	≤ 203	OK	26	≤ 120	OK	16	≤ 61	OK	15	≤ 61	OK
FDR29.PCB1	42	≤ 203	OK	25	≤ 120	OK	15	≤ 61	OK	15	≤ 61	OK
M.362-AP1.PCB	36	≤ 203	OK	21	≤ 120	OK	13	≤ 61	OK	13	≤ 61	OK
M.362-AP2.PCB	36	≤ 203	OK	21	≤ 120	OK	13	≤ 61	OK	13	≤ 61	OK
FDR27.PCB1	45	≤ 203	OK	27	≤ 120	OK	16	≤ 61	OK	15	≤ 61	OK

FDR27.PCB2	17	≤	203	OK	10	≤	120	OK	7	≤	61	OK	7	≤	61	OK
FDR47.PCB1	74	≤	203	OK	45	≤	120	OK	28	≤	61	OK	23	≤	61	OK
FDR39.PCB1	73	≤	203	OK	44	≤	120	OK	28	≤	61	OK	23	≤	61	OK
FDR39.PCB2	25	≤	203	OK	15	≤	120	OK	10	≤	61	OK	10	≤	61	OK
FDR42.PCB1	26	≤	203	OK	15	≤	120	OK	10	≤	61	OK	10	≤	61	OK
FDR43.PCB1	25	≤	203	OK	15	≤	120	OK	10	≤	61	OK	10	≤	61	OK
X3.PCB2	42	≤	257	OK	25	≤	152	OK	17	≤	32	OK	14	≤	32	OK
FDR52.PCB1	80	≤	203	OK	48	≤	120	OK	30	≤	61	OK	25	≤	61	OK
FDR52.PCB2	16	≤	203	OK	9	≤	120	OK	7	≤	61	OK	7	≤	61	OK
FDR55.PCB1	16	≤	203	OK	9	≤	120	OK	7	≤	61	OK	7	≤	61	OK
FDR54.PCB1	75	≤	203	OK	45	≤	120	OK	28	≤	61	OK	24	≤	61	OK
FDR54.PCB2	41	≤	203	OK	24	≤	120	OK	15	≤	61	OK	15	≤	61	OK
M.363-VE2.PCB	46	≤	203	OK	27	≤	120	OK	16	≤	61	OK	16	≤	61	OK
M.333-TB1.PCB	46	≤	203	OK	27	≤	120	OK	16	≤	61	OK	16	≤	61	OK
M.363-VE1.PCB	46	≤	203	OK	27	≤	120	OK	16	≤	61	OK	16	≤	61	OK
FDR58.PCB1	46	≤	203	OK	27	≤	120	OK	16	≤	61	OK	16	≤	61	OK
FDR59.PCB1	44	≤	203	OK	26	≤	120	OK	15	≤	61	OK	15	≤	61	OK
M.363- AP1.PCB	37	≤	203	OK	22	≤	120	OK	13	≤	61	OK	13	≤	61	OK
M.363- AP2.PCB	37	≤	203	OK	22	≤	120	OK	13	≤	61	OK	13	≤	61	OK
FDR65.PCB2	3	≤	203	OK	2	≤	120	OK	1	≤	61	OK	1	≤	61	OK
M.211-AP1.PCB	4	≤	203	OK	2	≤	120	OK	1	≤	61	OK	1	≤	61	OK
M.211-AP2.PCB	4	≤	203	OK	2	≤	120	OK	1	≤	61	OK	1	≤	61	OK
FDR70.PCB1	4	≤	203	OK	3	≤	120	OK	2	≤	61	OK	2	≤	61	OK
FDR69.PCB1	78	≤	135	OK	47	≤	80	OK	29	≤	50	OK	24	≤	50	OK
FDR69.PCB2	6	≤	85	OK	3	≤	50	OK	2	≤	32	OK	2	≤	32	OK
M.221-VE3.PCB	8	≤	27	OK	5	≤	16	OK	3	≤	10	OK	3	≤	10	OK
FDR72.PCB1	8	≤	27	OK	5	≤	16	OK	3	≤	10	OK	3	≤	10	OK
FDR73.PCB1	8	≤	27	OK	4	≤	16	OK	3	≤	10	OK	3	≤	10	OK
FDR68.PCB1	78	≤	135	OK	47	≤	80	OK	29	≤	50	OK	24	≤	50	OK
M 473-VEB.PCB	12	≤	27	OK	7	≤	16	OK	4	≤	10	OK	4	≤	10	OK

FDR76.PCB1	11	≤	27	OK	7	≤	16	OK	4	≤	10	OK	4	≤	10	OK
FDR77.PCB1	12	≤	27	OK	7	≤	16	OK	4	≤	10	OK	4	≤	10	OK
FDR67.PCB1	76	≤	135	OK	46	≤	80	OK	28	≤	50	OK	24	≤	50	OK
M 443-VE1.PCB	14	≤	85	OK	8	≤	50	OK	5	≤	32	OK	5	≤	32	OK
M 423-VE1.PCB	16	≤	27	OK	10	≤	16	OK	6	≤	10	OK	5	≤	10	OK
M 422-VE1.PCB	16	≤	27	OK	10	≤	16	OK	6	≤	10	OK	5	≤	10	OK
FDR81.PCB1	16	≤	27	OK	10	≤	16	OK	6	≤	10	OK	5	≤	10	OK
FDR82.PCB1	16	≤	27	OK	10	≤	16	OK	6	≤	10	OK	5	≤	10	OK
FDR66.PCB1	77	≤	135	OK	46	≤	80	OK	29	≤	50	OK	24	≤	50	OK
M L61-VE1.PCB	14	≤	27	OK	9	≤	16	OK	5	≤	10	OK	5	≤	10	OK
FDR85.PCB1	14	≤	27	OK	8	≤	16	OK	5	≤	10	OK	5	≤	10	OK
M L61-AP1.PCB	6	≤	203	OK	3	≤	120	OK	3	≤	75	OK	2	≤	75	OK
FDR87.PCB1	14	≤	27	OK	9	≤	16	OK	5	≤	10	OK	5	≤	10	OK
FDR86.PCB1	15	≤	27	OK	9	≤	16	OK	5	≤	10	OK	5	≤	10	OK
X4.PCB2	41	≤	257	OK	24	≤	152	OK	17	≤	32	OK	14	≤	32	OK
FDR91.PCB1	75	≤	203	OK	45	≤	120	OK	28	≤	61	OK	24	≤	61	OK
FDR91.PCB2	16	≤	203	OK	9	≤	120	OK	6	≤	61	OK	6	≤	61	OK
FDR94.PCB1	71	≤	203	OK	43	≤	120	OK	28	≤	61	OK	23	≤	61	OK
FDR94.PCB2	39	≤	203	OK	23	≤	120	OK	15	≤	61	OK	14	≤	61	OK
FDR96.PCB1	42	≤	203	OK	25	≤	120	OK	15	≤	61	OK	15	≤	61	OK
FDR97.PCB1	42	≤	203	OK	25	≤	120	OK	15	≤	61	OK	15	≤	61	OK
FDR97.PCB2	17	≤	203	OK	10	≤	120	OK	7	≤	61	OK	7	≤	61	OK
FDR98.PCB1	17	≤	203	OK	10	≤	120	OK	7	≤	61	OK	7	≤	61	OK
FDR99.PCB1	42	≤	203	OK	25	≤	120	OK	15	≤	61	OK	15	≤	61	OK
FDR100.PCB1	41	≤	203	OK	24	≤	120	OK	15	≤	61	OK	15	≤	61	OK

Como se observa en la tabla 3.8, ningún interruptor está mal seleccionado puesto que sus capacidades momentáneas e interruptivas están por encima del valor de corriente de cortocircuito a las que se deben enfrentar. Estos resultados muestran que para cualquier estado de operación de la planta, los interruptores de media tensión serán capaces de soportar e interrumpir las grandes corrientes de falla a las que pudieran ser sometidos.

3.4 Niveles de cortocircuito en las barras de 6 kV para el estado de operación No.6 según el software ETAP 12.6.0

A continuación en la tabla 3.9 se puede observar una comparación entre los valores de cortocircuito en las barras de 6 kV para el estado de operación No.6, obtenidos por los programas IPA y ETAP 12.6.0, este último es un software profesional con el cual se pudo corroborar los resultados arrojados por el IPA, demostrando la credibilidad de estos valores. Los resultados obtenidos por el ETAP 12.6.0 fueron chequeados por la norma ANSI/IEEE y por la IEC. El monolineal de la planta confeccionado en el ETAP puede apreciarse en el Anexo 7.

Las normas IEC han sido desarrolladas en Europa y abarcan prácticamente todos los temas de la Electrotecnia. Esta norma pretende establecer un procedimiento conciso para que los resultados que se tengan sean precisos y de carácter conservador. Los resultados que se encuentran con este procedimiento se pueden usar para la comprobación de algunas características de equipos instalados, así como para la selección de equipos en la etapa de planeación.[22]

Tabla 3.9 Comparación entre los niveles de cortocircuito obtenidos por el IPA y por el ETAP 12.6.0 para el estado de operación No.6.

Nombre	I ^{sim} (kA)	I ^{sim} (kA)	I ^k (kA)
	IPA	ETAP 12.6.0 ANSI/IEEE	ETAP 12.6.0 IEC
Barra Trinidad.	5	5,62	6,20
TRF 101.	5	5,62	6,20
Sub 10 BL 1 y 2	39	35,93	37,92
Sub 10 BL 1	30	24,99	28,70

Sub 20 BL 1	17	15,33	18,46
Sub 40 BL 1	7	9,43	11,35
Sub 10 BL 2	28	20,86	23,53
Sub 20 BL 2	18	19,92	22,44
Accionamiento Principal Crudo 2	15	19,47	21,91
Sub 23 BL 1	7	9,43	11,35
Sub 40 BL 2	11	14,99	16,30
Barra Expreso	5	5,62	6,20
TRF 102	5	5,62	6,20
Sub 10 BL 3 y 4	43	40,42	45,10
Sub 10 BL 3	30	24,99	28,70
Sub 30 BL 1	7	8,7	11,06
Sub 20 BL 3	19	23,62	25,03
Accionamiento Principal Crudo 3	16	22,86	24,09
Proyecto L-3	30	24,99	28,70
Sub 50	2	3,5	5,50
Secador	3	5,09	7,04
Descarga-Horno	5	7,54	10,95
Precalentador	7	9,44	13,00
Molino de Carbón	6	8,16	11,67
Sub 10 BL 4	28	20,86	23,53
Sub 30 BL 2	7	9,46	11,42
Sub 20 BL 4	17	19,78	22,26
Sub 23 BL 2	7	9,28	12,30

Las diferencias que existen entre los resultados obtenidos por uno u otro programa se deben a determinadas aproximaciones que se asumieron en el software ETAP 12.6.0, como por ejemplo, los grupos de motores que se emplearon y el uso de los datos ofrecidos por la librería del ETAP 12.6.0. Como se puede observar en la comparación, en la mayoría de los casos, estas diferencias no son apreciables, por lo que se puede confirmar la veracidad de los resultados después de haber sido analizados por programas diferentes.

Además, en la tabla 3.9 se muestra que en todas las barras, la corriente inicial I''_k (IEC) de falla es más alta que la corriente simétrica momentánea (ANSI/IEEE) de falla. Este comportamiento se debe, entre otras cosas, a la influencia que tienen los voltajes de prefalla recomendados por la norma IEC y al hecho de que las impedancias de todas las máquinas rotatorias que son usadas por la IEC para el cálculo de la corriente inicial, son las impedancias subtransitorias, corroborando su carácter más conservador.[13]

CONCLUSIONES

Luego de la actualización completa del monolineal, la definición con la empresa sobre los regímenes de operación en los que puede funcionar la fábrica, se pudo hacer la simulación del sistema eléctrico en el programa IPA y se obtiene que existen diferencias en los valores de cortocircuito en cada una de las barras de 6 kV entre un estado de operación y otro, debido a las diferentes configuraciones posibles que puede adoptar la red eléctrica de la industria, incluyendo las fuentes de cortocircuito.

Una vez obtenidos estos valores se determinó que en el estado de operación No.6 se obtienen los máximos valores de cortocircuito en todas las barras objeto de estudio. De esta forma al hacer el cheque de los interruptores instalados, se comprueba que todos ellos son capaces de soportar las máximas corrientes de fallas a las que pudieran ser sometidos.

Con el uso del software ETAP 12.6.0 se pudo comprobar la veracidad de los resultados obtenidos por el IPA, notándose solo algunas diferencias que son debidas en lo fundamental a: que el ETAP considera las contribuciones de las fuentes como local o remota y el IPA no, la influencia que tienen los voltajes de prefalla, las impedancias usadas en las máquinas rotatorias y cálculo de la relación R/X en cada caso.

RECOMENDACIONES

- A pesar de que el estudio demostró que los interruptores de medio voltaje instalados en la industria son capaces de soportar las grandes corrientes de cortocircuito que pudiera presentarse en caso de falla, se recomienda el cambio paulatino de estos desconectivos por otros de una tecnología más moderna, como por ejemplo interruptores en vacío, ya que aunque han existido nuevas inversiones, la mayoría de estos equipos aun datan de los inicios de la fábrica.
- A consecuencia de las ampliaciones y modificaciones del sistema eléctrico actual dentro y fuera de esta industria, se recomienda la actualización del monolineal y la realización de un estudio de este tipo en un plazo no superior a cinco años, con el fin de verificar la influencia que pueden causar dichos cambios en los resultados obtenidos en este trabajo.
- Un estudio de cortocircuito es de suma importancia para el ajuste y coordinación de las protecciones eléctricas de un sistema eléctrico cualquiera. Por esta razón se recomienda hacer uso de este trabajo, para un futuro proyecto de cálculo de los parámetros de ajuste de las protecciones de medio voltaje instaladas en la planta.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] I. 141-1993, "IEEE Recommended Practice For Electric Power Distribution For Industrial Plants", T. I. o. a. E. Engineers, Ed., ed, 1993.
- [2] D. A. N. Picado, "Estudio de cortocircuito en el rediseño de la instalación eléctrica de Laboratorios STEIN, Costa Rica", Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, 2016.
- [3] G. Barahona, "Análisis de Corto Circuitos," Escuela de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica, 2015.
- [4] C. G. R. Sánchez, "Estudio de cortocircuito y calibración de protecciones eléctricas en el sistema de transmisión de la Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento", Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica Escuela Politécnica Nacional de Ecuador, Quito, Ecuador, 2012.
- [5] J. R. OrtizBarreto, "COORDINACIÓN DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN A NIVEL DE 34,5 kV Y 13,8 kV DEL ÁREA PESADO, DISTRITO MORICHAL, PDVSA", ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS UNIVERSIDAD DE ORIENTE. NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI 2009.
- [6] I. J. E. A. Ureña, *Coordinación de protecciones en la industria. En Conceptos Básicos para el diseño de instalaciones eléctricas industriales*, 2014.
- [7] I. V. E. Rojas, *El diseño eléctrico. En Método de los kVA equivalentes para el cálculo de las corrientes de corto circuito*, 2003
- [8] R. GUERRERO- CEPEDA, "Revisión y Especificación de Capacidades Interruptivas y Esfuerzos Momentáneos en Sistemas Eléctricos Industriales," FACULTAD DE INGENIERÍA, Universidad Nacional Autónoma de México, MÉXICO, 2012.
- [9] A. I. 551-2006, "AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis-Preferred Ratings and Related Required Capabilities.."
- [10] J. C. Barrantes-Quesada, "Estudio de cortocircuito y coordinación de protecciones en CVG ALUNASA.," Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Costa Rica, Costa Rica, 2014.
- [11] I. S. C37.010-1999, *Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.*, 1999.
- [12] I. 62271-1, "High-voltage switchgear and controlgear— Part 1: Common specifications," ed, IEC; 2007.
- [13] V. J. V. Bojórquez, "Estudio comparativo de las normas IEC y ANSI para cálculo de corto circuito.," Escuela superior de ingeniería mecánica y eléctrica., México, 2007.
- [14] G. M., "Manual del interruptor de pequeño volumen de aceite 17mg.," ed, 2000.
- [15] J. J. Adam Heyduk, "Comparative Analysis of European and American Standards for Maximum Fault Current Calculations on Medium Voltage Mine Power Networks," vol. VOL. 22, 2016.

- [16] I. S. C37.010, "Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis.," ed, 1999.
- [17] Y. Moon, *Short circuit abc - learn it in an hour, use it anywhere, memorize no formula:* IEEE Transactions on Industry Applications, 1974.
- [18] I. S. 1015™, *Applying Low Voltage Circuit Breakers Used in Industrial and Commercial Power Systems*, 2006.
- [19] I. E. Luiz Felipe O. Costa Senior Member, "Differences and similarities between ANSI and IEC cultures for MV assemblies—the Brazilian experience," November 2013.
- [20] I. P. Abril, "Ayuda del IPA," U. C. M. A. d. I. Villas, Ed., ed, 1999.
- [21] "Proyecto eléctrico de Cementos Cienfuegos, Karl Marx," ed, 1975.
- [22] I. 60909, "International standard: short-circuit current calculation in three-phase a.c. systems," 1st Edition. 1988.

OTRAS FUENTES CONSULTADAS

- [23] A. P. M., "Analysis of Faulted Power Systems," *IEEE Press Power System Engineering Series*, New York, 1995.
- [24] C. H. Walter., ""Interpretation of New American National Standard for Power Circuit Breaker Applications"," *IEEE Transactions an Industry and General Applications*, vol. Vol. IGA-5, No. 5, Sept./Oct. 1969.
- [25] D. J. C., " Power System Analysis: Short-Circuit Load Flow and Harmonics," New York, Marcel Dekker, 2002.
- [26] I. S. 551-2006, "IEEE Recommended Practice for Calculating Short-Circuit Currents in Industrial and Commercial Power Systems," (IEEE Violet Book).
- [27] L. Irwin, "Análisis y Diseño de Sistemas Eléctricos para Plantas Industriales," México, Noriega Editores, 1988.
- [28] E. HARPER, ""Protección De Instalaciones Eléctricas Industriales Y Comerciales"," *Editorial LIMUSA.*, 1999.
- [29] I. 399-1997, ""IEEE Recommended Practice For Industrial And Commercial Power SystemsAnalysis"," *The Institute ofElectrical and Electronics Engineers, Inc. 345 East 47th Street.,* New York, NY 10017-2394, USA. 1997. .

- [30] P. B. R. Brokering Christie W., Vargas Díaz L. , "Los Sistemas Eléctricos de Potencia," *Chile, Prentice Hall – Pearson Education, 2008.*
- [31] N. D. T. Abdul., "Power Systems Modelling and Fault Analysis; Theory and Practice," U.S.A., Elsevier, 2008.
- [32] V. d. S. Lou, "Transients in Power Systems," England, Jhon Wiley & Sons Ltd, 2001. .
- [33] S. Y. Wang Xi-Fan., Irving Malcolm., "Modern Power Systems Analysis," New York, Springer, 2008.
- [34] G. Parise, Adducce, M., "Conductor Protection Against Short Circuit Current
" Department of Electrical Engineering. University of Rome "La Sapienza", Italy, 1998.

ANEXOS

Anexo 1

Tabla 1 Datos del sistema eléctrico de suministro de 115 kV.

Acometida del SEN	MVAcc	Máximo	Mínimo
Expreso	MVAcc 3 Φ	1024,64	714,28
	MVAcc 1 Φ	932,81	682,84
Trinidad	MVAcc 3 Φ	1024,64	932,81
	MVAcc 1 Φ	724,57	686,46

Anexo 2

Tabla 2 Datos de los reactores serie.

Ubicación		Nombre en el IPA	V (V)	X (Ω)
Desde	Hasta			
Sub 10 BL 1 y 2	Sub 10 BL 1	X2	6300	0,114
Sub 10 BL 1 y 2	Sub 10 BL 2	X1	6300	0,114
Sub 10 BL 3 y 4	Sub 10 BL 3	X3	6300	0,114
Sub 10 BL 3 y 4	Sub 10 BL 4	X4	6300	0,114

Anexo 3

Tabla 3 Datos de los motores trifásicos de inducción de medio voltaje.

Ubicación		Nombre equipo	Nombre en el IPA	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)	FP	η (%)
Sub 10	Bloque 1	Motor Principal Molino 1	M 561-AP1	2500	295	6000	715	0,857	95,2
		Motor Ventilador Succionador	M 561-VE1	200	26	6000	890	0,792	93,4
	Bloque 2	Motor Principal Molino 2	M 562-AP1	2500	295	6000	715	0,857	95,2
		Motor Ventilador Succionador	M 562-VE1	200	26	6000	890	0,792	93,4
Sub 20	Bloque 2	Triturador de martillo (Acc. Princ. Molinillo)	M 332-TB1	314	40	6000	889	0,807	93,6
		Ventilador Exahustor 1	M 362-VE1	280	37	6000	710	0,78	93,4
		Ventilador Exahustor 2	M 362-VE2	630	75	6000	710	0,87	92,9
		Accionamiento Principal Molino de Crudo 2	M 362-AP1	900	109	6000	890	0,843	94,3
		Accionamiento Principal Molino de Crudo 2	M 362-AP2	900	109	6000	890	0,843	94,3
	Bloque 3	Triturador de martillo (Acc. Princ. Molinillo)	M 333-TB1	315	41	6000	888	0,8	92,4
		Ventilador Exahustor	M 363-VE1	630	75	6000	893	0,861	93,9
		Ventilador Exahustor	M 363-VE2	630	75	6000	893	0,861	93,9
		Accionamiento Principal Molino de Crudo 3	M 363-AP1	900	110	6000	890	0,83	94,9
		Accionamiento Principal Molino de Crudo 3	M 363-AP2	900	110	6000	890	0,83	94,9
Sub 50	Bloque 2	Trituradora	M 211-AP1	400	53	6000	712	0,778	93,3
		Trituradora	M 211-AP2	400	53	6000	712	0,778	93,3
Proyecto Línea 3	Secador	Ventilador Casa de Bolsa	M 221-VE3	525	64	6000	892	0,82	96,1
	Molino de carbón	Ventilador de gases de entrada al molino	M L61-VE1	650	74	6000	1193	0,87	96,7
		Accionamiento Principal del molino	M L61-AP1	815	177	3300	896	0,83	96,8
	Precalentador	Ventilador	M 422-VE1	250	35.8	6000	592	0,71	94,6
		Ventilador	M 423-VE1	250	38	6000	590	0,73	86,7
		Ventilador Gas Caliente	M 443-VE1	1700	199	6000	895	0,85	96,7
	Descarga-Horno	Ventilador	M 473-VEB	525	64	6000	892	0,82	96,1

Tabla 4 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 10 transformador 111.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
Electrofiltros Línea 1	Motores Sacudidor Electrofiltro 1		0,14	0.6	460	
	Motores Sacudidor Electrofiltro 2		0,14	0.6	460	
	Motores Sacudidor Electrofiltro 3		0,14	0.6	460	
	Motores Sacudidor Electrofiltro 4		0,14	0.6	460	
	Motores Golpeador Electrofiltro 1		0,14	0.6	460	
	Motores Golpeador Electrofiltro 2		1,14	0.7	460	
	Motores Golpeador Electrofiltro 3		2,14	0.8	460	
	Motores Golpeador Electrofiltro 4		3,14	0.9	460	
5P1-1M1 Dosificación Línea 1	Banda Larga Puzolana	K11-BT3	22	38	460	1160
	Banda Transporte De Yeso	521-BT1	9	23.6	460	1160
	Banda Transporte De Yeso	521-BT6	9	23.6	460	1160
	Banda Transporte De Puzolana	K11-BT2	6,6	17.3	460	1160
	Banda Transversal De Puzolana	K11-BT1	11,5	30.1	460	1160
	Banda Transporte De Yeso	521-BT2	22	38	460	1160
	Motor Aspa Carro Clinker	531-RE1	11	63	460	3490
	Motor Aspa Puzolana	K91-RE1	11	63	460	3490
5P1-1M2 Cemento Línea 1	Motor Ventilador Succión E	561-VE2	160	200	460	890
	Motor Sinfín 60	561-GU1	13	24	460	1760
	Motor Elevador De Cangilones	561-EC1_M01	54	105	460	890
	Motor Elevador De Cangilones	561-EC1_M02	54	105	460	890
	Motor Bomba De Alta	561-EL1-M01	8,6	14,7	460	1755
	Motor Bomba De Alta	561-EL2_M01	8,6	14,7	460	1755
	Motor Banda Alimentación M1	531-BT1	22	38	440	1160
	Motor Bomba Reductor Principal	561-EL3	25,5	43	460	1760
	Motor Auxiliar Del Molino	561-AK1	22	37,5	440	1760
	Motor Sinfín Desc. Electrofiltro	591- GU4	6,6	12,5	460	1750
	Motor Sinfín Desc. Electrofiltro	591-GU5	6,6	12,5	460	1750
	5P0-1M1 Transporte	Ventilador Del Filtro 591-Ft1	591-VE4	22	38	460
Ventilador Del Filtro 591-Fs2		591-VE3	22	38	460	1760

	Motor Ventilador De Canaleta	591-VT1	22	38	460	1160
	Motor Ventilador De Canaleta	591-VT2	22	38	460	1160
	Motor Ventilador De Canaleta	591-VT3	22	38	460	1160
	Motor Ventilador De Canaleta	591-VT4	22	38	460	1160
	Motor Ventilador De Canaleta	591-VT5	22	38	460	1160
	Banda Transportadora	591-BT2	90	235.7	460	890
	Transportador Tornillo Sinfín	591-GU7	22	38	460	1160
	Banda Transportadora	591-BT1	90	235.7	460	890

Nota: Todos los electrofiltros que se muestran en las siguientes tablas están compuestos por motores idénticos a los que se especifican en la tabla 4, razón por la cual solo se mostrará el panel (Electrofiltro) sin detallar nuevamente los motores.

Tabla 5 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 10 transformador 112.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
Electrofiltros Línea 2						
5P2-1M1 Dosificación Línea 2	Aspa Carro Dosificador De Clinker	532-RE1.U01	12,6	24	460	1160
	Aspa Carro Dosificador Puzolana	K92-RE1.U01	12,6	24	460	1160
	Banda Transversal De Puzolana	K92-BT1.M01	18	47.1	460	1160
5P2-1M2 Cemento Línea 2	Bomba De Alta Presión	562-EL1.M01	8,6	14,7	460	1755
	Bomba De Alta Presión	562-EL2.M01	8,6	14,7	460	1755
	Banda Transportadora	532-BT1.M01	22	38	460	1160
	Motor Auxiliar Del Molino	562-AK1.M01	22	37,5	460	1760
	Motor Auxiliar Del Molino	562-AK2.M01	22	37,5	460	1760
	Bomba De Aceite Del Reductor	562-EL3.M01	22	38	460	1160
	Bomba De Aceite Del Reductor	562-EL3.M02	22	38	460	1160
	Motor Separador Dinámico	562-CE1	105	165	460	1191
	Motor Sinfín 60	562-GU1	17,3	28	460	1745
Motor Ventilador Barrido	562-VE2	160	200	460	890	

Tabla 6 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 10 transformador 103.

Nombre equipo	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
Vent. Reactor 1 Y 2	18	32,5	460	1160
Vent. Reactor 3 Y 4	18	32,5	460	1160
Vent. Sala 6 kV	6,6	12,5	460	1140
Vent. Transformador 101 Y 102	66	118	460	890
Vent. Condensadores	18	32,5	460	1160
Vent. Transformador 102 (24 Vent.)	0,49 (c/u)	1,25 (c/u)	460	3350
Vent. Transformador 101 (13 Vent.)	0,42 (c/u)	0,84 (c/u)	460	1010
Motor Compresor 3	22	40	460	870
Motor Compresor 2	22	40	460	870

Tabla 7 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 20 Transformador 214.

Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
Electrofiltros					
Compresores	Compresor 1	13.9	36.4	460	1750
	Compresor 2	13.9	36.4	460	1750
	D31-CN1	90	165	460	1487
	D31-CN2	149	246	460	1789
	D31-CN3	90	165	460	1487
	D31-CN4	90	165	460	1487

Tabla 8 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 20 Transformador 222.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
Electrofiltros						
3P2-1M1 Dosificación Línea 2 Molino De Crudo	Aspa Rueda Extractora Caliza	332-RE1.U01	23	67	460	1800
	Ventilador Del Filtro De Mangas 332-Ft1	332-VE1	37	70	460	1800
	Banda Alimentación Hierro	332-BT3	7,5	13,3	460	1755

	Banda Alimentación Marga	332-BT2	7,5	13,3	460	1755
3P2-1M2 Transporte A Silos Línea 2 Molino De Crudo	Bomba Lubricación Chumacera Molino	362-EL1.M01	8,6	14,7	460	1755
	Bomba Lubricación Chumacera Molino	362-EL2.M01	8,6	14,7	460	1755
	Ventilador Aireación Canaleta	362-VT1	7,5	12,9	460	3510
	Banda Alimentación Molino	332-BT1	37	63	440	1180
4P2 1M2 Silos De Mezcla	Tornillo Sinfín	422-GU7	18,65	31,0	460	1765
	Tornillo Sinfín	422-GU8	15	24,4	460	1755
	Tornillo Sinfín	422-GU6.M01	18,65	31,0	460	1765
	Tornillo Sinfín	422-GU6.M02	18,65	31,0	460	1765

Tabla 9 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 20 Transformador 223.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
Electrofiltros						
3P3-1M1 01	Aspa Rueda Extractora Caliza	333-RE1	22	36,5	460	1775
	Ventilador Del Filtro De Mangas 333-Ft1	333-VE1	34	55	460	1764
	Banda Alimentación Marga (Extractora)	333-BT2	7,5	13,3	460	1775
	Banda Alimentación Hierro (Extractora)	333-BT3	7,5	13,3	460	1775
3P3-1M2 Molino de Carbón	Bomba Lubricación Chumacera Molino	363-EL1_M01	8,6	14,7	460	1755
	Bomba Lubricación Chumacera Molino	363-EL2_M01	8,6	14,7	460	1755
	Tornillo Sinfín	393-GU1	6,6	13	460	777
	Banda Alimentación Molino	333-BT1	34	57	460	1165
	Accionamiento Auxiliar 1 Molino	363-AK1	18	31	460	1765
	Accionamiento Auxiliar 2 Molino	363-AK2	18	31	460	1765
	Bomba De Aceite Del Reductor	363-EL4.M01	13	34	460	1755
	Bomba De Aceite Del Reductor	363-EL4.M02	13	34	460	1755
	Elevador De Cangilones	393-EC1	54	97,5	440	880
Ventilador Filtro Manga 393-Ft1	393-VE1	37	70	440	1800	
4P3-1M4	Tornillo Sinfín	423-GU7	18	29,5	460	1760
	Tornillo Sinfín	423-GU6.M01	18,65	31,0	460	1765
	Tornillo Sinfín	423-GU6.M02	18,65	31,1	460	1765

	Bomba Agua Torre Estabilizadora	423-BM3	62	96	460	3570
	Bomba Agua Torre Estabilizadora	423-BM4	62	96	460	3570

Tabla 10 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 20 Transformador 4P0-1T1.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
4P0-1M1	Soplador	380-VX4	5.6	14.7	460	1780
	Soplador	380-CN8	230	602.4	460	1784
	Soplador	380-CN9	230	602.4	460	1784
	Soplador	380-CN7	230	602.4	460	1784
	Soplador	380-CN6	230	602.4	460	1784

Tabla 11 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 23 Transformador 232.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
3P1-1M3 Nave de marga	Banda Transp. De Hierro A Tolva	311-BT3	63	105	460	1180
	Banda Transp. De Marga A Tolva	311-BT4	63	105	460	1180
	Banda Transp. De Hierro Salida Almac.	311-BT1	22	38	460	1160
	Banda Transp. De Marga Salida Almac.	311-BT2	22	38	460	1160
	Banda Distrib. De Hierro L1 Y L3	311-BT5	13	23,5	460	1160
	Banda Distrib. De Marga L1 Y L3	311-BT6	13	23,5	460	1160
	Rascador De Hierro	311-RC1	71	200	460	890
	Rascador De Marga	311-RC2	71	200	460	890

Tabla 12 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 30 Transformador 301.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
2P1-2M2 Silos de caliza	Banda Transportadora	291-BT7	34	57	460	1165
	Banda Transportadora	291-BT8	34	57	460	1165
	Banda Transportadora	291-BT9	34	57	460	1165

	Banda Transportadora	291-BT4	140	222	460	1180
	Banda Transportadora	291-BT5	140	222	460	1180
	Banda Transportadora	291-BT6	140	222	460	1180
	Banda Transportadora	291-BTA	22.37	37,8	460	1765
	Banda Transportadora	291-BTD	22.37	37,8	460	1765
	Banda Transportadora	291-BTB	22	38	460	1160
	Banda Transportadora	291-BTC	22	38	460	1160
	Vent. F.M Torres 2	291-VE3	21,3	35	460	1765
	Vent. F.M silos	291-VE2	17,3	20	460	1760
Tratamiento de agua		M30-BA1	13	23.5	460	1460
	Llenado de cisterna	M30-BA3	12.5	22.5	460	1750
	Soplador lavado de filtro	M30-BA9	13	23.5	460	1460

Tabla 13 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 40 Transformador 302.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
CC TRF-402	Compresor	M0508	362	574	460	1785
	Compresor	M0509	362	574	460	1785
	Compresor	611-CN2	30	78.6	460	3600
	Compresor	Compresor 1	30	78.6	460	3600
	Compresor	Compresor 2	8.13	21.3	460	1785

Tabla 14 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 40 Transformador 412.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
6P1-1M1 Despacho A Granel (FFCC y Camiones)	Ventilador Filtro de Mangas 621-FT1	621-VE1.M01	22	43	460	1785
	Ventilador Filtro de Mangas 621-FT2	621-VE2.M01	22	43	460	1785
	Ventilador Filtro de Mangas	621-VE3.SP1	22	43	460	1785

	Ventilador para Canaleta	621-VTB.SP1	7	15	460	3500
	Ventilador para Canaleta	621-VTC.SP2	7	15	460	3500
6P1-1M2 Despacho Por Sacos	Ventilador para Canaleta	611-VTE.SP1	7	15	460	3500
	Ventilador para Canaleta	611-VTF.SP2	7	15	460	3500
	Ventilador para Canaleta	611-VTG.SP1	7	15	460	3500
	Elevador de Canjilones	661-EC1.M01	26,5	45	460	1200
	Elevador de Canjilones	661-EC2.SP1	26,5	45	460	1200
	Ventilador Filtro de Mangas 661-FT1	661-VE1.M01	37	70	460	1700
	Ventilador Filtro de Mangas	661-VE2.SP1	37	70	460	1700
	Banda Transportadora a Camiones	691-BT3.M01	8,5	15,8	460	1800
	Banda Transportadora a Camiones	691-BT7.SP3	8,5	15,8	460	1800
	Banda Transportadora a FFCC	681-BT1.M01	8,5	15,8	460	1800
	Elevador de Canjilones	663-EC1.M01	26,5	45	460	1200
	Ventilador Filtro de Mangas 663-FT1	663-VE1.M01	37	70	460	1700
	Banda Transportadora a Camiones	693-BT2.M01	8,5	15,8	460	1800
	Banda Transportadora a Camiones	693-BT4.M01	8,5	15,8	460	1800
	Banda Transportadora a FFCC	682-BT1.M01	15	30	460	1800

Tabla 15 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Subestación 50 Transformador 502.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
2P1-2M1 Trituración de caliza	Banda Transportadora	291-BT1	90	142	460	1130
	Vent. Desemp. Triturad	211-VE1	26	68	460	1730
	Banda Transportadora	291-BT2	140	222	460	1180

Tabla 16 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Descarga del Horno, transformador 4P3 1T2.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
4P3-1M6	Bomba hidráulica	473-UH1.M02	5.7	14.9	460	1780
	Ventilador	473-VE4	150	240	460	1780
	Ventilador	473-VE1	55	86,1	460	1775
	Bomba hidráulica	473-UH2	82	215	460	1780
	Ventilador	473-VE2	150	240	460	1780
	Ventilador	473-VE3	185	295	460	1780
4P3-1M7	Triturador Martillo	473-TS1	88	141	460	1781
	Ventilador	473-VE7	90	144	460	1780
	Tornillo Sinfín	493-GU9	15	24,4	460	1755
	Transportador de placas	493-TC1	11.5	30	460	1780
	Ventilador	463-VE2	17,3	27,3	460	3543
	Ventilador	473-VE8	90	144	460	1780
	Ventilador	473-VE9	75	120	460	1775
	Ventilador Aire Primario	483 VE1.M01	150	221	460	3564
	Ventilador	473-VEA	8	21	460	3550
	Ventilador	473-VE5	150	240	460	1780
	Ventilador	473-VE6	110	175	460	1780

Tabla 17 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Descarga del Horno, transformador 4P3 1T3.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
4P3-1M8	Ventilador	473-VX1	25,3	41	460	1765
	Ventilador	473-VX2	25,3	41	460	1765
	Ventilador	473-VX3	25,3	41	460	1765
	Ventilador	473-VX4	25,3	41	460	1765
	Ventilador	473-VX5	25,3	41	460	1765

	Ventilador	473-VX6	25,3	41	460	1765
	Ventilador	473-VX7	25,3	41	460	1765
	Ventilador	473-VX8	25,3	41	460	1765
	Principal Elevador Cangilones	493-EC1_M01	62	107	460	1780
	Tornillo Sinfín	493-GU8	5,5	9,5	460	1765
	Tornillo Sinfín	493-GUA	11	17,8	460	1760
	Ventilador Filtro 493-FT1	493-VE1	17,3	28	460	1760
	Ventilador Filtro 493-FT2	493-VE2	13	35	460	1765
	Ventilador	493-VE3	21.3	35	460	1765
	Transportador cadena de arrastre	493-TK1	25	65.5	460	1765

Tabla 18 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Molino de Carbón, transformador LP1-1T1.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
LP1-1M1	Bomba De Lubricación	L61-EL1	15	39.3	460	1760
	Ventilador De Gases De Entrada Al Molino	L51-VE1	230	370	460	1191
	Compresor De Aire De Planta	D33-CN2	94.5	250	460	1760
	Compresor De Aire De Planta	D33-CN3	94.5	250	460	1760
LP1-1M2	Banda Corta (Patio De Carbón)	L11-BT1	18,8	31,3	460	1765
	Banda Larga (De Patio Carbón a Molino)	L11-BT2	37,5	61,7	460	1770
	Ventilador Aire Sellado	L61-VT1	9.0	15.0	460	3495
		L61-UH1.M02	11.5	30	460	1760
	Tornillo Sinfín	L91-GU3	11	17.9	460	1760
	Separador Mesa	L61-SP1	150	236	460	1785
	Tornillo Sinfín Tolva 1	L91-GU1	7	18	460	3495

Tabla 19 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Molino de Carbón, transformador LP1-1T2.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
LP1-1M3		453-SR1	76	199	460	1760
		481-SR1	76	199	460	1760
		481-SR2	76	199	460	1760
		483-SR1	52.6	138	460	1760
	Exclusa Celular Casa Bolsa	L91-VR3	8.4	22	460	3550
		483-SR2	52.6	138	460	1760

Tabla 20 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Precalentador, transformador 463-AP1.T01.

Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
Accionamiento Principal Horno	463-AP1	600	620	660	1793

Tabla 21 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Precalentador, transformador 4P3-1T1.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
4P3-1M1	Ventilador	412-VE1	8.6	14.7	460	1755
	Ventilador	412-VT4	6.3	10.2	460	3530
	Motor 1 Elevador Cangilones	413-EC1_M01	43	74	460	1770
	Ventilador Filtro 413-FT1	413-VE1	8,6	14,7	460	1755
	Ventilador Filtro 413-FT2	413-VE2	12,6	21	460	1760
	Motor Principal Elev. Cangilones	433-EC1.M01	102	162	460	1731
		433-SR1,M01	14	37	460	1755
	Tornillo Sinfín	422-GU8	15	24.4	460	1755
	Tornillo Sinfín	423-GU8	15	24,4	460	1755
	Tornillo Sinfín	423-GUA	15	24,4	460	1755

	Tornillo Sinfín	423-GUB	15	24,4	460	1755
	Ventilador Filtro 433-FT2	433-VE2	7,5	15,2	460	1455
	Ventilador Filtro 433-FT1	433-VE1	21,3	34,5	460	1765
	Tornillo Sinfín	423-GU9	15	24,4	460	1755
4P3-1M2	Exclusa Celular	433-VR1.M02	5,6	10	460	1730
	Ventilador	453-VE1	11	17,9	460	3542
	Ventilador	453-VE2	11	17	460	2520
	Ventilador	463-VE1	12,6	20,6	460	3520
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VX3	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VX4	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VX5	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VX6	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VX7	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VX8	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VX9	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VXA	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VXB	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VXC	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VXD	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VXE	5,6	10,1	460	1765
	Vent. Form. Pegata Chapa Horno	463-VXF	5,6	10,1	460	1765

Tabla 22 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Secador, transformador 221-AP1.T01.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
CCM 221-AP1	Secador	221-AP1	360	595	460	1191
	Secador	221-AP2	360	595	460	1191

Tabla 23 Datos de los motores trifásicos de inducción de bajo voltaje. Proyecto Línea 3, Secador, transformador 2P1-1T3.

Panel	Nombre equipo	Código	P (kW)	I (A)	V (V)	Vel (rpm)
2P1-1M1	Banda Transportadora	221-BT1	28.5	74,7	460	1770
	Banda Transportadora	221-BT2	28.5	74,7	460	1770
	Banda Transportadora	221-BT3	74.6	125	460	1770
	Banda Transportadora	221-BT4	37.3	61,7	460	1770
	Criba	221-CT1	75	196.4	460	1800
	Sopladores	221-SR1	43	68	460	3536
	Sopladores	221-SR2	43	68	460	3536
		221-VE2	31.5	82.4	460	3536
	Transportador de placas	221-TP1	88	141	460	1781
	Transportador de placas	221-TP2	88	141	460	1781
	Vent. F.M tolva de carbón	L91-VE2	6,6	11,4	460	3495
2P1-1M2	Compresores	221-CN1	93	152	460	1787
	Compresores	221-CN2	93	152	460	1787
	Vent. F.M Torres 1	291-VE1	12,6	21	460	1760
	Sinfín	291-GU4.M01	30	47,6	460	1770
	Sinfín	291-GU4.M02	30	47,6	460	1770
	Sinfín	291-GU2	37	57,5	460	1770
	Sinfín	291-GU3	37	57,5	460	1770
	Sinfín	291-GU5	90	138	460	1780

Anexo 4

Tabla 24 Datos de los transformadores trifásicos.

Ubicación		Nombre en el IPA	P (kVA)	V alta (V)	V baja (V)	Conexión
Sub 10	Sala 115 kV	TRF 101	32000	115000	6300	YY
		TRF 102	40000	115000	6300	YY
	Bloque 1	TRF 111	1600	6300	460	ΔY
		TRF 121	1600	6300	460	ΔY
		TRF 103	400	6300	460	ΔY
	Bloque 2	TRF 112	1600	6300	460	ΔY
		TRF 122	1600	6300	460	ΔY
	Bloque 4	TRF 124	1000	6300	460	ΔY
		TRF 114	630	6300	460	ΔY
		TRF 104	400	6300	460	ΔY
		TRF 125	1600	6300	460	ΔY
	Sub 20	Bloque 1	TRF 221	1600	6300	460
TRF 211			1000	6300	460	ΔY
Bloque 2		TRF 222	1600	6300	460	ΔY
		TRF 212	1000	6300	460	ΔY
Bloque 3		TRF 201	1000	6300	460	ΔY
		TRF 223	1600	6300	460	ΔY
Bloque 4		TRF 224	630	6300	460	ΔY
		TRF 214	1600	6300	460	ΔY
	TRF 202	1000	6300	460	ΔY	
		TRF 4P0-1T1	2500	6300	460	ΔY

Ubicación		Nombre en el IPA	P (kVA)	V alta (V)	V baja (V)	Conexión
Sub 23	Bloque 1	TRF 231	1600	6300	460	ΔY
	Bloque 2	TRF 232	1000	6300	460	ΔY
Sub 30	Bloque 1	TRF 301	1600	6300	460	ΔY
	Bloque 2	TRF 302	1000	6300	460	ΔY
		TRF 310	1600	6300	460	ΔY
Sub 40	Bloque 1	TRF 401	1000	6300	460	ΔY
		TRF 411	1600	6300	460	ΔY
	Bloque 2	TRF 402	400	6300	460	ΔY
		TRF 412	1000	6300	460	ΔY
Sub 50	Bloque 2	TRF 501	1000	6300	460	ΔY
		TRF 502	1000	6300	460	ΔY
Proyecto Línea 3	Descarga Horno	TRF 4P3 1T2	2000	6300	460	ΔY
		TRF 4P3 1T3	1000	6300	460	ΔY
	Precalentador	TRF 463 AP1.T01	1000	6300	720	ΔY
		TR 4P3 1T1	1600	6300	460	ΔY
	Molino de Carbón	TRF L61 AP1.T01	1300	6300	3800	ΔY
		TRF LP1 1T1	2000	6300	460	ΔY
		TRF LP1 1T2	1000	6300	460	ΔY
	Secador	TRF 2P1 1T3	2000	6300	460	ΔY
TRF 221 AP1.T01		800	6300	2x500	$\Delta Y \Delta$	

Anexos 5

Tabla 25 Datos de los interruptores de medio voltaje.

Ubicación		Nombre	Nombre en el IPA	I nom (A)	I int (kA)	I mom (kA)
Sub 10	Bloque 1	Alimentador de BL	X2.PCB2	2500	31.5	95
		Acoplamiento BL1-BL3	Acop. BL1- BL3.PCB1	2500	31.5	95
		Alimentador Sub 20 BL1	FDR7.PCB1	1250	61	75
		Alimentador TRF 111	FDR17.PCB1	630	61	75
		Alimentador M 561 AP1	M.561-AP1.PCB	1250	61	75
		Alimentador M 561 VE1	M.561-VE1.PCB	630	61	75
		Alimentador TRF 103	FDR14.PCB1	630	61	75
		Alimentador Sub 40 BL1	FDR15.PCB1	630	61	75
	Bloque 2	Alimentador de BL	X1.PCB2	2500	31.5	95
		Acoplamiento BL2-BL4	Acop. BL2- BL 4.PCB1	2500	31.5	95
		Alimentador Sub 20 BL2	FDR25.PCB1	1250	61	75
		Alimentador TRF 112	FDR47.PCB1	630	61	75
		Alimentador M 562 AP1	M.562-AP1.PCB	1250	61	75
		Alimentador M 562 VE1	M.562-VE1.PCB	630	61	75
		Alimentador Sub 40 BL2	FDR39.PCB1	630	61	75
	Bloque 3	Alimentador de BL	X3.PCB2	2500	31.5	95
		Alimentador Sub 30 BL1	FDR52.PCB1	630	61	75
		Alimentador Sub 20 BL3	FDR54.PCB1	1250	61	75
	Bloque 4	Alimentador de BL	X4.PCB2	2500	31.5	95
		Alimentador Sub 30 BL2	FDR91.PCB1	630	61	75
Alimentador Sub 20 BL 4		FDR94.PCB1	1250	61	75	

Sub 20	Bloque 1	Alimentador de BL	FDR7.PCB2	1250	61	75
	Bloque 2	Alimentador de BL	FDR25.PCB2	1250	61	75
		Alimentador TRF 222	FDR26.PCB1	630	61	75
		Alimentador al Accionamiento Principal de Crudo 2	FDR29.PCB1	630	61	75
		Alimentador M 362 AP1	M.362-AP1.PCB	630	61	75
		Alimentador M 362 AP2	M.362-AP2.PCB	630	61	75
		Alimentador M 362 VE2	M.362-VE2.PCB	630	61	75
		Alimentador M 332 TB1	M.332-TB1.PCB	630	61	75
		Alimentador M 362 VE1	M.362-VE1.PCB	630	61	75
	Alimentador Sub 23 BL1	FDR27.PCB1	630	61	75	
	Bloque 3	Alimentador de BL	FDR54.PCB2	1250	61	75
		Alimentador TRF 223	FDR58.PCB1	630	61	75
		Alimentador al Accionamiento Principal de Crudo 3	FDR59.PCB1	630	61	75
		Alimentador M 363 AP1	M.363- AP1.PCB	630	61	75
		Alimentador M 363 AP2	M.363- AP2.PCB	630	61	75
		Alimentador M 363 VE2	M.363-VE2.PCB	630	61	75
		Alimentador M 333 TB1	M.333-TB1.PCB	630	61	75
	Alimentador M 363 VE1	M.363-VE1.PCB	630	61	75	
	Bloque 4	Alimentador de BL	FDR94.PCB2	1250	61	75
		Alimentador TRF 214	FDR96.PCB1	630	61	75
Alimentador Sub 23 BL2		FDR97.PCB1	630	61	75	
Alimentador TRF 202		FDR99.PCB1	630	61	75	
Alimentador TRF 4P0 1T1		FDR100.PCB1	1250	61	75	
Sub 23	Bloque 1	Alimentador de BL	FDR27.PCB2	630	61	75
	Bloque 2	Alimentador de BL	FDR97.PCB2	630	61	75
		Alimentador TRF 232	FDR98.PCB1	630	61	75
Sub 30	Bloque 1	Alimentador de BL	FDR52.PCB2	630	61	75
		Alimentador TRF 301	FDR55.PCB1	630	61	75
	Bloque 2	Alimentador de BL	FDR91.PCB2	630	61	75

Sub 40	Bloque 1	Alimentador de BL	FDR15.PCB2	630	61	75
	Bloque 2	Alimentador de BL	FDR39.PCB2	630	61	75
		Alimentador TRF 412	FDR42.PCB1	630	61	75
		Alimentador TRF 402	FDR43.PCB1	630	61	75
Sub 50	Bloque 2	Alimentador de BL	FDR65.PCB2	630	61	75
		Alimentador TRF 502	FDR70.PCB1	630	61	75
		Alimentador M 211 AP1	M.211-AP1.PCB	630	61	75
		Alimentador M 211 AP2	M.211-AP2.PCB	630	61	75
Proyecto Línea 3	Barra Proyecto Línea 3	Alimentador Descarga-Horno	FDR68.PCB1	2000	50	50
		Alimentador Precaentador	FDR67.PCB1	2000	50	50
		Alimentador Secador	FDR69.PCB1	2000	50	50
		Alimentador Molino de Carbón	FDR66.PCB1	2000	50	50
	Descarga- Horno	Alimentador TRF 4P3 1T2	FDR76.PCB1	400	10	10
		Alimentador TRF 4P3 1T3	FDR77.PCB1	400	10	10
		Alimentador M 473 VEB	M 473-VEB.PCB	400	10	10
	Precaentador	Alimentador TRF 463 AP1.T01	FDR82.PCB1	400	10	10
		Alimentador TRF 4P1 1T1	FDR81.PCB1	400	10	10
		Alimentador M 422 VE1	M 422-VE1.PCB	400	10	10
		Alimentador M 443 VE1	M 443-VE1.PCB	1250	31,5	31,5
		Alimentador M 423 VE1	M 423-VE1.PCB	400	10	10
	Secador	Alimentador BL	FDR69.PCB2	1250	31,5	31,5
		Alimentador TRF 2P1 1T3	FDR73.PCB1	400	10	10
		Alimentador TRF 221 AP1.T01	FDR72.PCB1	400	10	10
		Alimentador M 221 VE3	M.221-VE3.PCB	400	10	10
	Molino de Carbón	Alimentador TRF L61 AP1.T01	FDR85.PCB1	400	10	10
		Alimentador TRF LP1 1T1	FDR87.PCB1	400	10	10
		Alimentador TRF LP1 1T2	FDR86.PCB1	400	10	10
		Alimentador M L61 VE1	M L61-VE1.PCB	400	10	10

Anexo 6

Tabla 26 Datos de los conductores de 6 kV. Subestación 10.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
Desde	Hasta				
Bloque 1	Bloque 3	Barra			
	Sub 20 BL 1	300 mm2	Al	5xFase	420
	TR 111	120 mm2	Al	1xFase	100
	TR 121	185 mm2	Al	1xFase	315
	M 561 AP1	300 MCM	Cu	1xFase	120
	M 561 VE1	250 MCM	Cu	1xFase	160
	TR 103	120 mm2	Al	1xFase	50
	Sub 40 BL 1	240 mm2	Al	2xFase	255
Bloque 2	Bloque 4	Barra			
	Sub 20 BL 2	300 mm2	Al	5xFase	423
	TR 112	120 mm2	Al	1xFase	115
	TR 122	185 mm2	Al	1xFase	325
	M 562 AP1	300 MCM	Cu	1xFase	120
	M 562 VE1	250 MCM	Cu	1xFase	160
	Sub 40 BL 2	240 mm2	Al	2xFase	275
Bloque 3	Sub 30 BL 1	300 mm2	Al	2xFase	750
	Sub 20 BL 3	300 mm2	Al	5xFase	428
	Proyecto L3	Barra			
Bloque 4	Sub 30 BL 2	300 mm2	Al	2xFase	750
	Sub 20 BL4	300 mm2	Al	5xFase	430
	TR 124	185 mm2	Al	1xFase	335
	TR 114	120 mm2	Al	1xFase	125
	TR 104	120 mm2	Al	1xFase	70
	TR 125	185 mm2	Al	1xFase	335

Tabla 27 Datos de los conductores de 6 kV. Subestación 20.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
Desde	Hasta				
Bloque 1	Bloque 3	Barra			
	TR 221	185 mm2	Al	1xFase	156
	TR 211	120 mm2	Al	1xFase	172
Bloque 2	Bloque 4	Barra			
	TR 222	185 mm2	Al	1xFase	216
	TR 212	120 mm2	Al	1xFase	213
	M 362 AP1,2	300 mm2	Al	1xFase	38
	M 362 VE2	250 MCM	Cu	1xFase	140
	M 332 TB1	250 MCM	Cu	1xFase	140
	M 362 VE1	250 MCM	Cu	1xFase	140
	TR 201	120 mm2	Al	1xFase	34
	Sub 23 BL 1	185 mm2	Al	2xFase	360
Bloque 3	TR 223	185 mm2	Al	1xFase	261
	M 363 AP1,2	300 mm2	Al	1xFase	45
	M 363 VE2	250 MCM	Cu	1xFase	170
	M 333 TB1	250 MCM	Cu	1xFase	170
	M 363 VE1	250 MCM	Cu	1xFase	170
Bloque 4	TR 224	185 mm2	Al	1xFase	151
	TR 214	185 mm2	Al	1xFase	164
	Sub 23 BL 2	185 mm2	Al	2xFase	359
	TR 202	120 mm2	Al	1xFase	35
	TR 4P0-1T1	4/0 AWG	Cu	1xFase	80
M 362 AP1,2	M 362 AP1	300 MCM	Cu	1xFase	140
	M 362 AP2	300 MCM	Cu	1xFase	140
M 363 AP1,2	M 363 AP1	300 MCM	Cu	1xFase	170
	M 363 AP2	300 MCM	Cu	1xFase	170

Tabla 28 Datos de los conductores de 6 kV. Subestación 23.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
Desde	Hasta				
Bloque 1	Bloque 2	Barra			
	TR 231	185 mm ²	Al	1xFase	28
Bloque 2	TR 232	120 mm ²	Al	1xFase	29

Tabla 29 Datos de los conductores de 6 kV. Subestación 30.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
Desde	Hasta				
Bloque 1	Bloque 2	Barra			
	TR 301	185 mm ²	Al	1x Fase	30
Bloque 2	TR 302	120 mm ²	Al	1x Fase	30
	TR 310	185 mm ²	Al	1x Fase	200

Tabla 30 Datos de los conductores de 6 kV. Subestación 40.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
Desde	Hasta				
Bloque 1	Bloque 2	Barra			
	TR 411	185 mm ²	Al	1xFase	220
	TR 401	185 mm ²	Al	1xFase	30
Bloque 2	TR 412	185 mm ²	Al	1xFase	210
	TR 402	185 mm ²	Al	1xFase	24

Tabla 31 Datos de los conductores de 6 kV. Subestación 50.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
Desde	Hasta				
Bloque 2	M 211 AP1	300 MCM	Cu	1xFase	150
	M 211 AP2	300 MCM	Cu	1xFase	150
	TR 502	250 mm ²	Al	1xFase	30

Tabla 32 Datos de los conductores de 6 kV. Proyecto Línea 3.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
Desde	Hasta				
Proyecto L3	Descarga-Horno	500 MCM	Cu	1xFase	500
	Pre calentador	350 MCM	Cu	2xFase	800
	Molino de Carbón	350 MCM	Cu	2xFase	800
	Secador	500 MCM	Cu	5xFase	4500
	Sub 50	300 mm2	Al	2xFase	4800
Descarga-Horno	TR 4P3-1T2	4/0 AWG	Cu	1xFase	20
	M 473-VEB	4/0 AWG	Cu	1xFase	100
	TR 4P3-1T3	4/0 AWG	Cu	1xFase	20
Pre calentador	TR 4P1-1T1	4/0 AWG	Cu	1xFase	20
	M 443-VE1	350 MCM	Cu	1xFase	95
	TR 463-AP1.T01	4/0 AWG	Cu	1xFase	20
	M 423-VE1	4/0 AWG	Cu	1xFase	80
	M 422-VE1	4/0 AWG	Cu	1xFase	120
Molino de Carbón	TR L61-AP1	4/0 AWG	Cu	1xFase	50
	TR LP1-1T1	4/0 AWG	Cu	1xFase	50
	M L61-VE1	4/0 AWG	Cu	1xFase	180
	TR LP1-1T2	4/0 AWG	Cu	1xFase	50
Secador	TR 221-AP1	4/0 AWG	Cu	1xFase	20
	M 221-VE3	4/0 AWG	Cu	1xFase	140
	TR 2P1-1T3	4/0 AWG	Cu	1xFase	20
TR 463-AP1.T01	M 463-AP1	350 MCM	Cu	2xFase	180
TR L61-AP1	M L61-AP1	350 MCM	Cu	1xFase	150
TR 221-AP1	M 221-AP1	250 MCM	Cu	3xFase	100
	M 221-AP2	250 MCM	Cu	3xFase	100

Tabla 33 Datos de los conductores de 480 V.

Subestación	Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond	Longitud (m)
	Desde (TRF)	Hasta (CCM)				
Sub 10	111	5P1-1M1	120 mm2	Cu	3 x Fase	80
		5P1-1M2	240 mm2	Cu	3 x Fase	30
		Electrofiltro Cemento Línea 1	150 mm2	Cu	1 x Fase	30
		5P0-1M1	240 mm2	Cu	2 x Fase	30
	112	Electrofiltro Cemento Línea 2	150 mm2	Cu	1 x Fase	30
		5P2-1M1	150 mm2	Cu	1 x Fase	80
		5P2-1M2	240 mm2	Cu	3 x Fase	30
	122	4P1-1M5	240 mm2	Cu	2 x Fase	20
4P1-1M6		240 mm2	Cu	2 x Fase	20	
Sub 20	222	Electrofiltro Horno Línea 3	150 mm2	Cu	1 x Fase	70
		3P2-1M1	150 mm2	Cu	2 x Fase	140
		3P2-1M2	240 mm2	Cu	3 x Fase	50
		4P2-1M2	300 mm2	Cu	2 x Fase	70
	223	Electrofiltro Horno Línea 1	150 mm2	Cu	1 x Fase	70
		3P3-1M1	120 mm2	Cu	3 x Fase	140
		3P3-1M2	240 mm2	Cu	3 x Fase	50
		4P3-1M4	150 mm2	Cu	1 x Fase	70
4P0-1T1	4P0-1M1	300 mm2	Cu	8 x Fase	40	
Sub 23	232	3P1-1M3	240 mm2	Cu	2 x Fase	165
Sub 30	301	2P1-2M2	150 mm2	Cu	1 x Fase	140
Sub 40	412	6P1-1M1	240 mm2	Al	1 x Fase	50
		6P1-1M2	240 mm2	Al	3 x Fase	150
Sub 50	502	2P1-2M1	240 mm2	Cu	2 x Fase	150
Proyecto Línea 3	TR 4P3-1T2	4P3-1M6	600 MCM	Cu	3 x Fase	50
		4P3-1M7	600 MCM	Cu	3 x Fase	50
	TR 4P3-1T3	4P3-1M8	600 MCM	Cu	3 x Fase	50
		LP1-1T1	LP1-1M1	600 MCM	Cu	3 x Fase
	LP1-1T2	LP1-1M2	600 MCM	Cu	3 x Fase	30
		LP1-1M3	600 MCM	Cu	3 x Fase	30
	4P1-1T1	4P3-1M1	600 MCM	Cu	3 x Fase	20
		4P3-1M2	600 MCM	Cu	3 x Fase	20
	2P1-1T3	2P1-1M1	600 MCM	Cu	3 x Fase	20
		2P1-1M2	600 MCM	Cu	3 x Fase	20

Tabla 34 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 10 transformador 103.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
TRF 103	Vent. Reactor 1 y 2	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	Vent. Reactor 3 y 4	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	Vent. Sala 6KV	6 AWG	Cu	1 x fase
	Vent. Transformador 101 y 102	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	Vent. Condensadores	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	Vent. Transformador 102 (24 vent.)	12 AWG	Cu	1 x fase
	Vent. Transformador 101 (13 vent.)	12 AWG	Cu	1 x fase
	motor compresor 2	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	motor compresor 3	33,62 mm ²	Cu	1 x fase

Tabla 35 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 10 transformador 112.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
TRF 112	Electrofiltro	150 mm ²	Cu	1 x fase
CCM 5P2-1M1	532-RE1.U01	4 AWG	Cu	1 x fase
	K92-RE1.U01	4 AWG	Cu	1 x fase
	K92-BT1.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
CCM 5P2-1M2	562-EL1.M01	6 AWG	Cu	1 x fase
	562-EL2.M01	6 AWG	Cu	1 x fase
	532-BT1.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	562-AK1.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	562-AK2.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	562-EL3.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	562-EL3.M02	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	562-CE1	240 mm ²	Cu	1 x fase
	562-GU1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	562-VE2	4/0 AWG	Cu	2 x fase

Tabla 36 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 10 transformador 111.

Desde	Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
	Hasta				
CCM 5P1-1M1		K11-BT3	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		521-BT1	4 AWG	Cu	1 x fase
		521-BT6	4 AWG	Cu	1 x fase
		K11-BT2	4 AWG	Cu	1 x fase
		K11-BT1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		521-BT2	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		531-RE1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		K91-RE1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
CCM 5P1-1M2		561-VE2	4/0 AWG	Cu	2 x fase
		561-GU1	4 AWG	Cu	1 x fase
		561-EC1_M01	2/0 AWG	Cu	1 x fase
		561-EC1_M02	2/0 AWG	Cu	1 x fase
		561-EL1-M01	6 AWG	Cu	1 x fase
		561-EL2_M01	6 AWG	Cu	1 x fase
		531-BT1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		561-EL3	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		561-AK1	33,62 mm2	Cu	2 x fase
		591- GU4	6 AWG	Cu	1 x fase
		591-GU5	6 AWG	Cu	1 x fase
CCM 5P0-1M1		591-VE4	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		591-VE3	33,62 mm2	Cu	2 x fase
		591-VT1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		591-VT2	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		591-VT3	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		591-VT4	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		591-VT5	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		591-BT2	4/0 AWG	Cu	2 x fase
		591-GU7	33,62 mm2	Cu	1 x fase
		591-BT1	4/0 AWG	Cu	2 x fase
TRF 111		Electrofiltro	150 mm2	Cu	1 x fase

Tabla 37 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 20 transformador 202.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
TRF 202	M30-BAJ	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BAK	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BAL	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BAI	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BAH	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BAG	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BAF	2/0 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 38 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 20 transformador 214.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
TRF 214	Electrofiltro	150 mm ²	Cu	1 x fase
	Compresor 1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	Compresor 2	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	D31-CN1	240 mm ²	Cu	1 x fase
	D31-CN2	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	D31-CN3	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	D31-CN4	4/0 AWG	Cu	2 x fase

Tabla 39 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 20 transformador 222.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond
Desde	Hasta			
TRF 222	Electrofiltro	150 mm ²	Cu	1 x fase
CCM 3P2-1M1	332-RE1.U01	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	332-VE1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	332-BT3	6 AWG	Cu	1 x fase
	332-BT2	6 AWG	Cu	1 x fase

CCM 3P2-1M2	362-EL1.M01	4 AWG	Cu	1 x fase
	362-EL2.M01	4 AWG	Cu	1 x fase
	362-VT1	6 AWG	Cu	1 x fase
	332-BT1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
CCM 4P2 1M2	422-GU7	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	422-GU8	12 AWG	Cu	1 x fase
	422-GU6.M01	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	422-GU6.M02	33,62 mm2	Cu	1 x fase

Tabla 40 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 20 transformador 223.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
TRF 223	Electrofiltro	150 mm2	Cu	1 x fase
CCM 3P3-1M1	333-RE1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	333-VE1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	333-BT2	6 AWG	Cu	1 x fase
	333-BT3	6 AWG	Cu	1 x fase
CCM 3P3-1M2	363-EL1_M01	6 AWG	Cu	1 x fase
	363-EL2_M01	6 AWG	Cu	1 x fase
	393-GU1	6 AWG	Cu	1 x fase
	333-BT1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	363-AK1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	363-AK2	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	363-EL4.M01	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	363-EL4.M02	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	393-EC1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	393-VE1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
CCM 4P3-1M4	423-GU7	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	423-GU6.M01	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	423-GU6.M02	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	423-BM3	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	423-BM4	2/0 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 41 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 20 transformador 4P0-1T1.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 4P0-1M1	380-VX4	4 AWG	Cu	1 x fase
	380-CN8	4/0 AWG	Cu	4 x fase
	380-CN9	4/0 AWG	Cu	4 x fase
	380-CN7	4/0 AWG	Cu	4 x fase
	380-CN6	4/0 AWG	Cu	4 x fase

Tabla 42 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 23 transformador 232.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 3P1-1M3	311-BT3	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	311-BT4	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	311-BT1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	311-BT2	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	311-BT5	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	311-BT6	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	311-RC1	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	311-RC2	4/0 AWG	Cu	2 x fase

Tabla 43 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 30 transformador 301.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 2P1-2M2	291-BT7	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-BT8	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-BT9	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-BT4	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	291-BT5	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	291-BT6	4/0 AWG	Cu	2 x fase

	291-BTA	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-BTD	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-BTB	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-BTC	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-VE3	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-VE2	4 AWG	Cu	1 x fase
Tratamiento de agua	M30-BA1	4 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BA3	4 AWG	Cu	1 x fase
	M30-BA9	4 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 44 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 40 transformador 402.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
Compresores	M0508	4/0 AWG	Cu	4 x fase
	M0509	4/0 AWG	Cu	4 x fase
	611-CN2	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	Compresor 1	4 AWG	Cu	1 x fase
	Compresor 2	2/0 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 45 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 40 transformador 412.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 6P1-1M1	621-VE1.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	621-VE2.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	621-VE3.SP1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	621-VTB.SP1	4 AWG	Cu	1 x fase
	621-VTC.SP2	4 AWG	Cu	1 x fase
CCM 6P1-1M2	611-VTE.SP1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	611-VTF.SP2	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	611-VTG.SP1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	661-EC1.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase

	661-EC2.SP1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	661-VE1.M01	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	661-VE2.SP1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	661-GU1.M01	12 AWG	Cu	1 x fase
	691-BT3.M01	4 AWG	Cu	1 x fase
	691-BT7.SP3	4 AWG	Cu	1 x fase
	681-BT1.M01	4 AWG	Cu	1 x fase
	663-EC1.M01	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	663-VE1.M01	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	693-BT2.M01	4 AWG	Cu	1 x fase
	693-BT4.M01	4 AWG	Cu	1 x fase
	682-BT1.M01	33,62 mm2	Cu	1 x fase

Tabla 46 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Subestación 50 transformador 502.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 2P1-2M1	291-BT1	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	211-VE1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	291-BT2	4/0 AWG	Cu	2 x fase

Tabla 47 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Proyecto Línea 3, Descarga-Horno, transformador 4P3-1T2.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 4P3-1M6	473-UH1.M02	4 AWG	Cu	1 x fase
	473-VE4	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	473-VE1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	473-UH2	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	473-VE2	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	473-VE3	4/0 AWG	Cu	2 x fase
CCM 4P3-1M7	473-TS1	2/0 AWG	Cu	1 x fase

	473-VE7	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	493-GU9	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	493-TC1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	463-VE2	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VE8	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	473-VE9	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	483 VE1.M01	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	473-VEA	4 AWG	Cu	1 x fase
	473-VE5	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	473-VE6	2/0 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 48 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Proyecto Línea 3, Descarga-Horno, transformador 4P3-1T3.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 4P3-1M8	473-VX1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VX2	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VX3	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VX4	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VX5	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VX6	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VX7	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	473-VX8	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	493-EC1_M01	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	493-GU8	6 AWG	Cu	1 x fase
	493-GUA	4 AWG	Cu	1 x fase
	493-VE1	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	493-VE2	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	493-VE3	33,62 mm2	Cu	1 x fase
	493-TK1	2/0 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 49 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Proyecto Línea 3, Molino de Carbón, transformador LP1-1T1.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM LP1-1M1	L61-EL1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	L51-VE1	4/0 AWG	Cu	3 x fase
	D33-CN2	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	D33-CN3	4/0 AWG	Cu	2 x fase
CCM LP1-1M2	L11-BT1	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	L11-BT2	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	L61-VT1	4 AWG	Cu	1 x fase
	L61-UH1.M02	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	L91-GU3	4 AWG	Cu	1 x fase
	L61-SP1	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	L91-GU1	4 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 50 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Proyecto Línea 3, Molino de Carbón, transformador LP1-1T2.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM LP1-1M3	453-SR1	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	481-SR1	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	481-SR2	4/0 AWG	Cu	2 x fase
	483-SR1	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	L91-VR3	4 AWG	Cu	1 x fase
	483-SR2	4/0 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 51 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Proyecto Línea 3, Precalentador, transformador 4P1-1T1.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 4P3-1M2	433-VR1.M02	6 AWG	Cu	1 x fase
	453-VE1	4 AWG	Cu	1 x fase
	453-VE2	4 AWG	Cu	1 x fase
	463-VE1	4 AWG	Cu	1 x fase
	463-VX3	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VX4	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VX5	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VX6	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VX7	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VX8	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VX9	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VXA	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VXB	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VXC	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VXD	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VXE	6 AWG	Cu	1 x fase
	463-VXF	6 AWG	Cu	1 x fase

Tabla 52 Datos de los conductores a los motores de 480 V. Proyecto Línea 3, Secador, transformador 2P1-1T3.

Tramo		Calibre	Material	Cant./Cond.
Desde	Hasta			
CCM 2P1-1M1	221-BT1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-BT2	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-BT3	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-BT4	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-CT1	4/0 AWG	Cu	2 x fase

	221-SR1	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-SR2	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-VE2	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-TP1	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-TP2	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	L91-VE2	6 AWG	Cu	1 x fase
CCM 2P1-1M2	221-CN1	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	221-CN2	4/0 AWG	Cu	1 x fase
	291-VE1	4 AWG	Cu	1 x fase
	291-GU4.M01	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-GU4.M02	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-GU2	33,62 mm ²	Cu	1 x fase
	291-GU3	2/0 AWG	Cu	1 x fase
	291-GU5	2/0 AWG	Cu	1 x fase

Nota: En las tablas donde se muestran los datos de los conductores a los motores de 480 V no se muestran las longitudes de los mismos debido a que se asumió para el estudio una distancia media de 70 m, puesto que fue imposible la determinación exacta de estas distancias por no encontrarse en la empresa las trazas originales de estos cables y la medición de estas longitudes sería sumamente engorroso debido al gran entramado y cantidad de conductores.

Anexo 7

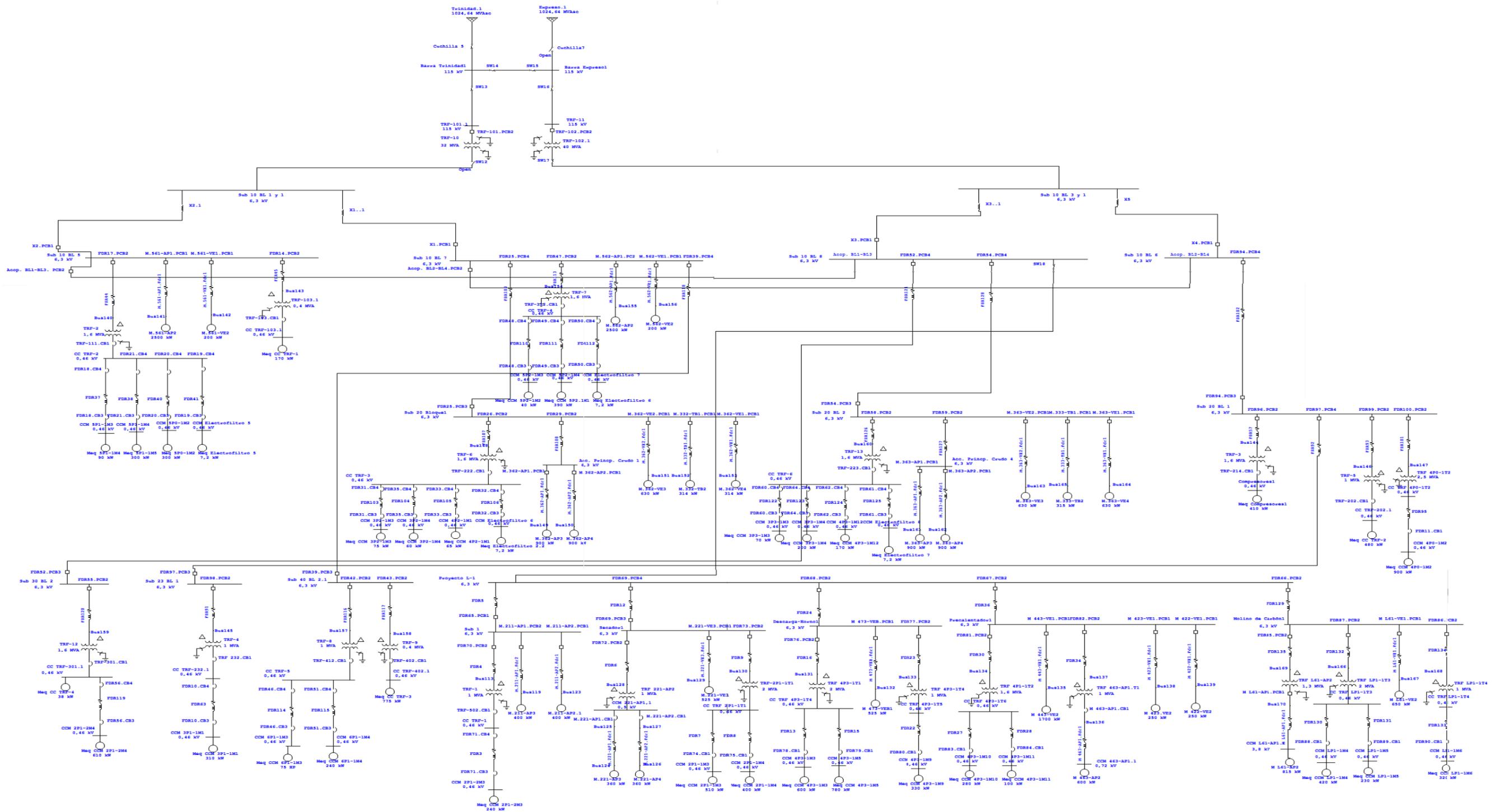


Figura 1 Monolineal de la planta en el ETAP 12.6.0.