



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
SECRETARÍA DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA  
Y CORTOCIRCUITO A LA OPTIMIZACIÓN DEL  
DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL

T E S I S A

Que para obtener el título de  
ESPECIALISTA EN ENERGÍA ELÉCTRICA

PRESENTA

HENRY JOHANY GARCÍA ARBOLEDA

DIRECTOR

M.I. RODOLFO LORENZO BAUTISTA

CODIRECTOR

I.E. FRANCISCO CUEVAS ARTEAGA



Ciudad Universitaria. Ciudad de México, 2017



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

## ÍNDICE GENERAL

---

AGRADECIMIENTOS .....	7
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	8
1.1. INTRODUCCIÓN.....	8
1.2. OBJETIVO GENERAL.....	8
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	9
1.4. ALCANCE .....	9
CAPÍTULO 2. PLANEACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO .....	10
2.1. PLANEACIÓN DEL SISTEMA.....	10
2.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD REQUERIDA .....	10
2.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.....	11
2.4. SELECCIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN .....	12
2.5. SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR.....	13
2.6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE EMERGENCIA .....	13
2.7. DIMENSIONAMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA.....	13
CAPÍTULO 3. DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO.....	14
3.1. CAPACIDAD DE CORRIENTE EN BUSES .....	14
3.2. CAPACIDAD DE CORRIENTE EN CABLES .....	14
3.3. CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN CABLES .....	16
3.4. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LÍNEAS ELÉCTRICAS.....	16
3.5. CAPACIDAD NOMINAL DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS .....	17
3.5.1. CARGAS PASIVAS NO INDUCTIVAS NI CAPACITIVAS.....	17
3.5.2. TRANSFORMADORES.....	18
3.5.3. CIRCUITOS DE MOTORES.....	18
CAPÍTULO 4. MODELAMIENTO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS .....	20
4.1. LÍNEAS ELÉCTRICAS .....	20
4.2. MOTORES DE INDUCCIÓN .....	21
4.3. CARGAS PASIVAS EQUILIBRADAS .....	21
4.4. GENERADORES.....	21
4.5. TRANSFORMADORES.....	22
4.6. RELACIÓN X/R DE LA RED .....	22
CAPÍTULO 5..... ESTUDIOS PARA LA VALIDACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO .....	24
5.1. FLUJOS DE POTENCIA .....	24

5.1.1.	PLANTEAMIENTO GENERAL .....	24
5.1.2.	MÉTODO DE GAUSS-SEIDEL .....	25
5.1.3.	MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON.....	26
5.1.4.	MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON DESACOPLADO .....	26
5.1.5.	MÉTODO ESTIMATIVO DE FLUJOS DE POTENCIA .....	27
5.2.	CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA .....	28
5.2.1.	COMPORTAMIENTO DE UNA CORRIENTE DE FALLA .....	29
5.2.2.	FUENTES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA .....	31
5.2.3.	MÉTODOS DE CÁLCULO DE CORRIENTES DE FALLA .....	32
CAPÍTULO 6. CASO DE ESTUDIO .....		44
6.1.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO .....	44
6.2.	PREMISAS DE DISEÑO .....	45
6.3.	PLANEACIÓN DEL SISTEMA.....	45
6.3.1.	ESTIMACIONES DE CARGA Y DEMANDA MÁXIMA.....	45
6.3.2.	NIVELES DE TENSIÓN REQUERIDOS .....	47
6.4.	DISEÑO BÁSICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO .....	47
6.5.	ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA PARA LA VALIDACIÓN DEL DISEÑO .....	49
6.5.1.	Capacidad Nominal de Transformador y CCMs .....	49
6.5.2.	Capacidad de Corriente y Pérdidas de Energía en Cables .....	50
6.5.3.	Pérdidas de Energía por Caída de Tensión.....	51
6.6.	CÁLCULO Y ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO .....	51
6.6.1.	MODELO DE CÁLCULO .....	51
6.6.2.	PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO .....	52
6.6.3.	AUMENTO EN EL NIVEL DE CORTOCIRCUITO .....	72
6.6.4.	EFFECTOS DEL CORTOCIRCUITO SOBRE LOS CABLES.....	73
6.7.	MEJORAS EN EL RENDIMIENTO DEL SISTEMA .....	73
CONCLUSIONES .....		75
REFERENCIAS .....		77
ANEXO A. CÁLCULO DE DEMANDA .....		79
ANEXO B. CÁLCULO DE CIRCUITOS EN BAJA TENSIÓN .....		86
ANEXO C. CÁLCULO COMPUTACIONAL DE FLUJOS DE POTENCIA.....		102
ANEXO D. PARÁMETROS DE SECUENCIA DE CABLES Y EQUIPOS .....		104
ANEXO E. CÁLCULO COMPUTACIONAL DE CORRIENTES DE FALLA .....		107

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1.	Sistemas de Distribución en Plantas Industriales.....	12
Tabla 3.1.	Ecuaciones Básicas de Diseño.....	14
Tabla 02.	Corriente de Diseño Para Cables de Circuitos.....	15
Tabla 3.3.	Ecuaciones Para el Cálculo Exacto de la Caída de Tensión.....	16
Tabla 3.4.	Capacidad o ajuste máximo de la protección de sobre corriente.....	17
Tabla 3.5.	Capacidad o ajuste máximo de la protección de circuitos de motores.....	18
Tabla 4.1.	Redes Parametrizadas.....	20
Tabla 5.1.	Procedimiento estimativo de cálculo de flujos de carga en una red estática.....	28
Tabla 5.2.	Fuentes de corriente de cortocircuito y su comportamiento.....	31
Tabla 5.3.	Parámetros de las fuentes de corrientes de cortocircuito y falla a tierra....	32
Tabla 5.4.	Técnicas de solución y su nivel de precisión.....	32
Tabla 5.5.	Resultados para la aplicación del método de las componentes simétricas	33
Tabla 5.6.	Aplicación de los ciclos de la corriente da falla.....	34
Tabla 5.7.	Factores multiplicadores de la reactancia de máquinas rotativas.....	35
Tabla 5.8.	Factores multiplicadores de la reactancia de máquinas rotativas.....	38
Tabla 5.9.	Procedimiento de cálculo de la corriente momentánea bajo IEEE/ANSI C37.....	36
Tabla 5.10.	Procedimiento para interruptores de más de 1,000 V.....	37
Tabla 5.11.	Factor de corrección de la corriente interruptiva simétrica.....	38
Tabla 5.12.	Procedimiento para interruptores de menos de 1,000 V.....	38
Tabla 5.13.	Factor de Corrección de Tensión.....	41
Tabla 5.14.	Procedimiento para el cálculo de corrientes de falla mediante IEC 60909.	41
Tabla 6.1.	Información general del sistema eléctrico.....	44
Tabla 6.2.	Criterios para la asignación de datos de entrada.....	46
Tabla 6.3.	Demanda máxima estimada.....	46
Tabla 6.4.	Niveles de Tensión requeridos.....	47
Tabla 6.5.	Procedimiento básico de diseño.....	47
Tabla 6.6.	Demandas máximas calculadas.....	49

Tabla 6.7.	Verificación del diseño básico con base al análisis de flujos de carga.....	50
Tabla 6.8.	Comparativo de pérdidas de energía.....	50
Tabla 6.9.	Consideraciones y sus implicaciones para la elaboración del modelo.....	51
Tabla 6.10.	Reactancias de secuencia de los elementos de la red.....	53
Tabla 6.11.	Parámetros de secuencia para cables de media tensión.....	53
Tabla 6.12.	Parámetros de secuencia para los transformadores.....	54
Tabla 6.13.	Parámetros equivalentes para el sistema existente.....	60
Tabla 6.14.	Resumen de Resultados Cálculo de Cortocircuito.....	72
Tabla 6.15.	Resumen de mejoras al diseño básico.....	74

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5.1.	Equivalente de Thévenin de un sistema eléctrico de potencia en falla.....	27
Figura 5.2.	Comportamiento de la corriente de falla.....	28
Figura 5.3a	Variación del factor k en función de la relación X/R.....	40
Figura 5.3b.	Valor de $\mu$ en función de la relación $I_k''/I_r$ .....	40
Figura 5.3c.	Factores $\lambda_{m\acute{a}x}$ y $\lambda_{m\acute{i}n}$ para turbogeneradores.....	40
Figura 5.3d.	Factores $\lambda_{m\acute{a}x}$ y $\lambda_{m\acute{i}n}$ para generadores de polos salientes.....	40
Fuigura 6.1.	Diagrama unifilar general de la subestación.....	46
Figura 6.2a.	Red de secuencia positiva del sistema existente.....	55
Figura 6.2b.	Equivalente de Thévenin de secuencia positiva del sistema existente.....	56
Figura 6.3.	Resultado de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-02.....	57
Figura 6.4a.	Equivalente Thévenin de Secuencia Cero del sistema eléctrico existente....	57
Figura 6.4b.	Circuito equivalente para el cálculo de la corriente de secuencia cero.....	58
Figura 6.5a.	Equivalente de Thévenin de secuencia positiva del sistema incluyendo la nueva carga.....	61
Figura 6.5b.	Equivalente Thévenin de secuencia cero incluyendo la nueva carga.....	62
Figura 6.6.	Resultados de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-02.....	63
Figura 6.7a.	Red de secuencia positiva para falla en BUS-07.....	64
Figura 6.7b.	Equivalente Thévenin de secuencia positiva para falla en el BUS-7.....	65
Figura 6.8.	Resultado de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-07.....	66
Figura 6.9a.	Equivalente Thévenin de secuencia cero para falla en BUS-07.....	67
Figura 6.9b.	Circuito equivalente para cálculo de $I_0$ .....	67
Figura 6.10.	Red de secuencia positiva y equivalente de Thévenin para falla en el BUS-08.....	69
Figura 6.11.	Resultado de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-08.....	70
Figura 6.12a.	Equivalente de Thévenin de secuencia cero para falla en BUS-08.....	70
Figura 6.12b.	Circuito equivalente para cálculo de $I_0$ .....	71

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, a Dios; por permitirme nacer y regalarme cada día una nueva oportunidad para crecer y alcanzar mis metas.

A mi madre, Rubiela; por su amor y por ser la forjadora de mi espíritu soñador y luchador que nunca se rinde.

A mi abuela, Martha; por su amor y contribución a mi formación como ser humano con principios y valores.

A Mi Danii, por su amor; paciencia; compañía y perseverancia durante el tiempo de mi formación en la especialización.

A mis maestros, por haber puesto su empeño en brindarme más conocimiento en pro de mi crecimiento profesional.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, por abrirme sus puertas y permitirme hacer parte de su comunidad académica, sin reparos ni diferenciación; por mi condición de extranjero.

## **CAPÍTULO 1. GENERALIDADES**

### **1.1. INTRODUCCIÓN**

El suministro de energía eléctrica a las cadenas de producción debe hacerse de una manera confiable y segura. Para lograrlo es necesario que cada uno de los componentes del sistema eléctrico sea dimensionado y seleccionado, buscando el mejor desempeño posible en las instalaciones eléctricas, que logre un equilibrio de la relación entre el costo económico y la seguridad.

El diseño de sistemas eléctricos industriales puede considerar aspectos que van más allá del cumplimiento de la normatividad mínima, para lo cual; es posible valerse de herramientas del análisis de sistemas de potencia que resultan útiles en la obtención de diseños que tendrán un mejor desempeño funcional y mejor costo operativo.

Este trabajo aplica el análisis de flujos de carga y los estudios de cortocircuito, como estrategia para la optimización del rendimiento del sistema eléctrico desde la etapa de diseño. La metodología se centra en la evaluación y disminución de pérdidas de energía eléctrica y la evaluación del impacto del aumento del nivel de falla en el sistema eléctrico.

Mediante el cálculo y análisis de flujos de potencia se estudiarán estrategias para la disminución de pérdidas de energía en un sistema eléctrico. Los flujos e carga máxima serán analizados para definir el dimensionamiento justo y necesario de conductores y terminales de equipos.

Los cálculos de cortocircuito se utilizarán para tener un panorama de los efectos del aumento del nivel de falla, debido al incremento de la carga conectada. Como resultado de este análisis, se definirán estrategias de mitigación de este riesgo inherente de las instalaciones eléctricas que es además factor de riesgo para el buen rendimiento del sistema eléctrico y la productividad de la planta industrial.

El desarrollo de este documento comienza con una recopilación de definiciones básicas, a continuación, se incluyen los conceptos generales sobre flujos de carga y estudios de cortocircuito; para finalmente abordar un diseño básico de ingeniería eléctrica al cual se le aplica la metodología descrita a lo largo del presente documento. Como resultado, el sistema diseñado tendrá mejores condiciones operativas y económicas.

### **1.2. OBJETIVO GENERAL**

Aplicar técnicas del análisis de sistemas de potencia que permitan identificar estrategias de mejora de un sistema eléctrico, desde la etapa de diseño; orientadas a la obtención de un mejor desempeño y rendimiento de las instalaciones eléctricas de una planta industrial.

### **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Utilizar los flujos de carga máxima para la optimización del rendimiento de un sistema eléctrico mediante disminución de factores de pérdidas de energía en conductores.
- Utilizar los flujos de carga máxima para la determinación de las pérdidas máximas de energía en el sistema de distribución de baja tensión de una planta industrial.
- Definir el mínimo calibre de conductor a utilizar con base al criterio de minimización de pérdidas.
- Evaluar los posibles cambios que se deberán implementar en el sistema eléctrico industrial, para contrarrestar el aumento del nivel de cortocircuito como consecuencia del aumento de carga.

### **1.4. ALCANCE**

En este trabajo se aplican elementos básicos de ingeniería eléctrica para la obtención del diagrama unifilar como modelo preliminar de un sistema eléctrico industrial y se elaboran modelos de cálculo para la solución analítica de flujos de carga y cortocircuito. Finalmente, en el capítulo 6 se desarrolla un caso particular bajo la metodología definida previamente.

## CAPÍTULO 2. PLANEACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

### 2.1. PLANEACIÓN DEL SISTEMA

La planeación del sistema eléctrico debe garantizar el cumplimiento de los criterios descritos en [B1] y que, al ser aplicados, garantizan sistemas eléctricos altamente confiables; estos criterios son:

- ✓ Seguridad
- ✓ Confiabilidad
- ✓ Selección del sistema de distribución
- ✓ Simplicidad Operativa
- ✓ Regulación de Voltaje
- ✓ Previsión del Mantenimiento
- ✓ Flexibilidad

Para cumplir con lo anterior, se deben definir aspectos generales del sistema eléctrico como:

- 1) Carga instalada
- 2) Capacidad requerida
- 3) Características de equipos
- 4) Definición del tipo de sistema
- 5) Definición de los niveles de tensión
- 6) Dimensionamiento de la subestación eléctrica

### 2.2. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD REQUERIDA

La demanda máxima determina la capacidad mínima que debe tener la subestación para la carga presente y futura. El cálculo se hace con base a las características eléctricas de los equipos que serán alimentados, usando el listado o inventario de cargas. Los pasos a seguir se resumen a continuación:

**Paso 1. Calcular la carga instalada, también conocida como carga conectada:**

$$S = \sum S_i \quad (2.1)$$

Donde,

S: Potencia instalada [KVA]

S<sub>i</sub>: Potencia nominal de cada una de las cargas a considerar [KVA]

### **Paso 2. Determinar el factor de demanda FD**

El cual se define como la relación entre la demanda máxima y la capacidad instalada así:

$$FD = \frac{DEMANDA MÁXIMA [KVA]}{CAPACIDAD INSTALADA [KVA]} \quad (2.2)$$

$FD \leq 1.0$  dado que la demanda máxima nunca podría ser suplida por una capacidad instalada menor a ella.

### **Paso 3. Calcular el factor de coincidencia FC**

El factor que describe la coincidencia entre las diferentes cargas está dado por la siguiente expresión:

$$FC = \frac{DEMANDA MÁXIMA DEL GRUPO DE CARGAS [KVA]}{\sum DEMANDAS MÁXIMAS DE CADA CARGA [KVA]} \quad (2.3)$$

$FCO \leq 1.0$  ya que las demandas máximas de las cargas no ocurren todas simultáneamente.

El factor de coincidencia puede entenderse como la proporción en que coinciden todas las demandas máximas entre si y a partir de él se puede calcular la demanda máxima del sistema.

### **Paso 4. Calcular la demanda máxima diversificada**

El factor de coincidencia para sistemas nuevos, puede estimarse a partir de datos previos de sistemas eléctricos similares. Al determinarse el factor de coincidencia, aplicando la ecuación 2.3 se obtiene la demanda máxima diversificada.

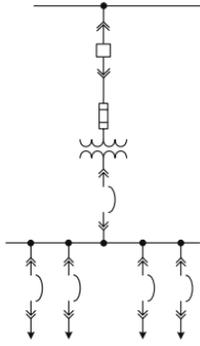
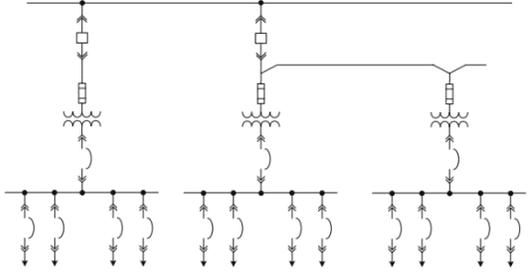
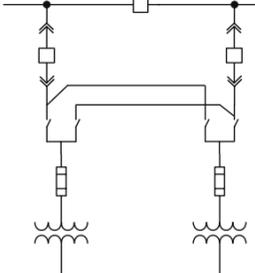
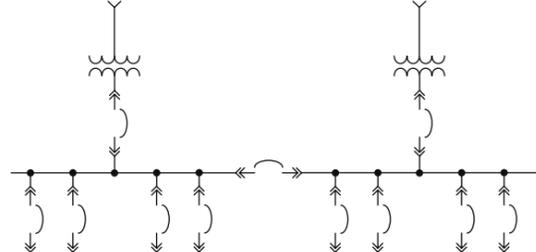
### **Paso 5. Establecer la potencia requerida**

La demanda máxima de la planta industrial define la cantidad de potencia que se deberá contratar con la compañía de suministro de energía, la capacidad del transformador (o transformadores) y en caso de generación autónoma define además la capacidad de las unidades de generación

## **2.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN**

La selección se hace dependiendo de la confiabilidad y seguridad requeridas, cada sistema tiene ventajas y desventajas respecto a los otros. Los tipos de sistemas de distribución son ampliamente abordados en múltiples textos como [B1] entre otros. La tabla 2.1 muestra un resumen con las características más relevantes.

**Tabla 1.1.** Sistemas de Distribución en Plantas Industriales

Sistema	Descripción	Representación
Radial simple	Una única línea alimenta la subestación y la distribución se hace en el mismo nivel de tensión de utilización. No hay equipos redundantes	
Radial expandido	Se compone de varias subestaciones unitarias, con una única línea de alimentación	
Sistema selectivo primario	Dos alimentadores primarios se conectan a cada transformador. La mitad de los transformadores están conectados a cada uno de los dos alimentadores. Cada uno de los cuales está diseñado para la carga total.	
Sistema Selectivo Secundario	Este arreglo se obtiene al enlazar dos subestaciones unitarias mediante un interruptor, el cual mediante un interbloqueo previene que los transformadores operen en paralelo.	

## 2.4. SELECCIÓN DEL NIVEL DE TENSIÓN

El nivel de tensión de distribución primaria, se define teniendo en cuenta la tensión en las redes eléctricas cercanas a la planta y la tensión asignada por la compañía de suministro de energía eléctrica, de acuerdo a la carga a instalar.

El nivel de tensión de utilización (baja tensión) se define de acuerdo a los requerimientos específicos de los equipos del proceso productivo.

## 2.5. SELECCIÓN DE LA CAPACIDAD DEL TRANSFORMADOR

La potencia nominal del transformador se calcula para atender la máxima demanda actual y la máxima demanda futura:

$$S_{TR} = D_{MÁX 0} + D_{MÁX 1} \quad (2.4)$$

Donde:

$S_{TR}$ :	Potencia nominal del transformador en [kVA ó MVA]
$D_{MÁX 0}$ :	Demanda máxima inicial de carga [KVA ó MVA]
$D_{MÁX 1}$ :	Demanda máxima futura de carga (o Reserva futura) [KVA ó MVA]

## 2.6. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE EMERGENCIA

En caso de requerirse un sistema de suministro de energía de emergencia, este deberá tener la capacidad de suministrar como mínimo la máxima demanda del grupo de equipos conectados al bus de emergencia.

## 2.7. DIMENSIONAMIENTO DE LA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA

Una subestación eléctrica tipo industrial es el conjunto de obras civiles, instalaciones y equipos electromecánicos; destinados principalmente a la transformación de niveles de tensión.

Generalmente, cada planta industrial tiene una subestación eléctrica dedicada que hace la interface entre el sistema eléctrico de suministro y el sistema eléctrico de distribución al interior de la planta. El dimensionamiento de la subestación está estrechamente ligado al tamaño de los equipos, el cual es determinante en la definición del layout y el área que esta ocupará.

## CAPÍTULO 3. DISEÑO BÁSICO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

Los cálculos básicos de ingeniería permiten dimensionar de manera preliminar cables, buses, tableros, paneles, equipos de maniobra y protección, etc., basados en las ecuaciones básicas de la Tabla 3.1 y la normatividad aplicable al país.

**Tabla 3.1.** Ecuaciones Básicas de Diseño

Potencia aparente en circuitos monofásicos	$S = V_{F-N} \cdot I \cdot FP \quad (3.1)$
Potencia aparente en circuitos trifásicos balanceados	$S = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \cdot FP \quad (3.2)$
Potencia activa en circuitos monofásicos	$P = V_{F-N} \cdot I \quad (3.3)$
Potencia activa en circuitos trifásicos	$P = \sqrt{3} \cdot V_{L-L} \cdot I \quad (3.4)$
Relación de potencia	$S^2 = P^2 + Q^2 \quad (3.5)$
S: Potencia aparente, en kVA V <sub>F-N</sub> : Voltaje fase neutro, en kV V <sub>F-F</sub> : Voltaje fase fase, en kV I: Corriente, en A FP: Factor de potencia P: Potencia activa, en kW Q: Potencia reactiva en kVar	

### 3.1. CAPACIDAD DE CORRIENTE EN BUSES

Los buses de un tablero de distribución, centro de control de motores o similar, se dimensionan para soportar la demanda máxima actual y futura, en condiciones normales de operación.

### 3.2. CAPACIDAD DE CORRIENTE EN CABLES

Los cables se calculan para soportar la máxima corriente normal y de falla que pueda fluir por el respectivo circuito. El procedimiento de cálculo se basa en la normatividad mexicana [B11], la cual se resume en las ecuaciones de la tabla 3.2.

**Tabla 3.22.** Corriente de Diseño Para Cables de Circuitos

Circuito	Tensión	Corriente de Diseño
Ramal con cargas continuas y no continuas	< 600 V	$I_D = 1.25 I_{CON} + I_{NOC}$
Ramal con múltiples equipos	> 600 V	$I_D = 1.25 I_{SIM}$
Alimentador con cargas continuas y no continuas	< 600 V	$I_D = 1.25 I_{CON} + I_{NOC}$
Alimentador de transformadores	> 600 V	$I_D = I_{TR}$
Alimentador de transformador y equipos de utilización	> 600 V	$I_D = I_{TR} + 1.25 I_{SIM}$
Ramales de bancos de capacitores	todas	$I_D = 1.35 I_{BC}$
$I_D$ : Corriente de diseño de los conductores [A] $I_{CON}$ : Corriente de las cargas continuas [A] $I_{NOC}$ : Corriente de las cargas no continuas [A] $I_{SIM}$ : Corriente de la carga simultánea [A] $I_{TR}$ : Corriente de placa del transformador [A] $I_{BC}$ : Corriente nominal del banco de capacitores [A]		

La capacidad de conducción de los cables se afecta por la temperatura ambiente y la influencia de otros conductores energizados, instalados en la misma canalización. Estos efectos se representan mediante factores:

$$I_{NOM} = \frac{I_{FL}}{(FT)(FA)} \quad (3.6)$$

Donde,

$I_{NOM}$ : Capacidad de corriente nominal del cable [A]

FT: Factor de corrección por temperatura [Sin unidades]

FA: Factor de corrección por agrupación [Sin unidades]

Para circuitos que alimentan otro tipo de cargas, se recomienda al lector consultar [B11]

### 3.3. CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN CABLES

El cálculo de la caída de tensión es hecho de acuerdo a los procedimientos dados en [B6] y se resume mediante las ecuaciones 3.7 a 3.10 de la Tabla 3.3.

**Tabla 3.3.** Ecuaciones Para el Cálculo Exacto de la Caída de Tensión

Circuitos trifásicos	$\Delta V\% = \left( \frac{2\sqrt{3} L \cdot I \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi)}{V_{LL}} \right) 100\% \quad (3.7)$	
Circuitos monofásicos	$\Delta V\% = \left( \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi)}{V_{FN}} \right) 100\% \quad (3.8)$	
Circuitos trifásicos con $N$ conductores en paralelo por fase:	$\Delta V\% = \left( \frac{2\sqrt{3} L \cdot I \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi)}{N V_{LL}} \right) 100\% \quad (3.9)$	
Circuitos monofásicos con $N$ conductores en paralelo por fase:	$\Delta V\% = \left( \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot (R \cos\phi + X \sin\phi)}{N V_{FN}} \right) 100\% \quad (3.10)$	
<p>L: Longitud del cableado entre los puntos de evaluación [m].                      R: Resistencia en AC del cable instalado [<math>\Omega</math>]                      X: Reactancia inductiva del cable instalado [<math>\Omega</math>]                      I: Corriente nominal en las fases [A]  <math>V_{LL}</math>: Voltaje fase-fase del circuito [V]  <math>V_{FN}</math>: Voltaje fase-neutro del circuito [V]  <math>\cos \phi</math>: Factor de Potencia [Sin unidades]</p>		

### 3.4. CÁLCULO DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA EN LÍNEAS ELÉCTRICAS

Un indicador del rendimiento de una instalación eléctrica tiene que ver con las pérdidas de energía en líneas por disipación de potencia. Estas pérdidas se deben al efecto Joule en los cables y están dadas por la ecuación:

$$P_L = I^2 R_{AC} \quad (3.11)$$

Donde,

I: Corriente que fluye por el conductor [A]

$R_{AC}$ : Resistencia eléctrica del conductor [ $\Omega$ ]

De la ecuación (3.11) se observa que hay dos formas de reducir las pérdidas:

- Disminuyendo la magnitud de la corriente a través de la línea
- Disminuyendo la resistencia eléctrica del conductor

La primera opción produce un mayor impacto debido a la relación cuadrática con la corriente, sin embargo; esta opción no es útil cuando la carga está operando dentro de sus límites normales; en cambio, si lo es cuando se tiene la presencia de corrientes armónicas ya que estas pueden ser filtradas, reduciendo la magnitud de las corrientes por las ramas.

Por otro lado, dado que la resistencia eléctrica de un conductor varía inversamente con el área de sección transversal del mismo, de acuerdo a lo siguiente:

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (3.12)$$

Donde,

$\rho$ : Resistividad eléctrica del material del conductor [ $\Omega \cdot m$ ]

L: Longitud total de conductor [m]

A: Área de sección transversal del conductor [ $m^2$ ]

De la ecuación (3.12) se observa que el cambio en el calibre del conductor generará cambios considerables en la resistencia eléctrica del mismo.

### 3.5. CAPACIDAD NOMINAL DE PROTECCIONES ELÉCTRICAS

El cálculo básico las protecciones eléctricas de circuitos y equipos, se hace aplicando la normatividad [B11] y [B12] a cada uno de los circuitos ramales y alimentadores, como se indica en las secciones 3.5.1 a 3.5.3.

#### 3.5.1. CARGAS PASIVAS NO INDUCTIVAS NI CAPACITIVAS

**Tabla 3.4.** Capacidad o ajuste máximo de la protección de sobre corriente

Tipo de Circuito	Tensión	Cálculo
Ramal con cargas continuas y no continuas	< 600 V	$I_P = 1.25 I_{CON} + I_{NOC} \quad (3.13)$
Ramal con múltiples cargas	> 600 V	$I_P = 1.25 I_{SIMULTÁNEA} \quad (3.14)$
Alimentador con cargas continuas y no continuas	< 600 V	$I_P = 1.25 I_{CON} + I_{NOC} \quad (3.15)$

### 3.5.2. TRANSFORMADORES

Limitaciones sobre el lugar	Impedancia nominal del transformador	Protección del secundario (ver la Nota 2)					
		Protección del primario, más de 600 volts		Más de 600 volts			600 volts o menos
		Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible (ver la Nota 1)	Interruptor automático (ver la Nota 4)	Valor nominal del fusible (ver la Nota 1)	Valor nominal del interruptor automático o fusible (ver la Nota 1)	
Cualquier lugar	No más del 6%	600% (ver Nota 1)	300% (ver Nota 1)	300% (ver Nota 1)	250% (ver Nota 1)	125% (ver Nota 1)	
	Más del 6%, pero máximo el 10%	400% (ver Nota 1)	300% (ver Nota 1)	250% (ver Nota 1)	225% (ver Nota 1)	125% (ver Nota 1)	
Lugares supervisados únicamente (ver Nota 3).	Cualquiera	300% (ver Nota 1)	250% (ver Nota 1)	No se exige	No se exige	No se exige	
	No más del 6%	600% (ver Nota 5)	300% (ver Nota 5)	300% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)	
	Más del 6% pero máximo el 10%	400% (ver Nota 5)	300% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)	250% (ver Nota 5)	

**NOTAS:**

1. Cuando el valor nominal del fusible o el ajuste del interruptor automático exigido no correspondan a un valor nominal o ajuste estándares, se permitirá tomar el valor nominal o ajuste estándar inmediatamente superior.
2. Cuando se exija protección contra sobrecorriente del secundario, se permitirá que el dispositivo de protección contra sobrecorriente del secundario esté compuesto por un máximo de seis interruptores automáticos o seis grupos de fusibles agrupados en un lugar. Cuando se utilicen dispositivos múltiples de protección contra sobrecorriente, el total de los valores nominales de los dispositivos no debe exceder el valor permitido para un solo dispositivo de protección contra sobrecorriente. Si como dispositivo de protección contra sobrecorriente se utilizan tanto interruptores como fusibles, el total de los valores nominales del dispositivo no debe exceder el permitido para los fusibles.
3. Un lugar supervisado es aquel en que las condiciones de mantenimiento y supervisión aseguren que solamente personal calificado supervisará y prestará servicio a la instalación de transformadores.
4. Los fusibles accionados electrónicamente que se puedan ajustar para abrir a una corriente específica se deben ajustar de acuerdo con los ajustes para interruptores automáticos.
5. Se permitirá que un transformador equipado por el fabricante con protección térmica coordinada contra sobrecarga no tenga protección independiente del secundario.

Figura 3.1. Capacidad o ajuste máximo de la protección de transformadores.  
Tomado de [B11] Tabla 450-3(a)

### 3.5.3. CIRCUITOS DE MOTORES

**Tabla 3.5.** Capacidad o ajuste máximo de la protección de circuitos de motores

Circuito	Capacidad o Ajuste Máximo de la Protección $I_P$ [A]
Un solo motor	$I_P = k I_{FL}$
Varios motores	$I_P = k I_{FLM} + \Sigma I_{FLD}$

Circuito	Capacidad o Ajuste Máximo de la Protección $I_P$ [A]
<p><math>k</math>: Factor de ajuste debido al arranque del motor</p> <p><math>I_{FL}</math>: Corriente a plena carga del motor</p> <p><math>I_{FLM}</math>: Corriente a plena carga del mayor motor</p> <p><math>I_{FLD}</math>: Corriente a plena carga de los demás motores</p>	

El factor de ajuste  $k$  depende del tipo de motor y el tipo de dispositivo de protección utilizado, de acuerdo a [B11]. La tabla 3.6b indica los valores de  $k$  apropiados para cada caso.

Tipo de motor	En porcentaje de la corriente a plena carga			
	Fusible sin retardo de tiempo <sup>1</sup>	Fusible de dos elementos <sup>1</sup> (con retardo de tiempo)	Interruptor automático de disparo instantáneo	Interruptor automático de tiempo inverso <sup>2</sup>
Motores monofásicos	300	175	800	250
Motores polifásicos de corriente alterna distintos a los de rotor devanado	300	175	800	250
De jaula de ardilla: diferentes de los de diseño B energéticamente eficientes	300	175	800	250
De diseño B energéticamente eficientes	300	175	1100	250
Sincrónicos <sup>3</sup>	300	175	800	250
Con rotor devanado	150	150	800	150
De corriente continua (tensión constante)	150	150	250	150

Para algunas excepciones a los valores especificados, ver 430-54.

<sup>1</sup> Los valores de la columna fusible sin retardo de tiempo se aplican a fusibles de Clase CC de acción retardada.

<sup>2</sup> Los valores de la última columna también cubren los valores nominales de los interruptores automáticos de tiempo inverso no ajustables, que se pueden modificar como se describe en 430-52(c)(1), Excepción 1 y 2.

<sup>3</sup> Los motores sincrónicos de bajo par y baja velocidad (usualmente 450 rpm o menos), como los utilizados para accionar compresores alternativos, bombas, etc. que arrancan sin carga, no requieren que el valor nominal de los fusibles o el ajuste de los interruptores automáticos sea mayor al 200 por ciento de la corriente a plena carga.

**Figura 3.2.** Capacidad o ajuste máximo porcentual de las protecciones de motores. Tomado de [B11]

Tabla 430-52

En el uso de esta tabla, se deben tener en cuenta numerosas consideraciones para las cuales se deberá consultar [B11] y [B12].

## CAPÍTULO 4. MODELAMIENTO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS

La metodología de modelamiento utilizada es clásica y consiste en la representación de cada elemento de la red mediante sus parámetros eléctricos. Los parámetros a tener en cuenta y su aplicación en el análisis del sistema eléctrico, se resumen en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.** Redes Parametrizadas

Parámetros	Aplicación
Nominales	Estudio del comportamiento del sistema eléctrico de potencia, en estado estable
De secuencia	Evaluación del desempeño del sistema eléctrico de potencia, en condición de cortocircuito o falla

En este capítulo se aborda de manera general el cálculo básico de parámetros de secuencia, basados en las herramientas proporcionadas por las normas IEC-60909-2 [B14] e IEEE/ANSI C37 [B7]. Los métodos para la obtención de dichos parámetros son tratados en las siguientes secciones.

### 4.1. LÍNEAS ELÉCTRICAS

La impedancia en líneas depende de la configuración, de la cantidad de conductores por fase, la geometría de la línea y de la cantidad de hilos de guarda que posea. En general el cálculo se hace mediante la siguiente expresión:

$$Z_1 = Z_2 = R_{AC} + j \frac{\omega\mu}{2\pi} \ln \left( \frac{DMG}{RMG'} \right) \quad (4.1)$$

Donde,

- Z<sub>1</sub>: Impedancia de secuencia positiva del cable [Ω]
- Z<sub>2</sub>: Impedancia de secuencia negativa del cable [Ω]
- R<sub>AC</sub>: Resistencia del conductor en corriente alterna [Ω]
- μ: Constante de permeabilidad del material del conductor [Sin unidades]
- DMG: Distancia media geométrica entre conductores [m]
- RMG': Radio medio geométrico del conductor, corregido [m]

La impedancia de secuencia cero, se puede determinar con la siguiente expresión:

$$Z_0 \cong 3Z_1 \quad (4.2)$$

Donde:

- $Z_0$ : Impedancia de secuencia cero del cable, en por unidad  
 $Z_1$ : Impedancia de secuencia positiva del cable, en por unidad

## 4.2. MOTORES DE INDUCCIÓN

La impedancia de secuencia se obtiene a partir de la corriente de rotor bloqueado, aplicando las siguientes ecuaciones:

$$X_1 = X_M'' \quad (4.3)$$

$$X_2 = \frac{1}{2} X_1 \quad (4.4)$$

$$X_0 \rightarrow \infty \quad (4.5)$$

Donde:

- $X_0$ : Reactancia de secuencia cero del motor, en por unidad  
 $X_1$ : Reactancia de secuencia positiva del motor, en por unidad  
 $X_2$ : Reactancia de secuencia negativa del motor, en por unidad  
 $X_M''$ : Reactancia subtransitoria del motor, en por unidad

Dependiendo del nivel de tensión, el efecto resistivo puede ser o no considerado, de acuerdo a la relación X/R de la carga.

## 4.3. CARGAS PASIVAS EQUILIBRADAS

Las impedancias de este tipo de cargas tienen una respuesta invariable para diferentes estados de la red, por lo tanto:

$$Z_1 = Z_2 = Z \quad (4.6)$$

$$Z_0 \rightarrow \infty \quad (4.7)$$

Donde:

- $Z_0$ : Impedancia de secuencia cero de la carga, en por unidad  
 $Z_1$ : Impedancia de secuencia positiva de la carga, en por unidad  
 $Z_2$ : Impedancia de secuencia negativa de la carga, en por unidad

## 4.4. GENERADORES

Dependiendo del intervalo de tiempo que se desee analizar, la impedancia de secuencia positiva se tomará de acuerdo a lo siguiente:

$$Z_1 = X'' \quad \text{Reactancia subtransitoria} \quad \text{Primeros 4 ciclos} \quad (4.8)$$

$Z_1 = X'$	Reactancia transitoria	De 4 a 30 ciclos
$Z_1 = X$	Reactancia de régimen permanente	Mayor a 30 ciclos

Por otro lado, la reactancia de secuencia negativa:

$$X_2 = \frac{X_d'' + X_q''}{2} \quad (4.9)$$

Donde:

- $X_2$ : Reactancia de secuencia positiva el generador, en por unidad
- $X_d''$ : Reactancia subtransitoria de eje directo del generador, en por unidad
- $X_q''$ : Reactancia subtransitoria de eje de cuadratura del generador, en por unidad

#### 4.5. TRANSFORMADORES

Los parámetros de secuencia positiva y negativa se obtienen a partir de las pruebas de cortocircuito del transformador:

$$Z_0 = Z_1 = Z_2 = Z_{CC} \quad (4.10)$$

La norma IEC 60909-2 [B14] permite calcular la impedancia de secuencia cero asumiendo lo siguiente:

$$Z_0 = 0.8 Z_1 \quad (4.11)$$

Donde:

- $Z_0$ : Impedancia de secuencia cero del transformador, en por unidad
- $Z_1$ : Impedancia de secuencia positiva del transformador, en por unidad
- $Z_2$ : Impedancia de secuencia negativa del transformador, en por unidad
- $Z_{CC}$ : Impedancia de cortocircuito del transformador, en por unidad

#### 4.6. RELACIÓN X/R DE LA RED

Cuanto más grande sea la relación X/R, menor es el efectivo resistivo; hasta el punto que puede llegar a ser despreciado. En media y alta tensión es común que la relación X/R sea grande, caso contrario a la baja tensión donde esta relación es relativamente pequeña y por lo tanto no se puede despreciar la resistencia eléctrica resultante.

La relación que existe entre impedancia, resistencia y reactancia; en términos de la relación X/R se muestra a continuación:

$$R = \frac{1}{X/R} \cdot X \quad (4.12)$$

$$X = \frac{X}{R} \cdot R \quad (4.13)$$

$$Z = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2}} \quad (4.14)$$

Donde:

- R: Resistencia eléctrica equivalente de la red o sistema analizado [ $\Omega$ ]
- X: Reactancia inductiva equivalente de la red o sistema analizado [ $\Omega$ ]
- Z: Impedancia equivalente de la red o sistema analizado [ $\Omega$ ]

Múltiples cargas agrupadas como en el caso de CCMs, pueden ser representadas por una única relación X/R, la cual se obtiene del circuito equivalente de Thévenin visto desde el punto de interés.

## CAPÍTULO 5. ESTUDIOS PARA LA VALIDACIÓN DEL DESEMPEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO

El diagrama unifilar como modelo obtenido a partir del diseño básico de ingeniería, puede ser analizado con el fin de determinar el desempeño de cada uno de sus componentes de la red; en operación normal y en falla. Este proceso involucra estudios para la determinación de sobrecarga en conductores, pérdidas indeseadas de energía, tensiones fuera de los límites permitidos y condiciones inadecuadas de soportabilidad al cortocircuito, entre otros.

Cada estudio tiene aplicaciones particulares y diferentes métodos de solución [B5]. En este capítulo, se abordarán de manera general el cálculo y análisis de los flujos de potencia y el cálculo y análisis de cortocircuito. Posteriormente en el capítulo 6 se mostrará un caso de aplicación real en un sistema eléctrico industrial.

### 5.1. FLUJOS DE POTENCIA

Consiste en la evaluación del comportamiento del sistema eléctrico en estado estable, para determinar principalmente tensiones en barras, magnitud y dirección de la potencia activa y reactiva, carga en los circuitos y pérdidas del sistema. Como resultado de esta evaluación, se pueden determinar algunos procedimientos adicionales para la optimización del desempeño del sistema: Ajuste de tomas de transformadores, ajustes de voltaje en el excitador/regulador de generadores, corrección del factor de potencia, optimización de cables y conductores.

Grainger y Stevenson [B5] ilustran los conceptos y técnicas relacionados con este estudio.

#### 5.1.1. PLANTEAMIENTO GENERAL

El sistema eléctrico puede ser representado por sus parámetros nominales, como un sistema matricial en donde el voltaje y la corriente se relacionan de la siguiente manera:

$$[I] = [Y][V] \quad (5.1)$$

Donde,

- [I] Vector de corrientes de secuencia positiva en los nodos de la red, con  $I_{ii}$ ,  $I_{ij}$  [A]
- [Y] Matriz de admitancias de la red, con  $Y_{ii}$ ,  $Y_{ij}$  [S]
- [V] Vector de tensiones de secuencia positiva en los nodos de la red, con  $V_{ii}$ ,  $V_{ij}$  [V]

Entre la corriente y la potencia aparente existe una relación tal que:

$$I_i = \frac{S_i^*}{V_i^*} = \frac{(P_i + jQ_i)^*}{V_i^*} \quad (5.2)$$

Donde el subíndice  $i$  indica potencia, voltaje y corriente en el nodo  $i$ , respectivamente.

Combinando (5.1) y (5.2) se obtiene la ecuación que relaciona los flujos de potencia con los voltajes y la corriente:

$$\left[ \frac{(P + jQ)^*}{V^*} \right] = [Y][V] \quad (5.3)$$

La ecuación (5.3) es un sistema matricial que representa la relación entre potencia, voltajes y corrientes en toda la red. La solución del sistema matricial permite determinar los flujos de potencia en la red, pero los sistemas eléctricos industriales son extensos; con una gran cantidad de circuitos derivados en serie y en paralelo y son dinámicos en el sentido de que cambian su composición constantemente debido a la entrada y salida de cargas.

Grainger y Stevenson [B2] indican que la solución de la ecuación 5.3 se puede obtener mediante la solución del sistema matricial correspondiente, siempre y cuando se obtengan tantas ecuaciones como variables de estado existan en el sistema. Dado que cada una de las barras tiene una función definida en el sistema eléctrico de potencia, cada una tiene características particulares que hacen que la solución de la ecuación (5.3) se laboriosa debido a todas las variaciones posibles de tensiones en barras. La solución se logra mediante los métodos numéricos que se resumen en las siguientes secciones 5.1.2 a 5.1.5

### 5.1.2. MÉTODO DE GAUSS-SEIDEL

La forma generalizada de este procedimiento es la siguiente:

$$V_i^{(m)} = \frac{1}{Y_{ii}} \left( \frac{P_i - jQ_i}{V_i^{*(m-1)}} - \sum_{k=1}^{i-1} Y_{ik} V_k^{(m)} - \sum_{k=i+1}^N Y_{ik} V_k^{(m-1)} \right) \quad i = 1, 2, \dots, N - 1 \quad (5.4)$$

Donde,

- N: Número de buses del sistema, y el bus de referencia es el bus n
- m: Es el número de iteración actual
- i y k: Indicadores de buses
- V y Y: Tensión y admitancia complejos, respectivamente
- V\*: Conjugada de la tensión compleja

**Paso 1.** Establecer condiciones iniciales de potencia activa y potencia reactiva en todas las barras y un valor inicial de tensión en el nodo de referencia. Los valores iniciales deben ser razonables.

**Paso 2:** Calcular la tensión en el primer bus de carga, aplicando la ecuación 5.4. A partir de este primer resultado se actualiza el valor de potencias activa y reactiva en la primera barra y se determinan los valores de tensión y potencias para las demás barras, aplicando el mismo procedimiento.

**Paso 3:** Para cada uno de los valores obtenidos en el paso 2, se calcula el error y se compara con un valor preestablecido, aceptable y muy pequeño. En caso de que el error sea mayor al establecido se realizan nuevamente los cálculos desde el paso 1, tomando como valores iniciales, los resultados obtenidos en el paso anterior.

Este proceso se hace de manera reiterada hasta obtener un error aceptable, punto en el cual se obtiene la convergencia.

### 5.1.3. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON

El método de Gauss-Seidel en algunos casos presenta una convergencia demasiado lenta o inalcanzable, sin embargo; la técnica de Newton-Raphson resuelve este problema. Los detalles de este método son explicados de manera completa en Buchanan y Turner [B1].

Este método asume que pequeños cambios en las tensiones de las barras producen pequeños cambios en las respectivas potencias. Pequeños cambios en las variables involucradas pueden obtenerse a partir del cálculo de las derivadas parciales de tensiones y potencias. En corriente alterna, este procedimiento lleva a la obtención de un sistema matricial como el siguiente:

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

Donde,

$\Delta P$ : Vector de error de la potencia activa

$\Delta Q$ : Vector de error de la potencia reactiva

$J_1, J_2, J_3$  y  $J_4$ : Matrices de derivadas parciales (Jacobianas) de las funciones de potencia

$\Delta |V|$ : Forma diferencial de la magnitud de tensión

$\Delta \delta$ : Forma diferencial de la magnitud del ángulo de fase

Para efectos prácticos, la convergencia del método se da cuando  $\Delta P = 0.001$  MW y  $\Delta Q = 0.001$ Mvar.

### 5.1.4. MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON DESACOPLADO

Este método es una variación del método primario que le da su nombre. Consiste en una simplificación que mejora la eficiencia en los cálculos de los flujos de potencia y converge de

manera rápida. El enfoque del desacoplamiento se basa en las siguientes premisas, descritas en [B2]:

- Un cambio en el ángulo de la tensión  $\delta$  en una barra afecta el flujo de potencia real P pero prácticamente no afecta al flujo de potencia compleja Q.
- Un cambio en la magnitud de la tensión en una barra  $|V|$  afecta el flujo de potencia compleja Q pero prácticamente no afecta al flujo de potencia real P.

Al introducir estas premisas en la matriz Jacobiana (5.5), algunos elementos de las submatrices se anulan, obteniendo así dos sistemas de ecuaciones separadas y simplificadas:

$$\begin{aligned} [\Delta^*P] &= [J_1][\Delta^*\delta] \\ [\Delta^*Q] &= [J_1][\Delta^*|V|] \end{aligned} \tag{5.6}$$

$\Delta P$ : Vector simplificado de error de la potencia activa

$\Delta Q$ : Vector simplificado de error de la potencia reactiva, desacoplado

$J_1$ : Matriz jacobiana de la función de potencia

$\Delta^*|V|$ : Forma diferencial simplificada de la magnitud de tensión

$\Delta^*\delta$ : Forma diferencial simplificada de la magnitud del ángulo de fase

La ecuación 5.6 se resuelve de forma iterativa hasta obtener los valores de convergencia preestablecidos,  $\Delta P = 0.001$  MW y  $\Delta Q = 0.001$ Mvar.

### 5.1.5. MÉTODO ESTIMATIVO DE FLUJOS DE POTENCIA

En un sistema radial se puede estimar el flujo de carga esperado si se asumen condiciones específicas de operación de las barras, en un momento determinado. El resultado así obtenido, representa un instante particular del sistema.

Este tipo de análisis simplificado resulta útil cuando no se cuenta con un programa computacional para la solución de flujos de potencia. Este método simplifica las ecuaciones (5.4), (5.5) y (5.6) y la solución de los flujos de potencia se obtiene simplemente usando la relación de potencias:

$$S_i^2 = P_i^2 + Q_i^2 \tag{5.7}$$

Donde:

$S_i$ : Potencia activa en el bus i [KVA]

$P_i$ : Potencia activa en el bus i [KVA]

$Q_i$ : Potencia reactiva en el bus i [KVAR]

Para cada carga se conocen por lo general dos de las tres variables de la ecuación (5.7), esto permite obtener una estimación inmediata de los flujos de potencia por las ramas del circuito. Si se aplica el factor de demanda de cada carga, se determinan además los máximos flujos de potencia esperados. Sin embargo; esta metodología no analiza todos los posibles cambios que puede experimentar el sistema de potencia, como si sucede con los métodos iterativos. Un resumen de este procedimiento es mostrado en la Tabla 5.1.

**Tabla 5.1.** Procedimiento estimativo de cálculo de flujos de carga en una red estática

<b>Paso 1</b>	Determinar los valores de la corriente a plena carga $I_{FL}$	
<b>Paso 2</b>	Obtener P, Q y S a plena carga	$S = \sqrt{3} \cdot V \cdot I_{FL}$ $P = S/FP$ $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$
<b>Paso 3</b>	Aplicar factores de demanda y coincidencia para obtener los flujos de carga máxima no coincidente por los ramales	$S^* = (FD) \cdot (FC) \cdot S$ $P^* = (FD) \cdot (FC) \cdot P$ $Q^* = (FD) \cdot (FC) \cdot Q$
<p>V: Voltaje fase-fase en el circuito derivado [KV]                      S: Potencia aparente por la rama del circuito [KVA]                      P: Potencia activa por la rama del circuito [KVA]                      Q: Potencia reactiva por la rama del circuito [KVAR]                      FP: Factor de potencia de la carga [Sin unidades]                      S*: Flujo máximo de potencia aparente [KVA]                      P*: Flujo máximo de potencia activa [KW]                      Q*: Flujo máximo de potencia reactiva [KVAR]                      FD: Factor de demanda coincidente en el circuito [Sin unidades]                      FC: Factor de coincidencia de cargas [Sin unidades]</p>		

## 5.2. CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA

Mediante el estudio de cortocircuito, se determina la magnitud y dirección de las corrientes ante una condición de falla de aislamiento. Este estudio permite verificar el correcto dimensionamiento de componentes y desarrollar esquemas de protección adecuados. Dentro de las principales aplicaciones se encuentran:

- ✓ Determinar la capacidad interruptiva de dispositivos de protección
- ✓ Determinación de los ajustes de dispositivos de protección
- ✓ Determinación de los esfuerzos dinámicos en cables, barras y equipos
- ✓ Diseño del sistema de puesta a tierra

Los principales efectos de una falla de aislamiento son:

- ✓ Aparición de corrientes de magnitud excesiva que pueden conllevar al daño de equipos.
- ✓ Sobre voltajes transitorios o sostenidos, de gran magnitud que pueden comprometer la integridad de los aislamientos.
- ✓ Condiciones peligrosas para el personal y las instalaciones.
- ✓ Pérdidas excesivas de energía debido a los altos flujos de potencia durante una falla
- ✓ Pérdida de los procesos productivos

El estudio de cortocircuito permite analizar una condición inherente del sistema que influye en el desempeño del mismo y puede representar grandes pérdidas.

### 5.2.1. COMPORTAMIENTO DE UNA CORRIENTE DE FALLA

El sistema eléctrico de potencia puede ser representado mediante el equivalente de Thévenin [B4] visto desde el punto de falla, como se ilustra en la figura 5.1.

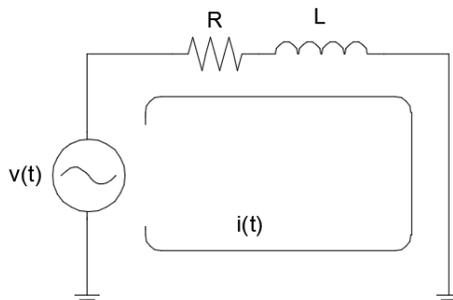


Figura 5.1. Equivalente de Thévenin de un sistema eléctrico de potencia en falla

En este modelo, la fuente representa a todas las fuentes de corriente de cortocircuito (incluido el sistema público de suministro de energía), R y L son respectivamente, la resistencia y la inductancia equivalentes de la combinación de todos los parámetros de cables, máquinas y equipos que intervienen en el sistema. Para una instalación industrial, la capacitancia de los cables es despreciable debido a los niveles de tensión bajos.

La ecuación para la solución del sistema es la siguiente:

$$v(t) = R i(t) + L \frac{di(t)}{dt} \quad (5.8)$$

La solución a esta ecuación diferencial es la siguiente:

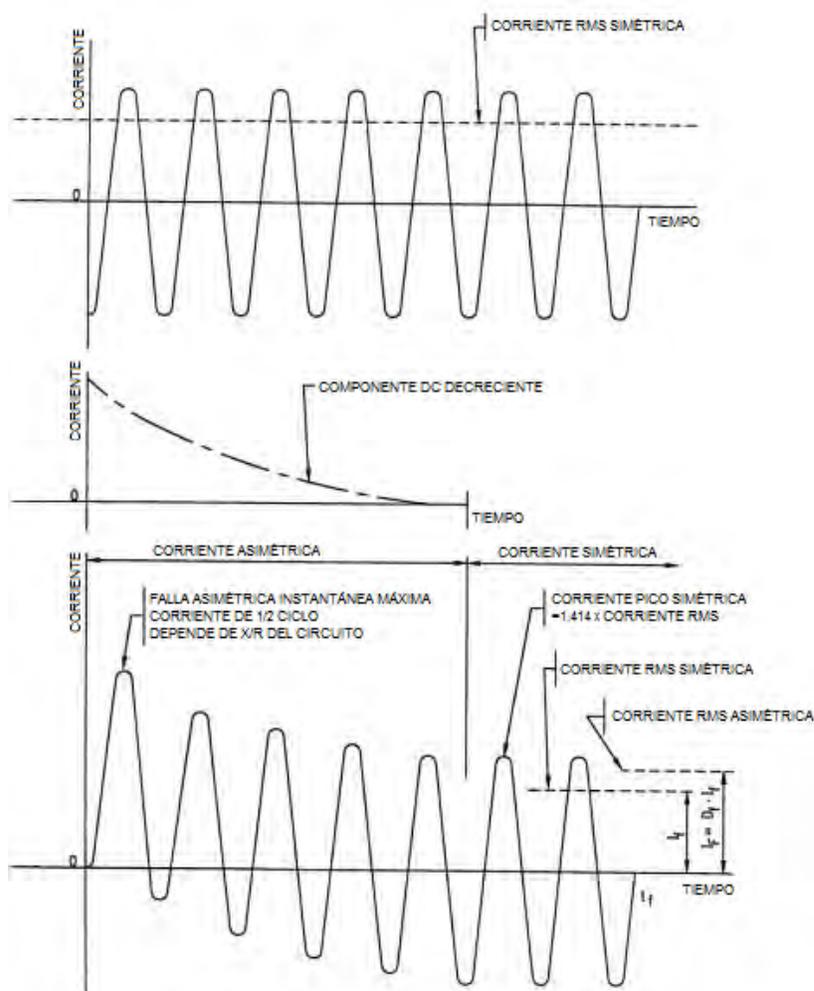
$$i(t) = \sqrt{2}I [\text{sen}(\omega t + \alpha) - \text{sen}(\alpha)e^{-t/\tau}] \quad (5.9)$$

De donde se puede observar una componente de corriente directa DC y una componente de corriente alterna AC:

$$i_{AC}(t) = \sqrt{2}I \text{sen}(\omega t + \alpha) \quad \text{Componente AC}$$

$$i_{DC}(t) = \sqrt{2}I \text{sen}(\varphi - \theta) e^{-\frac{t}{\tau}}; \tau = L/R \quad \text{Componente DC}$$

La figura 5.2. ilustra cada una de las componentes de la corriente resultante y el resultado de la superposición de estas.



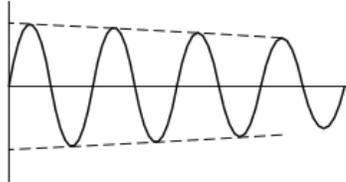
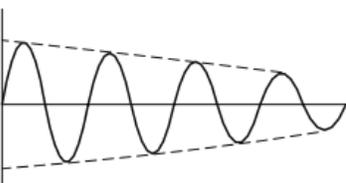
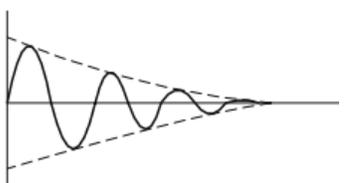
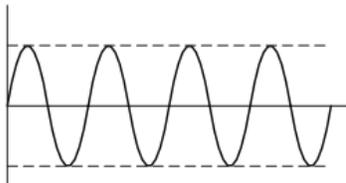
**Figura 5.2.** Comportamiento de la corriente de falla.  
Tomado de IEEE Std. 141

En la figura se puede observar la naturaleza transitoria de la corriente de falla y la manera en la que esta se estabiliza al cabo de unos cuantos ciclos.

### 5.2.2. FUENTES DE CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO Y FALLA A TIERRA

La corriente de falla en un punto, resulta de la combinación de múltiples corrientes de frecuencia fundamental; aportadas por diferentes fuentes [B6]. La tabla 5.2 resume el efecto de cada una de las fuentes de corrientes de cortocircuito.

**Tabla 5.2.** Fuentes de corriente de cortocircuito y su comportamiento

ELEMENTO	COMPORTAMIENTO	DESCRIPCIÓN GRÁFICA
<b>GENERADOR SINCRÓNICO</b>	La corriente crece inmediatamente hasta un elevado valor y al cabo de un tiempo se establece en un valor estable mucho menor que el inicial. Esto se debe a la respuesta de la impedancia, la cual pasa por tres estados: subtransitorio, transitorio y estable.	
<b>MOTORES Y CAPACITORES SÍNCRONICOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Motores:</b> Debido a la inercia y a la presencia de la fuente de excitación; generan un flujo de corriente hacia el punto de falla. Su comportamiento es idéntico al de un generador síncronico.</li> <li>• <b>Capacitores:</b> tienen un comportamiento similar y para efectos del cálculo se tratan de igual manera que los motores y generadores síncronicos</li> </ul>	
<b>MOTORES DE INDUCCIÓN</b>	Contribuyen debido a la inercia y a la presencia de la excitación en el devanado del estator; sin embargo, la fuente de excitación es desconectada rápidamente, así este flujo disminuye al cabo de unos pocos ciclos, haciendo que no se alcance el estado estable de la corriente de falla. Los valores de reactancia transitoria y síncrona alcanzan valores muy elevados por lo que resulta de interés únicamente la reactancia subtransitoria $X_d''$ .	
<b>SISTEMA DE SUMINISTRO DE ENERGÍA</b>	Contiene múltiples generadores, los cuales entregan corriente de cortocircuito a través de los transformadores. La contribución puede considerarse constante, por lo que el modelo del sistema se representa como una impedancia constante referida al punto de conexión de la planta industrial.	

<b>MOTORES DE INDUCCIÓN AC O MOTORES DC CON DISPOSITIVOS DE ESTADO SÓLIDO</b>	Bajo ciertas condiciones pueden contribuir, mediante retorno de corrientes de falla hacia el sistema. Se debe consultar con el fabricante sobre estas condiciones y el efecto producido.	
---	--	--

Dado que la corriente es transitoria, para efectos de modelado y análisis, se deben tener los estados de la red, los cuales determinan los parámetros que se listan en la Tabla 5.3

**Tabla 5.3.** Parámetros de las fuentes de corrientes de cortocircuito y falla a tierra

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	FUNCIÓN
$X_d''$	Reactancia subtransitoria	Define la corriente durante el primer ciclo inmediatamente después de la falla, aproximadamente hasta 0.1 s
$X_d'$	Reactancia transitoria	Define la corriente después de varios ciclos, aproximadamente de 0.5 a 2.0 s
$X_d$	Reactancia síncronica	Determina la corriente cuando se alcanza el estado estable

### 5.2.3. MÉTODOS DE CÁLCULO DE CORRIENTES DE FALLA

Existen diferentes metodologías para el cálculo de las corrientes de falla. La tabla 5.4. menciona las más utilizadas y el nivel de precisión de cada una.

**Tabla 5.4.** Técnicas de solución y su nivel de precisión

MÉTODO	EXACTO	APROXIMADO
Componentes Simétricas	X	
$Z_{BARRA}$	X	
Porcentual (Por Unidad)		X
De las potencias o de los MVAs		X
ANSI C37		X
IEC 60909		X

En el presente documento se da especial atención a la aplicación del método de las componentes simétricas y el método normativo ANSI C37 y como referencia se incluye una descripción del método normativo IEC 60909. Estos tres métodos son comúnmente parte de los algoritmos de cálculo de los programas computacional en la actualidad.

### 5.2.3.1. APLICACIÓN DEL MÉTODO DE LAS COMPONENTES SIMÉTRICAS

Este trabajo se enfoca en la aplicación del método, partiendo del supuesto de que el lector conoce el desarrollo matemático completo y los conceptos asociados a las redes de secuencia. Grainger y Stevenson [B2] ilustran de manera completa el desarrollo del método y sus aplicaciones.

En una falla asimétrica las corrientes resultantes están desbalanceadas entre sí y son representadas como vectores desplazados en magnitud y fase, con respecto a los vectores originales. Aplicando el teorema de Fortescue y el de superposición, es posible transformar este sistema desequilibrado en la suma de tres sistemas vectoriales equilibrados; cada uno con una secuencia de operación: Positiva, negativa o cero (homopolar).

Como parte de la aplicación del método, se pueden configurar las redes de secuencia de sistema, las cuales pueden ser fácilmente reducidas a su equivalente de Thévenin mediante técnicas básicas de análisis de circuitos. La tabla 5.5 resume los resultados del método.

**Tabla 5.5.** Resultados para la aplicación del método de las componentes simétricas

TIPO DE FALLA	CONSIDERACIONES	SOLUCIÓN
MONOFÁSICA A TIERRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en fase A</li> <li>• <math>I_B = I_C = 0</math></li> </ul>	$I_0 = \frac{E_F}{Z_1 + Z_2 + Z_0} \quad (5.10)$ $I_A = 3I_0$
BIFÁSICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en fase B y C</li> <li>• <math>I_A = 0</math></li> </ul>	$I_{A1} = \frac{E_F}{Z_1 + Z_2} \quad (5.11)$ $I_B = -I_C = -j\sqrt{3} I_{A1}$
BIFÁSICA A TIERRA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Falla en fase B y C</li> <li>• <math>I_A = 0</math></li> </ul>	$I_{A1} = \frac{E_F Z_2}{Z_1 Z_2 + Z_2 Z_0 + Z_0 Z_1} \quad (5.12)$ $I_B + I_C = 3 I_{A1}$
TRIFÁSICA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>I_A = I_B = I_C = 0</math></li> </ul>	$I_{A1} = \frac{E_F}{Z_1} \quad (5.13)$ $I_A = I_{A1}$
$E_F$ : $I_A, I_B, I_C$ : $Z_0, Z_1, Z_2$ : $I_{A1}$ :	Voltaje pre falla, en por unidad Corriente de falla en fase A, fase B y fase C respectivamente; en por unidad Impedancias de secuencia cero, positiva y negativa respectivamente; en por unidad Corriente de secuencia positiva de la fase A, en por unidad.	

### 5.2.3.2. MÉTODO NORMATIVO ANSI C37

Este método considera el cambio en las reactancias de los elementos del sistema durante los tres estados de la corriente de falla: Subtransitorio, transitorio y estable. El circuito equivalente para el cálculo de las corrientes de falla se compone de:

- Una fuente de voltaje de valor igual al voltaje pre falla en el punto de interés y la cual representa a todas las fuentes de voltaje del sistema, incluidos los voltajes internos de las máquinas.
- Las impedancias internas de las máquinas rotativas y las impedancias de los transformadores según el ajuste de tomas.
- En media y baja tensión, la capacitancia de los cables se desprecia.

#### 5.2.3.2.1. PROCEDIMIENTO GENERAL

El procedimiento consiste en resolver tres redes para el punto de falla, separando las redes de resistencias R y reactancias X. Las fallas trifásicas se analizan a partir del circuito equivalente monofásico respectivo mientras que las fallas asimétricas se resuelven aplicando el método de las componentes simétricas.

Tres diferentes redes de impedancias se forman para calcular las corrientes: Momentánea, interruptiva y permanente, denominadas; Red de  $\frac{1}{2}$  ciclo (Red subtransitoria), Red de 1.5 – 4 Ciclos (Red transitoria) y Red de 30 ciclos (Red de estado estable). Al analizar de manera separada las redes de resistencias y reactancias, se puede determinar la relación X/R para cada punto de falla. Esta relación es determinante en el cálculo del factor de decremento de la corriente de falla, el cual define la asimetría en los primeros cuatro ciclos.

Mediante las redes de  $\frac{1}{2}$  ciclo y de 1.5 – 4 ciclos, se obtienen los valores RMS de la corriente momentánea e interruptiva. Luego a estos valores se les aplican factores multiplicadores apropiados, obteniendo así los respectivos valores asimétricos.

#### 5.2.3.2.2. APLICACIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a la norma IEEE Std. ANSI C37 [B7], los resultados obtenidos para cada uno de los ciclos de operación son aplicables conforme se resume en la Tabla 5.6.

**Tabla 5.6.** Aplicación de los ciclos de la corriente da falla

Dispositivo	$\frac{1}{2}$ Ciclo	1.5 - 4 Ciclos	30 Ciclos
Interruptores de más de 1000 V	Capacidad de cierre y enclavamiento	Capacidad interruptiva	N.A.
Interruptores de 1000 V o menos	Capacidad interruptiva	N.A.	N.A.

Dispositivo	½ Ciclo	1.5 - 4 Ciclos	30 Ciclos
Fusibles	Capacidad interruptiva	N.A.	N.A.
Tableros de Distribución y centros de control de motores	Esfuerzo en barras	N.A.	N.A.
Relés	Ajuste instantáneo	N.A.	Ajustes de sobre corriente

Los valores de reactancias utilizados para conformar las redes de ½ ciclo y de 1.5 a 4 ciclos, están definidas en la Tabla 5.7, la cual está relacionada en [B5] y [B7].

**Tabla 5.7.** Factores multiplicadores de la reactancia de máquinas rotativas.  
Tomada de IEEE Std. 141-1993

Tipo de Máquina Rotativa	Red de Primer Ciclo	Red Interruptiva
Turbogeneradores, Hidrogeneradores con devanado de amortiguamiento y condensadores	$1.0 X_d''$	$1.0 X_d''$
Hidrogeneradores sin devanado de amortiguamiento	$0.75 X_d'$	$1.0 X_d'$
Motores sincrónicos	$1.0 X_d''$	$1.5 X_d''$
Motores de Inducción		
Mayores a 1,000 hp con 1,800 r/min o menos	$1.0 X_d''$	$1.5 X_d''$
Mayores a 250 hp a 3,600 r/min	$1.0 X_d''$	$1.5 X_d''$
Otros de 50 hp y más	$1.2 X_d''$	$3.0 X_d''$
Menores a 50 hp	Despreciable	Despreciable

Para una red con elementos combinados, se permiten los factores multiplicadores para los motores de inducción, dados en la tabla 5.8

**Tabla 5.8.** Factores multiplicadores de la reactancia de máquinas rotativas.  
Tomada de IEEE Std. 141-1993

Tipo de Máquina Rotativa	Red de Primer Ciclo	Red Interruptiva
Motores de Inducción		
Todos los de 50 hp y más	$1.2 X_d''$	$3.0 X_d''$
Menores a 50 hp	$1.67 X_d''$	Despreciable

### 5.2.3.2.3. CÁLCULO DE LA CORRIENTE MOMENTÁNEA

Representa el máximo valor de corriente de cortocircuito, desde que se inicia el evento hasta que se alcanza el estado estable y ocurre aproximadamente en medio ciclo. Por esta razón la red se soluciona en el primer medio ciclo. El procedimiento de cálculo se resume en la Tabla 5.9:

**Tabla 5.9.** Procedimiento de cálculo de la corriente momentánea bajo IEEE/ANSI C37

<b>Paso 1:</b> Calcular el valor RMS simétrico de la corriente momentánea de cortocircuito:	$I_{CC\ SIM} = \frac{V_F}{\sqrt{3} Z_{EQ}} \quad (5.24)$	$V_F$ : Voltaje pre falla $Z_{EQ}$ : Impedancia equivalente en el punto de falla en la red de medio ciclo.
<b>Paso 2:</b> Calcular el valor RMS asimétrico de la corriente momentánea de cortocircuito:	$I_{CC\ ASIM} = k I_{CC\ SIM} \quad (5.25)$	$k$ : Factor multiplicador calculado de acuerdo a lo siguiente: $k = \sqrt{1 + 2e^{-\frac{2\pi}{X/R}}} \quad (5.26)$
<b>Paso 3:</b> Calcular el valor pico de la corriente de cortocircuito momentánea:	$I_{CC\ P} = p I_{CC\ SIM} \quad (5.27)$	$p$ : Factor multiplicador pico y se obtiene de la siguiente forma: $p = \sqrt{2} \left( 1 + 2e^{-\frac{\pi}{X/R}} \right) \quad (5.28)$

$X/R$  es la relación obtenida para el punto de falla, al resolver de manera separada la red de resistencias y reactancias de medio ciclo.

### 5.2.3.2.4. CÁLCULO DE LA CORRIENTE INTERRUPTIVA

Debido a la diferencia que hay entre los tiempos de operación entre dispositivos de protección en alta y baja tensión, es necesario separar el análisis para cada caso. La corriente interruptiva de falla para dispositivos de protección de más de 1,000 V se presenta entre 1.5 y 4 períodos, por lo que esta red es la usada para los cálculos. La tabla 5.10 resume al procedimiento de cálculo a seguir.

**Tabla 5.10.** Procedimiento para interruptores de más de 1,000 V

<b>INTERRUPTORES DE MÁS DE 1,000 V</b>		
<b>Paso 1:</b> Calcular el valor RMS simétrico de la corriente interruptiva de cortocircuito	$I_{INT,RMS,SIM} = \frac{V_F}{\sqrt{3} Z_{EQ}} \quad (5.29)$	$V_F$ : Voltaje pre falla $Z_{EQ}$ : Impedancia equivalente en el punto de falla en la red de 1.5 – 4 ciclos.
<b>Paso 2:</b> Calcular las contribuciones a la corriente de cortocircuito desde los nodos cercanos	--	--
<b>Paso 3:</b> Si la contribución proviene de un nodo remoto, el valor simétrico obtenido se debe corregir por el siguiente factor:	$k_R = \sqrt{1 + 2e^{-\frac{4\pi}{X/R}t}} \quad (5.30)$	$t$ : Tiempo de apertura de contactos del interruptor, expresado en ciclos
<b>Paso 4:</b> Calcular la contribución remota y local, para determinar la relación de aporte de corriente remota respecto al aporte de corriente local:	$R = \frac{I_{REMOTA}}{I_{CC\ TOTAL}} \quad (5.31)$	
<b>Paso 5:</b> Determinar el factor multiplicador final $A_{dj}$ de acuerdo a lo siguiente:	$A_{dj} = K_L + R(K_R - K_L) \quad (5.32)$	$K_R$ : Factor de contribución remota $K_L$ : Factor de contribución local
<b>Paso 6:</b> A partir del valor de $A_{dj}$ determinar el valor RMS de la corriente interruptiva ajustada:	$I_{INT,RMS,adj} = A_{dj} \cdot I_{INT,RMS,SIM} \quad (5.33)$	

<b>INTERRUPTORES DE MÁS DE 1,000 V</b>		
<p><b>Paso 7:</b> Para interruptores diseñados en base a la corriente simétrica, el valor RMS de la corriente interruptiva se calcula de la siguiente manera</p>	$I_{int,rms,adj} = \frac{A_{adj} \cdot I_{int,rms,sim}}{S} \quad (5.34)$	<p>S: Factor de corrección que refleja la capacidad intrínseca del interruptor</p>

**Tabla 5.11.** Factor de corrección de la corriente interruptiva simétrica, para interruptores diseñados en base a la corriente simétrica.

Tiempo de apertura de contactos (ciclos)	Factor de Ajuste S
4	1
3	1.1
2	1.2
1.5	1.3

**Tabla 5.12.** Procedimiento para interruptores de menos de 1,000 V

<b>INTERRUPTORES Y FUSIBLES DE MENOS DE 1,000 V</b>		
<p><b>Paso 1:</b> Calcular el valor RMS simétrico de la corriente interruptiva de cortocircuito:</p>	$I_{int,RMS,sim} = \frac{V_F}{\sqrt{3} Z_{EQ}} \quad (5.35)$	<p>V<sub>F</sub>: Voltaje pre falla Z<sub>EQ</sub>: Impedancia equivalente en el punto de falla en la red de ½ ciclo.</p>
<p><b>Paso 2:</b> Calcular el valor RMS asimétrico ajustado de la corriente momentánea de cortocircuito:</p>	$I_{int,RMS,adj} = K_{adj} \cdot I_{int,RMS,sim} \quad (5.36)$	
<p><b>Paso 3:</b> Calcular el factor de ajuste K<sub>adj</sub> para una base de cálculo basada en la corriente pico o la corriente asimétrica</p>	$K_{adj} = \frac{\sqrt{2} \left( 1 + e^{-\frac{2\pi}{X/R}} \right)}{\sqrt{2} \left( 1 + e^{-\frac{2\pi}{X/R_{test}}} \right)} \quad (5.37)$	<p>Para corriente pico</p>

<b>INTERRUPTORES Y FUSIBLES DE MENOS DE 1,000 V</b>		
	$K_{adj} = \frac{\sqrt{1 + 2e^{-\frac{2\pi}{X/R}}}}{\sqrt{1 + 2e^{-\frac{2\pi}{X/R_{test}}}}}$ <p style="text-align: center;">(5.38)</p>	Para corriente simétrica

Donde  $X/R_{test}$  es la relación basada en el factor de potencia del interruptor.

El valor de la corriente calculada mediante este método sirve para verificar la capacidad interruptiva de fusibles e interruptores en baja tensión.

### 5.2.3.3. MÉTODO NORMATIVO IEC 60909

Esta norma es aplicable para el cálculo y dimensionamiento de sistemas de AC en 50/60 Hz, incluyendo fallas trifásicas, fase-tierra, fase-fase y fase-fase-tierra. Los estándares IEC 60909 [B8] clasifican las corrientes de cortocircuito según sus magnitudes (máxima y mínima) y las distancias de la falla al generador (cerca o lejos). La corriente de cortocircuito máxima define el dimensionamiento de equipos mientras que la corriente mínima define los ajustes de los dispositivos de protección.

Bajo el método IEC 60909 [B8] una fuente equivalente de voltaje en el punto de falla representa a todas las fuentes de voltaje. Un factor de ajuste  $c$  se aplica para ajustar el valor de la fuente de voltaje para los cálculos en máxima y mínima corriente. Las máquinas se representan por sus impedancias internas y las tomas de transformadores pueden fijarse en la posición nominal o en las posiciones alternativas. Las impedancias del sistema se consideran como un sistema trifásico balanceado y las fallas asimétricas se analizan mediante el método de las componentes simétricas.

Los cálculos consideran la distancia eléctrica desde el punto de falla hasta los generadores sincrónicos. Para fallas cercanas al generador, el método asume que el valor de estado estable de la corriente de cortocircuito es igual a la corriente de cortocircuito simétrica inicial y que solo la componente DC decrece hasta cero. Por otra parte, para fallas cercanas al generador el cálculo incluye el decremento de las componentes AC y DC. La relación  $X/R$  equivalente determina la tasa de decremento de estos dos componentes.

#### 5.2.3.3.1. DEFINICIONES PARA LA APLICACIÓN DEL MÉTODO

- **Corriente de cortocircuito simétrica inicial ( $I''_k$ ):** Es el valor RMS de la componente de corriente simétrica AC, considerando el instante inicial de la falla e impedancia de falla igual a cero.

- **Corriente de cortocircuito pico ( $i_p$ ):** Corriente máxima instantánea de la corriente de cortocircuito disponible.
- **Corriente simétrica interrumpida ( $I_b$ ):** Valor RMS de la componente simétrica AC, medido en un ciclo, de la corriente de cortocircuito en el instante de separación de los contactos del primer polo del dispositivo.
- **Corriente de cortocircuito de estado estable ( $I_k$ ):** Valor RMS de la corriente de cortocircuito que permanece después de la extinción del fenómeno transitorio.
- **Tensión subtransitoria ( $E''$ ) de Máquinas Sincrónicas:** Valor RMS de la tensión interna de una máquina síncrona, el cual actúa a partir de la reactancia subtransitoria en el momento del cortocircuito.
- **Falla lejos del generador:** Bajo esta condición, la magnitud de la componente de corriente simétrica AC permanece constante.
- **Falla Cerca al generador:** En esta condición, al menos una de las máquinas síncronas contribuye con corriente inicial de cortocircuito; la cual es más de dos veces la corriente nominal del generador. Por otro lado, los motores síncronos y de inducción contribuyen con más del 5% de la corriente de cortocircuito simétrica inicial ( $I''_k$ ).
- **Reactancia Subtransitoria ( $X_d''$ ) de una máquina síncrona:** Reactancia efectiva en el momento del cortocircuito. Se considera el valor de  $X_d''$  saturado. La impedancia de motores síncronos se calcula de acuerdo a lo siguiente:

$$Z_K = K_G (R + X_d'') \quad (5.39)$$

$$K_G = \frac{V_n C_{MÁX}}{V_r (1 + X_d'' \text{sen}\Phi)} \quad (5.40)$$

Donde,

$V_n$ : Tensión nominal en barras [V]

$V_r$ : Tensión nominal del motor [V]

$C_{MÁX}$ : Constante que depende del voltaje nominal de la máquina [Sin unidades]

$X_d''$ : Reactancia subtransitoria de la máquina [en por unidad]

$\Phi$ : Ángulo del factor de potencia de la máquina [Rad]

- **Tiempo mínimo de Retraso ( $T_{min}$ ) de un interruptor:** Mínimo tiempo entre el comienzo de la falla y la primera separación de contactos de un polo del interruptor. Este tiempo es la suma del tiempo mínimo posible de operación de un relé instantáneo y el tiempo mínimo de apertura del interruptor. El tiempo mínimo de retraso no incluye los retrasos de los ajustes de los dispositivos de disparo.

- **Factor de Voltaje C:** Es el factor de ajuste de la fuente de voltaje equivalente para mínima y máxima corriente. Su valor está dado en la Tabla 5.13.

**Tabla 5.13.** Factor de Corrección de Tensión

Tensión Nominal del Sistema	Factor de tensión C	
	Para I <sub>cc</sub> Máxima	Para I <sub>cc</sub> Mínima
	C <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>
Tension ≤ 1 kV	1.1	0.95
Tension > 1 kV hasta 230 kV	1.1	1.0

### 5.2.3.3.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

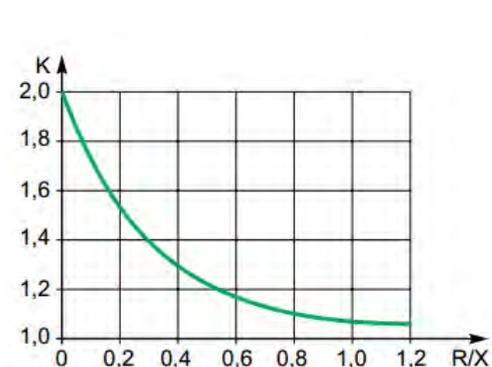
Este procedimiento normativo permite calcular las corrientes de cortocircuito máximas y mínimas, aplicando el método de las componentes simétricas:

**Tabla 5.14.** Procedimiento para el cálculo de corrientes de falla mediante IEC 60909

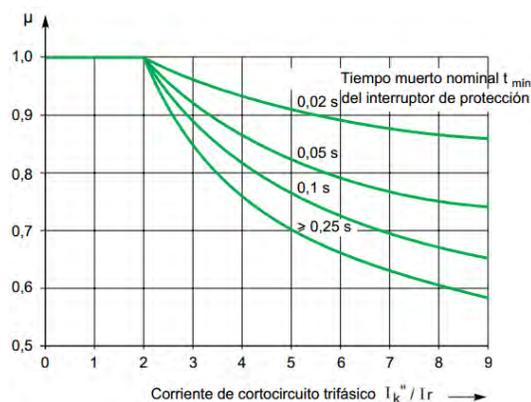
<b>Paso 1:</b> Calcular la corriente de cortocircuito inicial I'' <sub>K</sub>	$I''_K = \frac{C \cdot V_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k}$ (5.41)	Z <sub>k</sub> : Impedancia equivalente en el punto de falla
<b>Paso 2:</b> Calcular la corriente de cortocircuito máxima	$I_p = \sqrt{2} \cdot k \cdot I''_K$ (5.42)	k está en función de la relación X/R en el punto de falla
<b>Paso 3:</b> Calcular k	$k = 1.02 + 0.98e^{-3\left(\frac{R}{X}\right)}$ (5.43)	Ver figura 5.3
<b>Paso 4:</b> Calcular la corriente de cortocircuito simétrica interrumpida I <sub>b</sub> para falla lejana al generador	$I_b = I''_K$ (5.44)	La corriente simétrica interrumpida es igual a la corriente de cortocircuito inicial
<b>Paso 5:</b> Calcular la corriente de cortocircuito simétrica interrumpida I <sub>b</sub> para falla cercana al generador	$I_b = \mu I''_K$ Para máquinas sincrónicas  $I_b = \mu q I''_K$ Para máquinas asincrónicas (5.45)	μ y q son factores relacionados con la extinción de la corriente de falla inicial y depende del tiempo de retardo mínimo del interruptor t <sub>min</sub> y de la razón I'' <sub>k</sub> /I <sub>r</sub> de acuerdo a la figura 5.4.

<p><b>Paso 6:</b> Calcular la componente de DC de la corriente de cortocircuito</p>	$I_{DC} = I_k'' \sqrt{2} e^{\left(-\frac{2\pi f t_{\min}}{x/R}\right)}$ <p style="text-align: center;">(5.46)</p>	<p>f: Frecuencia nominal del sistema</p> <p><math>t_{\min}</math>: Tiempo mínimo de respuesta del dispositivo de protección</p> <p>X/R: Se calcula en el punto de falla.</p>
<p><b>Paso 7:</b> Calcular la corriente de cortocircuito permanente: Depende de las contribuciones de corriente de falla de generadores sincrónicos y el sistema de suministro</p>	$I_{k \text{ máx}} = \lambda_{\text{máx}} \cdot I_{rg}$ $I_{k \text{ mín}} = \lambda_{\text{mín}} \cdot I_{rg}$ <p style="text-align: center;">(5.47)</p>	<p><math>\lambda</math>: Factor variable de incremento de la corriente nominal</p> <p><math>I_{rg}</math>: Corriente nominal del generador</p> <p>Ver figura 5.5.</p>

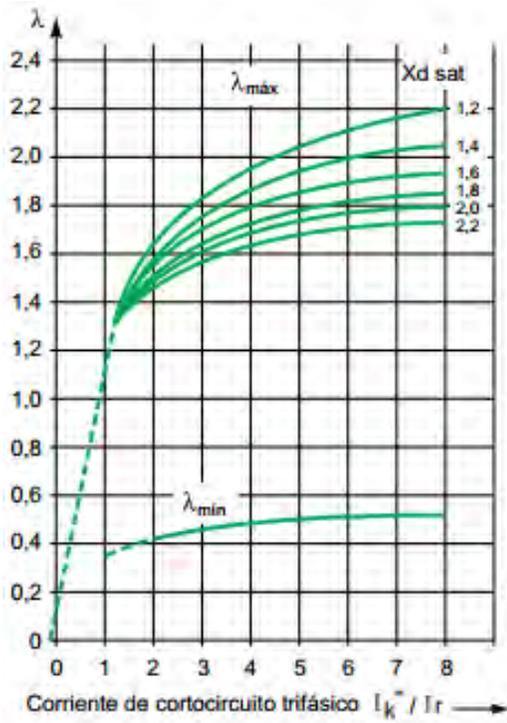
El estándar IEC 60909 [B8] permite incluir o no el decremento  $q$  para las máquinas asincrónicas, por lo cual se considerará para fines prácticos  $q=1$ .



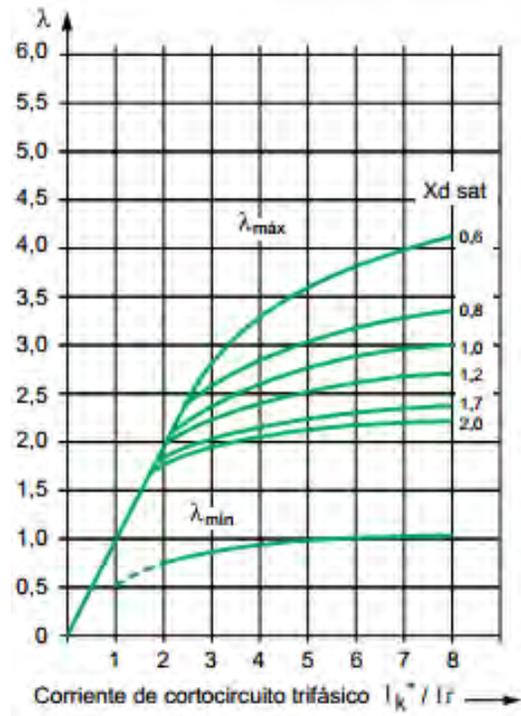
**Figura 5.3a** Variación del factor k en función de la relación X/R



**Figura 5.3b.** Valor de  $\mu$  en función de la relación  $I_k''/I_r$



**Figura 5.3c.** Factores  $\lambda_{\max}$  y  $\lambda_{\min}$  para turbogeneradores



**Figura 5.3d.** Factores  $\lambda_{\max}$  y  $\lambda_{\min}$  para generadores de polos salientes

## CAPÍTULO 6. CASO DE ESTUDIO

En este capítulo se toma un caso real, para el cual se desarrollarán los cálculos básicos de ingeniería a fin de obtener el diagrama unifilar básico, posteriormente se aplicarán los conceptos mostrados en el Capítulo 5 a fin de mejorar el diseño con miras a obtener un mejor desempeño de los componentes de la red. Los análisis de flujos de carga y cortocircuito, pretenden garantizar desde la etapa de diseño; un adecuado desempeño y un mejor rendimiento de las futuras instalaciones eléctricas que serán construidas de acuerdo a las especificaciones del diseño final.

### 6.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL CASO

Una planta industrial requiere instalar un nuevo proceso de producción, para lo cual es necesario poner en operación un nuevo edificio de proceso. La ampliación de la planta de producción supone el aumento de la demanda de energía eléctrica, la cual debe ser suministrada por la compañía de energía de la zona. La información preliminar del sistema de suministro de energía se muestra en la tabla 6.1:

**Tabla 6.1.** Información general del sistema eléctrico

SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL		SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN	
LOCALIZACIÓN:	VALLE DE MÉXICO	ZONA:	TEXCOCO
USO:	INDUSTRIAL	SUBESTACIÓN:	LOS REYES
TIPO:	AMPLIACIÓN	CAPACIDAD INSTALADA:	120 MVA
ALTITUD:	2,260 m.s.n.m	ALTITUD:	2,260 m.s.n.m
TEMPERATURA AMBIENTE:	16.4 °C	TEMPERATURA AMBIENTE:	16.4 °C
TENSIÓN PRIMARIA:	23,000 V	TENSIÓN PRIMARIA:	85 KV
TENSIÓN SECUNDARIA.	440 V	TENSIÓN SECUNDARIA:	23 KV
ACOMETIDA:	3-1/0 - 25 KV – XLP – 133%	CIRCUITO ALIMENTADOR:	RES-27 CFE
DISTRIBUCIÓN:	SISTEMA RADIAL EXPANDIDO	MVA <sub>acc</sub> TRIFÁSICO PUNTO DE CONEXIÓN:	199.1 MVA
No. SUBESTACIONES UNIT. EXISTENTES:	3	X/R FALLA TRIFÁSICA:	3.41
		MVA <sub>acc</sub> MONOFÁSICO PUNTO DE CONEXIÓN:	48.94
		X/R FALLA MONOFÁSICA:	2.88

## 6.2. PREMISAS DE DISEÑO

Algunas de las consideraciones incluidas en las bases de diseño fueron hechas por el cliente y tuvieron un alto grado de influencia en el desarrollo del diseño:

1. Considerar una ampliación del sistema radial expandido y el aumento de carga del sistema, para evaluar la capacidad del mismo.
2. El diseño deberá considerar la disminución del consumo de energía y mantener un desempeño confiable del sistema.
3. Evaluar el impacto del aumento de carga en el nivel de cortocircuito, con el fin de establecer si en el futuro próximo será necesario realizar cambios considerables en los buses y equipos de media tensión de la planta.
4. Definir el calibre mínimo de cables que deberá ser utilizado en la planta.
5. Verificar el completo cumplimiento de la normatividad nacional.

Otros elementos de las bases de diseño no son tratados en el contexto de este trabajo.

## 6.3. PLANEACIÓN DEL SISTEMA

Con base al requerimiento del cliente y a los criterios establecidos en el capítulo 2, se evaluaron varios aspectos:

- Posición del nuevo edificio de proceso respecto a las subestaciones
- Capacidad disponible en cada una de las subestaciones existentes
- Carga estimada para el nuevo edificio de proceso

La determinación final fue instalar una nueva subestación unitaria para atender específicamente el nuevo edificio de proceso. La nueva subestación será parte integral del sistema radial expandido existente.

### 6.3.1. ESTIMACIONES DE CARGA Y DEMANDA MÁXIMA

Las cargas a instalar fueron definidas por el cliente en el listado de equipos preparado por el área de ingeniería de proceso. Los datos suministrados por el cliente son tratados por medio de una hoja de cálculo en la cual los datos de entrada para cada una de las cargas son: Voltaje, Corriente a plena carga, factor de demanda, potencia activa, factor de potencia y eficiencia. Los datos de entrada y los resultados obtenidos son mostrados en el **Anexo A. Cálculo de Demanda**. En La tabla 6.2 se resumen los criterios usados para la asignación de características de las cargas.

**Tabla 6.2.** Criterios para la asignación de datos de entrada

Dato de Entrada (*)	Criterio Aplicado
Eficiencia [13]	Dato de operación suministrado por el cliente
Factor de potencia [14]	Dato suministrado por el fabricante
Corriente a plena carga de motores [15]	De acuerdo a NOM [B11] y NEC [B12], sección 430-250 y 430.250 respectivamente, ya que por ser equipos reutilizados no se cuenta con datos precisos de fabricante.
Corriente a plena carga de otros equipos diferentes a motores [15]	Mediante las ecuaciones 3.1. y 3.2 de la tabla 3.1
Factor de demanda [19]	Dato de operación suministrado por el cliente
Factor de coincidencia [20]	85% según datos de operación de la planta
Parámetros nominales de cables (R, X)	Tomados de NOM [B11] y NEC [B12]
(*) Los números en corchete indican el número de columna correspondiente en el Anexo A. Cálculo de Demanda	

Los datos de entrada son tratados conforme a lo descrito en el capítulo 3. En la tabla 6.3 se presenta un resumen de la demanda máxima del nuevo edificio de proceso:

**Tabla 6.3.** Demanda máxima estimada

NIVELES DE TENSIÓN (V) [25]	POTENCIA INSTALADA (KW) [26]	POTENCIA INSTALADA (KVA) [27]	POTENCIA INSTALADA (KVAR) [28]	DEMANDA MÁXIMA (KW) [29]	DEMANDA MÁXIMA (KVAR) [30]	DEMANDA MÁXIMA (KVA) [31]	FP [32]	FCO [33]	POTENCIA TOTAL DEMANDADA (KVA) [34]
460	2,549.5	2,896.5	1,366.8	1,628.2	872.7	1,847.3	0.89	0.85	2,014
220	214.4	229.0	71.7	167.8	50.3	167.1			
FP: Factor de potencia del sistema FCO: Factor de coincidencia del grupo de cargas									

Otros elementos del Anexo A serán abordados más adelante.

### 6.3.2. NIVELES DE TENSIÓN REQUERIDOS

De acuerdo a los requerimientos del proceso, los niveles de tensión requeridos se resumen en la siguiente tabla:

**Tabla 6.4.** Niveles de Tensión requeridos

DISTRIBUCIÓN PRIMARIA	23,000 V
DISTRIBUCIÓN SECUNDARIA	460 V
EQUIPOS DE FUERZA PARA PARA PROCESO	460 V
ILUMINACIÓN Y CONTACTOS	220 V
CIRCUITOS DE USO GENERAL	127 V

### 6.4. DISEÑO BÁSICO DEL SISTEMA ELÉCTRICO

En este trabajo no se profundizará en los detalles de los cálculos básicos de ingeniería. La tabla 6.5. muestra un resumen del procedimiento de cálculo y los criterios considerados, en el orden en que fueron llevados a cabo. Los datos son tratados en una hoja de cálculo que da como resultado resultados las corrientes máximas esperadas, caídas máximas de tensión, pérdidas por disipación de energía y restricciones de los cables ante las corrientes de falla. Los resultados se muestran en el Anexo B. Cálculo de Circuitos en Baja Tensión.

**Tabla 6.5.** Procedimiento básico de diseño

<b>Paso 1</b>	Seleccionar factores de corrección de capacidad de conducción en cables de acuerdo a los lineamientos de [B11] y [B12] sección 310.15(B)(3)(A)	Columna 11
<b>Paso 2</b>	Seleccionar factores de corrección de capacidad de conducción de cables para temperatura ambiente diferentes a 30 °C de acuerdo a lo establecido en [B11] y [B12], sección 310-15(B)(2)(A)	Columna 12
<b>Paso 3</b>	Calcular la corriente de diseño en los conductores haciendo uso de la tabla 3.2.	Columna 13
<b>Paso 4</b>	Obtener la capacidad requerida en los conductores, aplicando los factores mencionados en A y C y haciendo uso de la ecuación 3.6	Columna 14
<b>Paso 5</b>	Establecer el calibre mínimo requerido para los conductores basado en la capacidad de corriente requerida en el paso D y teniendo en cuenta las capacidades normativas o de fabricante en cables comerciales	Columna 15
<b>Paso 6</b>	Calcular las capacidades nominales de las protecciones eléctricas con base a los criterios establecidos en la sección 3.4	Columnas 28 y 29

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL

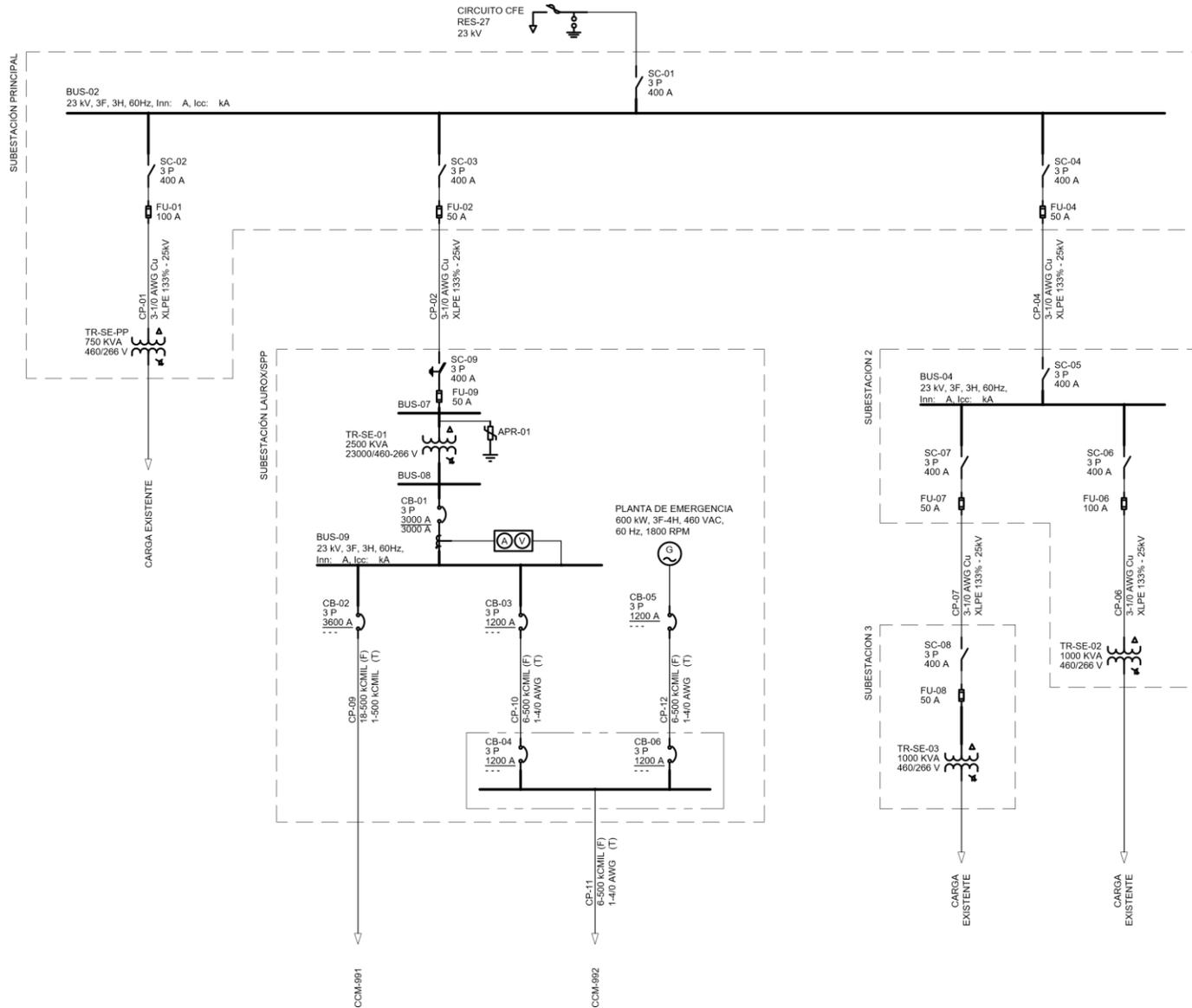


Figura 6.1. Diagrama unifilar general de la planta industrial

La estimación de los flujos de carga para este sistema se presenta en las columnas 21 a 24 del Anexo A y para el caso específico del CCM-991 y el CCM-992; los resultados del cálculo se indican en el Anexo B. Cálculo de Circuitos en Baja Tensión. El Factor de Demanda **FD = 0.75** y el Factor de Coincidencia **FCO = 0.85** fueron deducidos a partir de los datos suministrados por el cliente.

Una simulación digital se utilizó para comparar los resultados, los cuales resultaron ser similares. El método de simulación digital usado es el de Newton-Raphson y los resultados de las dos técnicas de cálculo son comparados en la tabla 6.6.

**Tabla 6.6.** Demandas máximas calculadas

EQUIPO	RESULTADO ANALÍTICO (EVALUACIÓN DE CARGAS) $I_{MÁX} = FD.FCO.IFL$	RESULTADO COMPUTACIONAL (MÉTODO DE NEWTON-RAPHSON)
CCM-991	$I_{MÁX\ CCM-991} = (0.75) \times (0.85) \times (2,958) = 1,886\ A$	2,045 A
CCM-992	$I_{MÁX\ CCM-992} = (0.75) \times (0.85) \times (945) = 602\ A$	660 A
TR-SE-01	$I_{MÁX\ TR-SE-01} = \frac{2,014\ KVA}{\sqrt{3}(0.46\ KV)} = 2,528\ A$	2,704 A

Para sistemas interconectados, donde la potencia fluye desde diferentes fuentes; es conveniente aplicar las técnicas de solución descritas en la sección 4.2.

Los flujos de carga obtenidos mediante simulación digital se presentan en el Anexo C.

## 6.5. ANÁLISIS DE FLUJOS DE POTENCIA PARA LA VALIDACIÓN DEL DISEÑO

En este punto, el análisis está orientado a la evaluación del desempeño de cables, buses y equipos definidos en el diseño básico. El diseño es válido si cumple con las premisas establecidas en las bases de diseño, de las cuales; algunas son de tipo normativo y otras de tipo técnico y económico.

### 6.5.1. Capacidad Nominal de Transformador y CCMs

En la tabla 6.7 se puede observar el valor requerido por la normatividad, este valor debe ser ajustado a un valor comercial el cual se relaciona en la tabla como especificación inicial y a su vez se ajusta para tener un valor marginal del 80% de carga inicial en el TR-SE-01, CCM-991 y CCM-992.

**Tabla 6.7.** Verificación del diseño básico con base al análisis de flujos de carga

DESCRIPCIÓN	REQUERIMIENTO (NOM-001-SEDE-2012)	ESPECIFICACIÓN			
		INICIAL	CARGA %	AJUSTADA	CARGA %
POTENCIA NOMINAL TR-SE-01 [KVA]	2,014	2,500	80.56	2,500	80.56
CORRIENTE NOMINAL CCM-991 [A]	2,371.2	2,500	94.85	3,200	74.10
CORRIENTE NOMINAL CCM-992 [A]	737.2	800	92.15	1,200	61.43

### 6.5.2. Capacidad de Corriente y Pérdidas de Energía en Cables

Los flujos de carga presentados en el Anexo A y el Anexo C permiten verificar que cada uno de los circuitos derivados y alimentadores cuyos calibres son calculados y presentados en el Anexo B, cumplen con la capacidad de corriente establecida en la normatividad mexicana.

Por otra parte, se calcularon las pérdidas por disipación de energía en cada uno de los alimentadores de CCM y en los circuitos derivados, con el fin de determinar estrategias para un mejor rendimiento de las instalaciones eléctricas. Los cálculos de las pérdidas de energía en cables se muestran en el Anexo B, en la columna 23.

Mediante los flujos de carga, se evaluaron las pérdidas de energía en cables con los calibres justos calculados para cumplir con los requerimientos de [B11] y [B12], posteriormente; teniendo en cuenta que un aumento en el calibre puede disminuir las pérdidas de energía por Efecto Joule y por caída de tensión, se aumentaron los calibres de los circuitos derivados de equipos pequeños (estos representan más del 80% de los circuitos en el sistema analizado); a continuación se analizó el resultado de los flujos de carga para determinar las nuevas pérdidas de energía.

En la tabla 6.8 se resumen los resultados para los circuitos que habían sido especificados con calibre 12 AWG y que posteriormente sus conductores fueron sustituidos por calibre 10 AWG. Se observa un mejor rendimiento en el consumo energético para el calibre 10.

**Tabla 6.8.** Comparativo de pérdidas de energía

CALIBRE DE CIRCUITOS RAMALES (AWG)	PÉRDIDAS CCM-991 (KW)	PÉRDIDAS CCM-992 (KW)
12	22.2	7.7
10	20.0	7.1
DIFERENCIA	-11.00%	-8.45%

Para este caso particular, se observa como el reemplazo del calibre 12 AWG (Obtenido según el requerimiento NEC [B12]), por calibre 10 AWG en circuitos derivados, disminuye hasta en un 11% las pérdidas por Efecto Joule. Cuanto más representativas sean las cargas pequeñas en un CCM, mayor será el porcentaje de ahorro energético.

Un resultado como este, permitió establecer el calibre 10 AWG como tamaño mínimo de conductor para circuitos de pequeños equipos, haciendo una valoración razonable entre costo y beneficio.

### **6.5.3. Pérdidas de Energía por Caída de Tensión**

Los resultados mostrados en el Anexo B, columna 25; son corroborados por los resultados de la simulación digital que se muestra en el Anexo C. Se observa también el cumplimiento de los requerimientos de la normatividad [B11].

La diferencia entre los resultados obtenidos con el método analítico y la simulación digital, radica en que en la hoja de cálculo se usan los valores máximos de R y X permitidos por [B11] y [B12], mientras que en el programa de cálculo computacional ETAP se utilizan los valores de parámetros de fabricante.

## **6.6. CÁLCULO Y ANÁLISIS DE CORTOCIRCUITO**

En el Capítulo 5 se describieron tres métodos de cálculo de corrientes de falla que pueden ser implementados de manera analítica en el sistema objeto de análisis. La aplicación del procedimiento se explica en las siguientes secciones.

### **6.6.1. MODELO DE CÁLCULO**

Para la red del caso de estudio, se aplicó el método de las componentes simétricas. La solución se obtiene con base en el análisis de la red, mediante teoremas y leyes bien conocidas de los circuitos eléctricos. Las consideraciones, criterios e implicaciones que se tuvieron en cuenta para el caso de estudio, se listan en la tabla 6.9.

**Tabla 6.9.** Consideraciones y sus implicaciones para la elaboración del modelo

<b>Consideración</b>	<b>Implicación</b>
Las cargas estáticas no contribuyen a las corrientes de falla y cortocircuito, por lo tanto, se excluyen.	Excluir las cargas de iluminación, contactos, controladores con frenado dinámico y otros similares.
Las cargas preexistentes deben ser analizadas para determinar su grado de contribución a las corrientes de falla y cortocircuito.	Las cargas preexistentes del sistema a analizar están compuestas en un 80% de carga motriz, según datos de operación de la planta.

Consideración	Implicación
Un grupo de cargas puede ser reemplazado por una única carga equivalente de acuerdo con IEEE/ANSI C37 [B7]	Las cargas conectadas a tableros, CCMs, paneles y otros similares se representan por una única impedancia de secuencia equivalente.
En el modelo se deben representar todos los elementos que contribuyan o limiten las corrientes de falla.	El sistema de suministro, máquinas rotativas, transformadores y cables, fueron convertidos a impedancias de secuencia.

Para el caso de estudio, el modelo de cálculo se hizo de la siguiente manera:

- a) Se crearon tres redes de secuencia: Positiva, negativa y cero (homopolar).
- b) Los parámetros de secuencia, que originalmente están dados en Ohms; fueron pasados al sistema por unidad.

Los parámetros de secuencia de los componentes del circuito se obtuvieron a partir de datos de fabricante y se relacionan en el ANEXO D.

### 6.6.2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO

La red de secuencia positiva es usada para calcular la corriente de cortocircuito trifásico mientras que la red de secuencia cero se usa para calcular la corriente de falla monofásica a tierra. La metodología analítica aplicada a cada una de las redes de secuencia, se resume a continuación:

#### ***Paso 1. Definir los valores base de tensión, potencia y corriente***

$$V_{BASE} = 23 \text{ KV}$$

$$S_{BASE} = 100 \text{ MVA}$$

$$Z_{BASE} = \frac{V_{BASE}^2}{S_{BASE}} = \frac{(23 \text{ KV})^2}{100 \text{ MVA}} = 5.29 \Omega$$

$$I_{BASE|23 \text{ KV}} = \frac{S_{BASE}}{\sqrt{3} V_{BASE}} = \frac{100 \text{ MVA}}{(\sqrt{3})(23 \text{ KV})} = 2,510 \text{ A}$$

#### ***Paso 2. Establecer los parámetros de secuencia de cada componente del modelo***

Para las subestaciones existentes se obtienen los datos listados en la tabla 6.10.

**Tabla 6.10.** Reactancias de secuencia de los elementos de la red

Punto de conexión de la planta industrial a la red de suministro	$MVA_{CC\ 3\phi} = 199.1$ $X_1/R_1 = 3.41$ $MVA_{CC\ 1\phi} = 48.94$ $X_0/R_0 = 2.88$
Carga en subestación SE-PP: 80% motriz – 600 kVA, 460 V	$X_d'' = X_1 = 0.20$ De acuerdo a lo permitido por [B5] y [B7] como se indica en la tabla 4.8
Carga en subestación SE-02: 80% motriz – 800 kVA, 460 V	$X_d'' = X_1 = 0.20$ De acuerdo a lo permitido por [B5] y [B7] como se indica en la tabla 4.8
Carga en subestación SE-03: 80% motriz – 800 kVA, 460 V	$X_d'' = X_1 = 0.20$ De acuerdo a lo permitido por [B5] y [B7] como se indica en la tabla 4.8

Para los cables se toma  $R_0$ ,  $X_0$ ,  $R_1$  y  $X_1$  suministrado por el fabricante.

La tabla 6.11. contiene los valores obtenidos para los cables de media tensión:

**Tabla 6.11.** Parámetros de secuencia para cables de media tensión

CABLE	L (m)	$R_0$ ( $\Omega$ )	$X_0$ ( $\Omega$ )	$X_0/R_0$	$Z_0$ ( $\Omega$ )	$R_1=R_2$ ( $\Omega$ )	$X_1 = X_2$ ( $\Omega$ )	$X_1/R_1$	$Z_1 = Z_2$ ( $\Omega$ )
CP-00	25	0.01110	0.00868	0.782	0.01409	0.00335	0.00243	0.724	0.0041
CP-04	280	0.12432	0.09716	0.782	0.15778	0.03752	0.02716	0.724	0.0463
CP-06	220	0.09768	0.07634	0.782	0.12397	0.02948	0.02134	0.724	0.0364
CP-07	320	0.14208	0.11104	0.782	0.18032	0.04288	0.03104	0.724	0.0529
CP-08	280	0.12432	0.09716	0.782	0.15778	0.03752	0.02716	0.724	0.0463
CP-09	8	0.00073	0.00094	1.293	0.00119	0.00023	0.00038	1.655	0.0004
CP-10	12	0.00110	0.00142	1.293	0.00179	0.00035	0.00058	1.655	0.0007
CP-11	15	0.00137	0.00177	1.293	0.00224	0.00044	0.00072	1.655	0.0008

Las relaciones X/R y las impedancias Z se obtienen por cálculos y son necesarias para poder hacer el cambio de base.

Las impedancias de secuencia para los cables y cargas en baja tensión se muestran en el ANEXO D.

### **Paso 3. Convertir las impedancias a la base seleccionada**

Todas las impedancias son divididas por la impedancia base, con lo cual se obtiene la  $Z_{PU}$ . Dado que se conoce  $X/R$  en cualquier caso es posible determinar  $X_{PU}$  y  $R_{PU}$  de la siguiente manera:

$$R_{PU} = \frac{Z_{PU}}{\sqrt{1 + \left(\frac{X}{R}\right)^2}} \quad (6.1)$$

$$X_{PU} = \left(\frac{X}{R}\right) \cdot R_{PU} \quad (6.2)$$

Aplicando las ecuaciones (6.1) y (6.2) todos los parámetros de secuencia de los cables son llevados a la nueva base de cálculo. Por otro lado, los transformadores y motores son llevados a la nueva base de acuerdo a las expresiones:

$$Z_{PU}^* = Z_{PU} \left(\frac{S^*}{S}\right) \quad (6.3)$$

Donde,

S\*: Potencia base nueva [KVA]

S: Potencia nominal del equipo en la base actual [KVA]

La tabla 6.12 muestra los resultados del cambio de base para los transformadores.

**Tabla 6.12.** Parámetros de secuencia para los transformadores

<b>TRANSFORMADOR</b>	<b>Z%</b>	<b>S<sub>BASE</sub> (MVA)</b>	<b>S<sub>BASE</sub> NUEVA (MVA)</b>	<b>Z<sub>0</sub> = Z<sub>1</sub> (pu)*</b>	<b>X<sub>0</sub>/R<sub>0</sub> = X<sub>1</sub>/R<sub>1</sub></b>	<b>R<sub>0</sub> = R<sub>1</sub> (pu)*</b>	<b>X<sub>0</sub> = X<sub>1</sub> (pu)*</b>
<b>TR-SE-PP</b>	6.75	0.750	100	9.00	3.96	2.20355	8.72607
<b>TR-SE-02</b>	6.75	1.000	100	6.75	5.79	1.14880	6.65152
<b>TR-SE-03</b>	6.75	1.000	100	6.75	5.79	1.14880	6.65152
<b>TR-SE-01</b>	6.00	2.500	100	2.40	5.79	0.40846	2.36499

Los cálculos para los motores de baja tensión, se presentan en el ANEXO D.

**Paso 4. Calcular las corrientes de falla y cortocircuito en el punto de conexión de la subestación unitaria BUS-02**

Se conocen los niveles de cortocircuito en el punto de conexión de la planta industrial, sin embargo; hace falta conocer dichos valores en el punto de conexión de la nueva subestación unitaria el cual es el BUS-02.

**6.6.2.1. CORRIENTE DE FALLA TRIFÁSICA EN BUS-02**

La red mostrada en la figura 6.2a es el modelo de secuencia positiva del sistema eléctrico existente. El método de solución consiste en obtener la impedancia de secuencia positiva equivalente en el BUS-02 de la subestación SE-PP. La red es reducida a su equivalente como se indica en la figura 6.2.b, de donde se deducen los siguientes resultados:

Impedancia de secuencia positiva equivalente:

$$Z_1 = 0.13765 + j0.46290 = 0.48293 \angle 73.4^\circ \text{ pu}$$

Corriente de cortocircuito trifásica en la nueva base:

$$I_{CC\ 3\phi\ PU} = \frac{1.0}{Z_1} = \frac{1.0}{0.48293 \angle 73.4^\circ} = 2.07 \angle -73.4^\circ \text{ pu}$$

El resultado debe darse en la base nominal del circuito, para lo cual usamos la corriente base:

$$I_{CC\ 3\phi} = (I_{CC\ 3\phi\ PU}) \cdot I_{BASE} = (2.07 \angle -73.4^\circ)(2.51 \text{ kA}) = 5.196 \angle -73.4^\circ \text{ kA}$$

La relación X/R se calcula como:

$$\frac{X_1}{R_1} \cong 3.36$$

El resultado obtenido es coherente con el mostrado por el cálculo mediante simulación digital del método IEEE/ANSI C37 [B7] en ETAP, el cual puede verse subrayado en la figura 6.3. Se observa además la similitud en los resultados de la impedancia equivalente vista en el punto de falla.

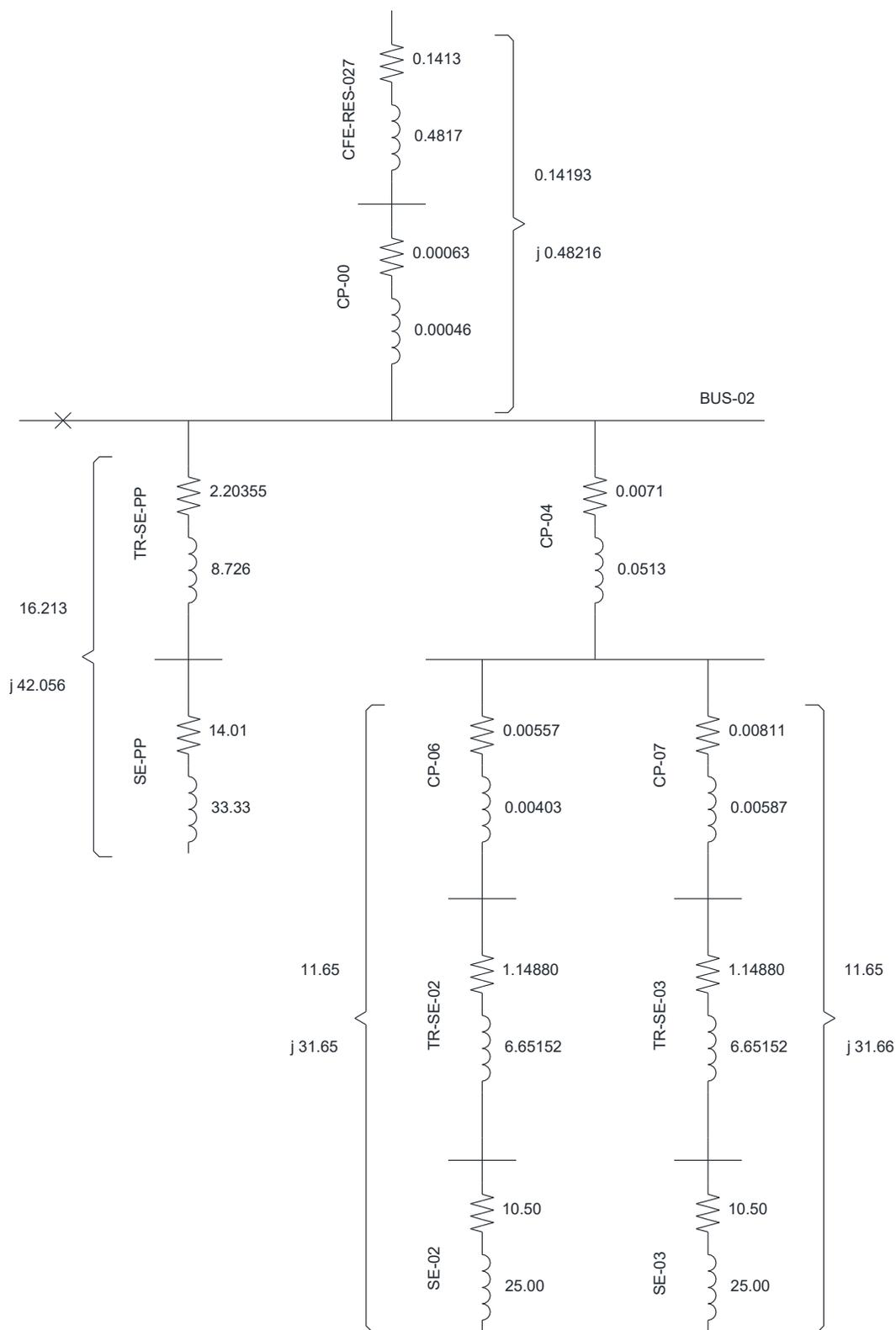


Figura 6.2a. Red de secuencia positiva del sistema existente

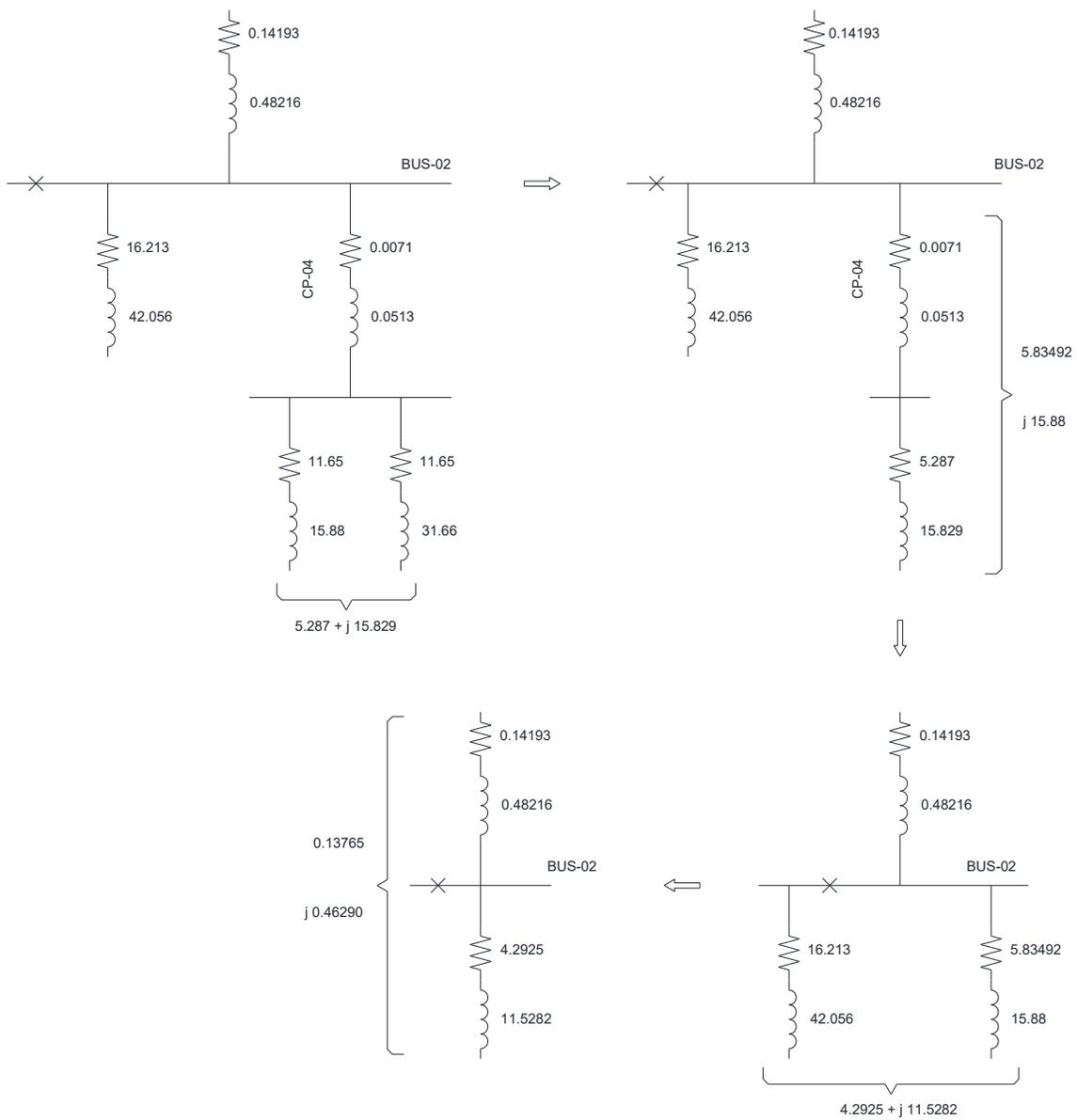


Figura 6.2b. Equivalente de Thévenin de secuencia positiva del sistema existente

<u>REPORTE DE CORTOCIRCUITO</u>													
Falta en Barra: <b>BUS-02</b>													
Tensión pre-falta = 23.000 kV													
= 100.00 % de kV nominal de barra ( 23.000 kV)													
= 100.00 % de kV base ( 23.000 kV)													
Contribución		Falta Trifásica			Falta Línea-a-Tierra				Impedancias de Secuencia Positiva y Cero Observando en "Barra Origen"				
Barra Origen ID	Barra Destino ID	% V Barra Orige	kA rms Sim.	% Tensión en Barra Origen			kA Sim. rms		% Impedancia en Base 100 MVA				
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0	
BUS-02	Total	0.00	5.196	0.00	115.13	117.72	3.752	3.752	1.38E+001	4.63E+001	3.43E+001	9.83E+001	
BUS-01	BUS-02	0.15	4.992	0.20	115.11	117.63	3.654	3.752	1.42E+001	4.82E+001	3.43E+001	9.83E+001	
BUS-04	BUS-02	0.05	0.149	0.02	115.13	117.74	0.072	0.000	5.84E+002	1.58E+003			
BUS-E01	BUS-02	19.97	0.056	72.85	73.11	100.00	0.027	0.000	1.62E+003	4.21E+003			

Figura 6.3. Resultado de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-02

### 6.6.2.2. CORRIENTE DE FALLA MONOFÁSICA EN BUS-02

La red de secuencia cero es sencilla ya que para una conexión de transformador Delta-Estrella, las corrientes de secuencia cero de un lado del transformador no se ven reflejadas en el otro lado; de manera que la falla en el lado de media tensión no tiene aportes del lado de baja tensión y viceversa.

La figura 6.4a deja ver la red de secuencia cero para falla en el punto de conexión de la nueva subestación unitaria SE-01, teniendo en cuenta únicamente los elementos que afectan la corriente de secuencia cero.

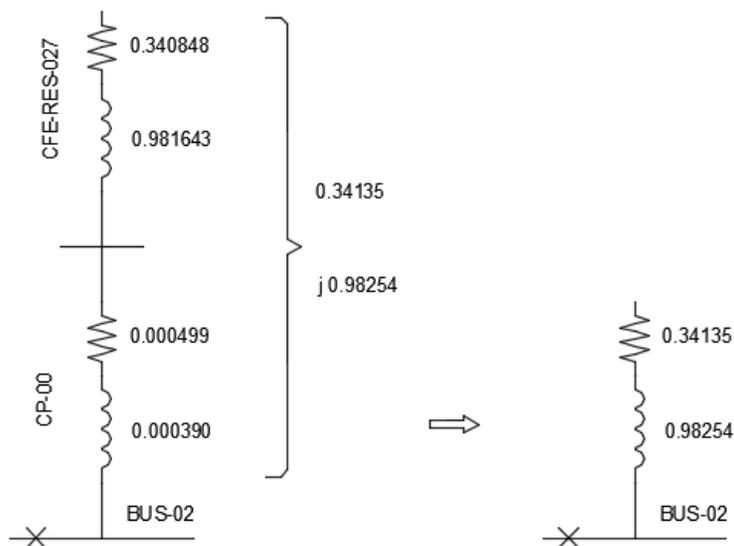


Figura 6.4a. Equivalente Thévenin de Secuencia Cero del sistema eléctrico existente

De la red equivalente simplificada se obtiene:

$$Z_0 = 0.34135 + j0.98254 = 1.04 \angle 70.8^\circ$$

$$\frac{X_0}{R_0} \cong 2.88$$

El circuito equivalente obtenido con el método de las componentes simétricas, para el cálculo de la corriente de secuencia cero; es mostrado en la figura 6.4b.

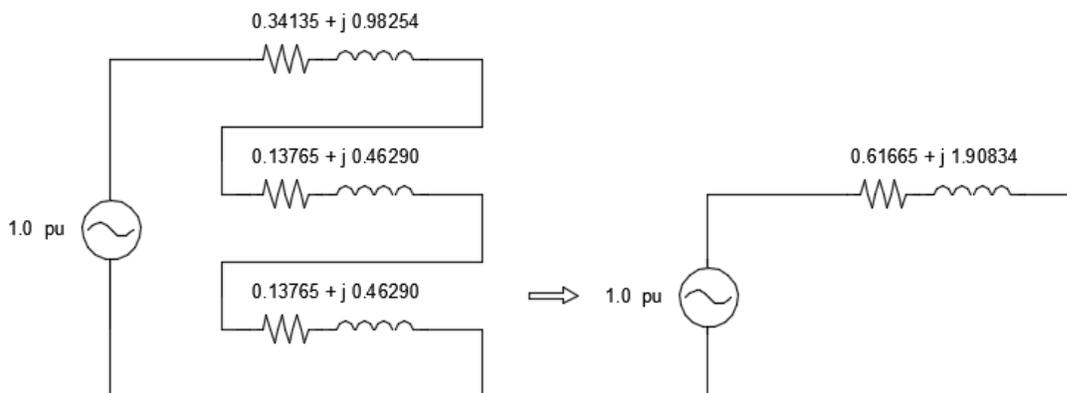


Figura 6.4b. Circuito equivalente para el cálculo de la corriente de secuencia cero

Resolviendo el circuito equivalente, se obtienen los siguientes resultados:

$$I_0 = \frac{E_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = \frac{1.0}{0.61665 + j1.90834} = \frac{1.0}{2.0055 \angle 72.1^\circ} = 0.498 \angle -72.1^\circ \text{ pu}$$

La corriente de falla monofásica calculada es:

$$|I_{CC\ 1\phi}| = 3|I_0| = 3(0.498) \cong 1.496 \text{ pu}$$

En la base nominal del circuito, el resultado para la corriente de falla monofásica es la siguiente:

$$|I_{CC\ 1\phi}| = |I_{CC\ 1\phi}|_{PU} \cdot I_{BASE} = (1.496) \cdot (2.51) \cong 3.756 \text{ kA}$$

Los resultados analíticos comparados con los resultados obtenidos con ETAP y mostrados en la figura 6.3, son similares.

**Paso 5. Obtener los equivalentes de cortocircuito en el punto de conexión de la nueva subestación unitaria:**

En la tabla 6.13. se resumen los resultados para el sistema, en el punto de conexión:

**Tabla 6.13.** Parámetros equivalentes para el sistema existente

Impedancia de secuencia positiva vista en el punto de conexión	$Z_1 = 0.13765 + j0.46290 = 0.48293 \angle 73.4^\circ$
Relación $X_1/R_1$ en el punto de conexión	$\frac{X_1}{R_1} \cong 3.36$
Impedancia de secuencia cero vista en el punto de conexión	$Z_0 = 0.61665 + j1.90834 = 2.0055 \angle 72.1^\circ$
Relación $X_0/R_0$ en el punto de conexión	$\frac{X_0}{R_0} \cong 2.88$

**Paso 6. Obtener el valor de intensidad de corriente de cortocircuito trifásico y falla monofásica con la nueva carga conectada en BUS-02**

La impedancia de secuencia positiva obtenida en el paso anterior es ahora equivalente del sistema. La red mostrada en la figura 6.5a es el modelo de cálculo para la obtención de la nueva corriente de falla en el BUS-02. Allí las impedancias de los circuitos ramales que contribuyen a la corriente de cortocircuito en cada uno de los CCM han sido simplificadas y reducidas a una impedancia equivalente para cada CCMs de acuerdo con [B7].

- ✓ Las impedancias de cada circuito ramal de los CCMs, son la combinación serie de la impedancia de secuencia positiva del equipo generador de corriente de cortocircuito y la impedancia de secuencia positiva del cable alimentador desde el bus del CCM, así:

$$Z_{1\text{ RAMAL}_i} = Z_{1\text{ EQUIPO/MOTOR}_i} + Z_{1\text{ CABLE}_i}$$

Donde,

$Z_1$ : Impedancia de secuencia positiva en por unidad

- ✓ Puesto que los circuitos ramales que alimentan los equipos están conectados todos en paralelo a la barra del CCM, las impedancias de los ramales se reducen a una sola:

$$\frac{1}{Z_{1\text{ CCM}_k}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{Z_{1\text{ RAMAL}_i}}$$

Donde,

i: Se refiere al ramal i conectado al BUS del CCM

k: Denota el CCM k

n: Número total de circuitos ramales derivados del bus del CCM

Estas fórmulas simples fueron aplicadas a cada uno de los circuitos ramales para cada CCM, en una hoja de cálculo formulada para realizar las combinaciones serie-paralelo requeridas; dando los resultados que se muestran en el ANEXO D. Un resumen de resultados para los dos CCM del proyecto se presenta a continuación

$$Z_{1\ CCM991} = 4.1834 + j10.4162\ pu$$

$$Z_{1\ CCM992} = 4.7 + j11.667\ pu$$

### 6.6.2.3. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BUS-02 CON LA NUEVA CARGA

De la red de secuencia simplificada mostrada en la figura 6.5 se obtuvieron los siguientes resultados:

Impedancia equivalente de secuencia positiva:

$$Z_1 = 0.13088 + j0.43722 = 0.45639\angle 73.3^\circ\ pu$$

Corriente de cortocircuito trifásica en la nueva base:

$$I_{CC\ 3\phi\ PU} = \frac{1.0}{Z_1} = \frac{1.0}{0.45639\angle 73.3^\circ} = 2.191\angle -73.3^\circ\ pu$$

El resultado debe darse en la base nominal del circuito, para lo cual usamos la corriente base:

$$I_{CC\ 3\phi} = (I_{CC\ 3\phi\ PU}) \cdot I_{BASE} = (2.191\angle -73.3^\circ)(2.51\ kA) = 5.499\angle -73.3^\circ\ kA$$

La relación X/R se calcula como:

$$\frac{X_1}{R_1} \cong 3.34$$

Una vez más, los resultados son comparados con las simulaciones de ETAP mostradas en la figura 6.6. Los resultados son coherentes con los obtenidos mediante simulación digital del método IEEE/ANSI C37 [B7].

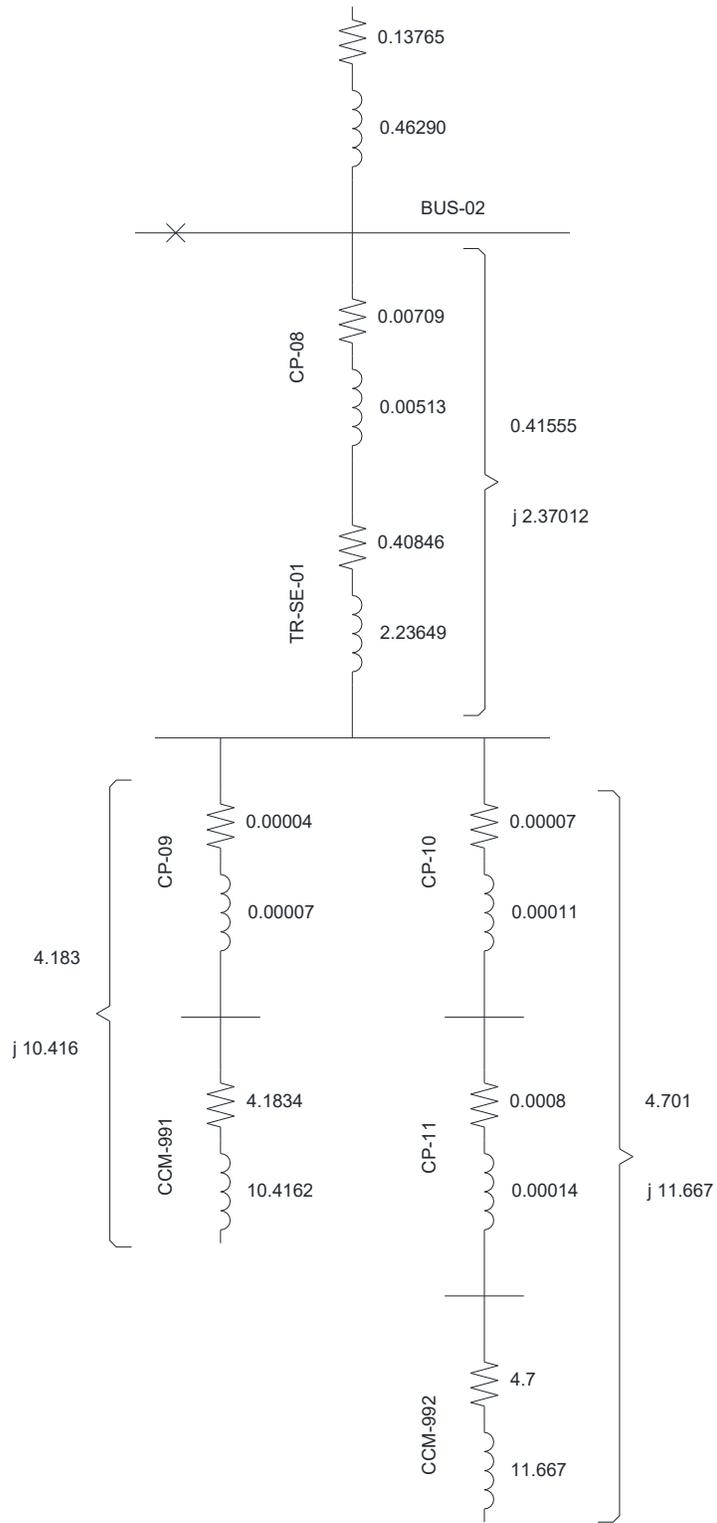


Figura 6.5a. Equivalente de Thévenin de secuencia positiva del sistema incluyendo la nueva carga

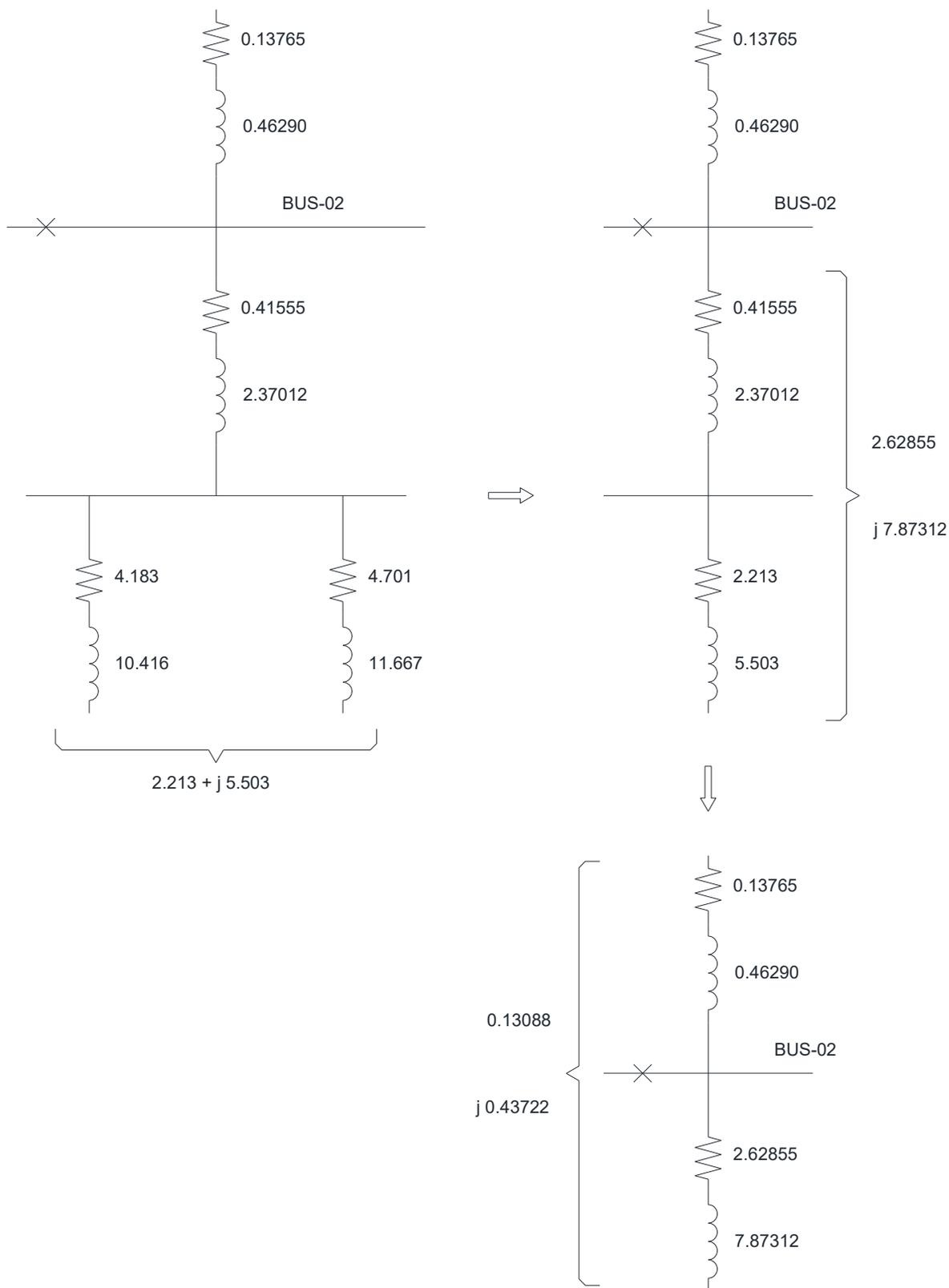


Figura 6.5b. Equivalente Thévenin de secuencia cero incluyendo la nueva carga

**REPORTE DE CORTOCIRCUITO**

Falta en Barra: **BUS-02**  
 Tensión pre-falta = 23.000 kV = 100.00 % de kV nominal de barra (23.000 kV)  
 = 100.00 % de kV base (23.000 kV)

Contribución		Falta Trifásica		Falta Línea-a-Tierra					Impedancias de Secuencia Positiva y Cero Observando en "Barra Origen"			
Barra Origen ID	Barra Destino ID	% V Barra Origen	kA rms Sim.	% Tensión en Barra Origen			kA Sim. rms		% Impedancia en Base 100 MVA			
				Va	Vb	Vc	Ia	I10	R1	X1	R0	X0
BUS-02	Total	0.00	<u>5.449</u>	0.00	116.22	119.03	<u>3.839</u>	3.839	<u>1.29E+001</u>	<u>4.42E+001</u>	<u>3.43E+001</u>	<u>9.83E+001</u>
BUS-01	BUS-02	0.15	4.992	0.20	116.21	118.94	3.623	3.839	1.42E+001	4.82E+001	3.43E+001	9.83E+001
BUS-04	BUS-02	0.05	0.149	0.02	116.23	119.04	0.070	0.000	5.84E+002	1.58E+003		
BUS-07	BUS-02	0.09	0.255	0.04	116.23	119.05	0.120	0.000	1.91E+002	9.67E+002		
BUS-E01	BUS-02	19.97	0.056	73.52	73.64	99.99	0.026	0.000	1.62E+003	4.21E+003		

Figura 6.6. Resultados de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-02

#### 6.6.2.4. CORRIENTE DE FALLA MONOFÁSICA EN BUS-02 CON LA NUEVA CARGA

Al igual que en el paso 5 de esta sección, la corriente de falla monofásica no recibe aportes de la carga, debido a la conexión Delta-Estrella de los transformadores. La corriente de falla monofásica para el BUS-02 es entonces la misma obtenida anteriormente:

$$|I_{CC\ 1\phi}| = |I_{CC\ 1\phi}|_{PU} \cdot I_{BASE} = (1.496) \cdot (2.51) \cong 3.756\ kA$$

El resultado puede ser corroborado con los resultados de ETAP de la figura 6.6.

#### Paso 7. Obtener las corrientes de cortocircuito y falla a tierra en el bus de media tensión de la nueva subestación unitaria BUS-07

El BUS-07 es de especial importancia porque interactúa directamente con el sistema de puesta a tierra, generando mayor saturación en este; y por lo tanto un aumento considerable del potencial en la superficie del terreno.

#### 6.6.2.5. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BUS-07

El procedimiento utilizado para el cálculo es similar al aplicado en el paso 6, pero ahora el cable limita contribución de corriente desde el BUS-02 que es el mayor aportante. La figura 6.7a. muestra el modelo de cálculo que incluye la representación del sistema visto desde el BUS-02 y de la nueva carga conectada, mientras que el proceso de reducción de la red se muestra en la figura 6.7b.

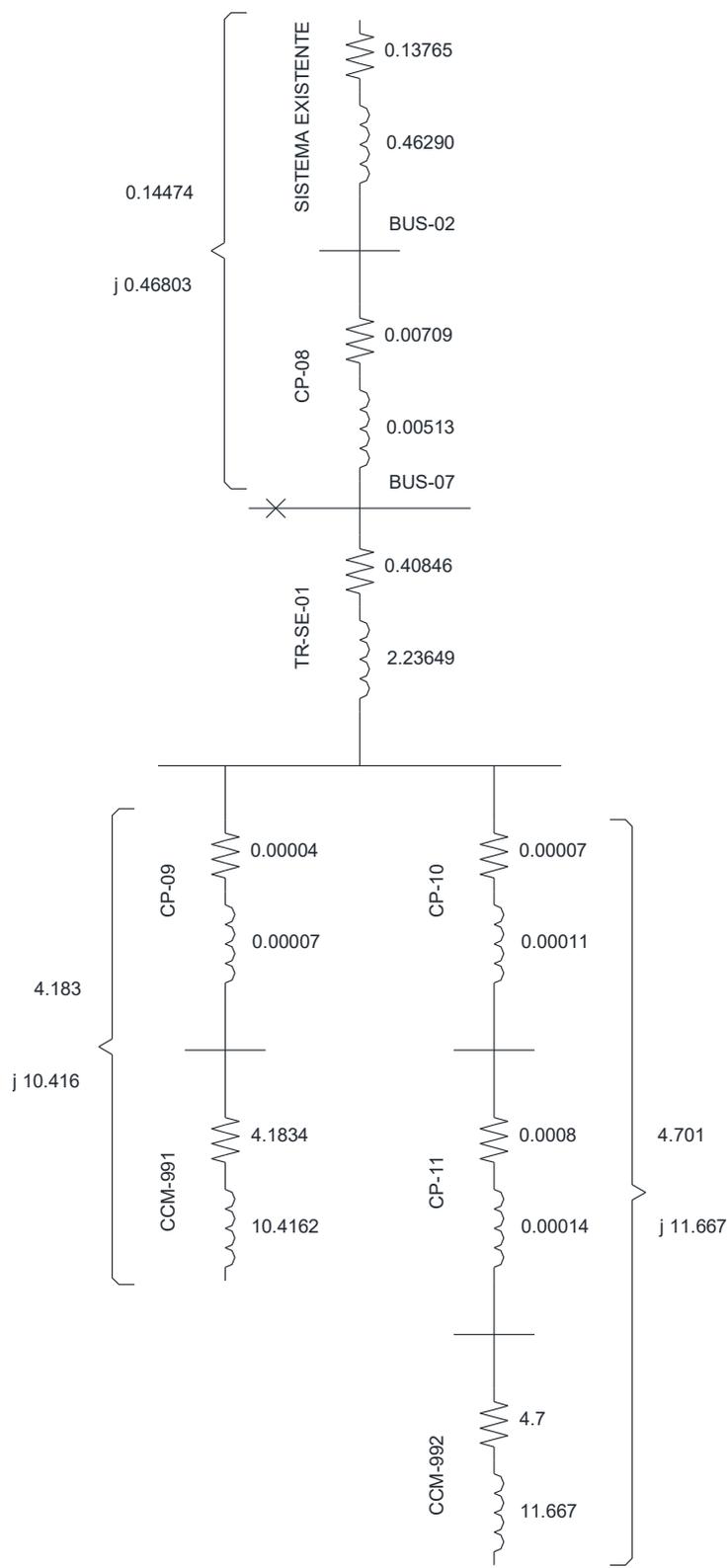


Figura 6.7a. Red de secuencia positiva para falla en BUS-07

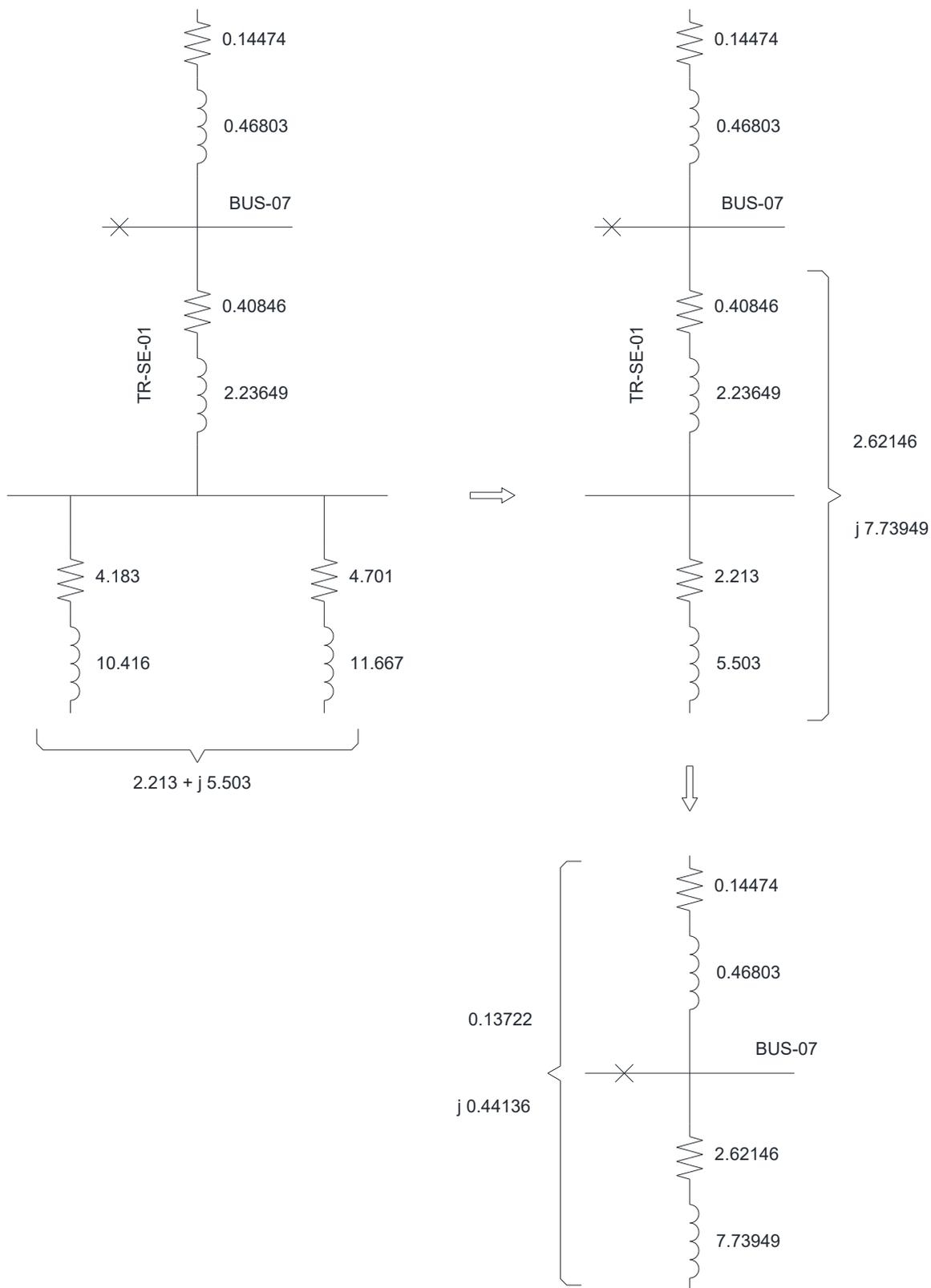


Figura 6.7b. Equivalente Thévenin de secuencia positiva para falla en el BUS-07

De la figura 6.7b se deducen los siguientes resultados:

Impedancia de secuencia positiva equivalente:

$$Z_1 = 0.13722 + j0.44136 = 0.46220 \angle 72.7^\circ pu$$

Corriente de cortocircuito trifásica en la nueva base:

$$I_{CC\ 3\phi\ PU} = \frac{1.0}{Z_1} = \frac{1.0}{0.46220 \angle 72.7^\circ} = 2.163 \angle -72.7^\circ pu$$

El resultado debe darse en la base nominal del circuito, para lo cual usamos la corriente base:

$$I_{CC\ 3\phi} = (I_{CC\ 3\phi\ PU}) \cdot I_{BASE} = (2.163 \angle -72.7^\circ)(2.51\ kA) = 5.429 \angle -72.7^\circ\ kA$$

La relación X/R se calcula como:

$$\frac{X_1}{R_1} \cong 3.22$$

Una comparación con el resultado de ETAP deja ver la coherencia entre los dos métodos.

<u>REPORTE DE CORTOCIRCUITO</u>												
Falta en Barra: <b>BUS-07</b>												
Tensión pre-falta = 23.000 kV												
= 100.00 % de kV nominal de barra (23.000 kV)												
= 100.00 % de kV base (23.000 kV)												
Contribución		Falta Trifásica		Falta Línea-a-Tierra					Impedancias de Secuencia Positiva y Cero Observando en "Barra Origen"			
Barra Origen ID	Barra Destino ID	% V Barra Origen	kA rms Sim.	% Tensión en Barra Origen			kA Sim. rms		% Impedancia en Base 100 MVA			
				Va	Vb	Vc	Ia	I0	R1	X1	R0	X0
BUS-07	Total	0.00	<u>5.376</u>	0.00	116.36	119.41	<u>3.767</u>	3.767	<u>1.35E+001</u>	<u>4.47E+001</u>	<u>3.65E+001</u>	<u>1.00E+002</u>
BUS-02	BUS-07	1.73	5.123	2.26	116.15	118.40	3.648	3.767	1.44E+001	4.68E+001	3.65E+001	1.00E+002
BUS-08	BUS-07	21.98	0.255	74.35	74.31	99.96	0.119	0.000	1.91E+002	9.67E+002		

Figura 6.8. Resultado de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-07

### 6.6.2.6. CORRIENTE DE FALLA MONOFÁSICA EN BUS-07

La figura 6.9. representa la red de secuencia cero para falla en el BUS-07 el cual corresponde a las terminales de media tensión del transformador de la nueva subestación unitaria.

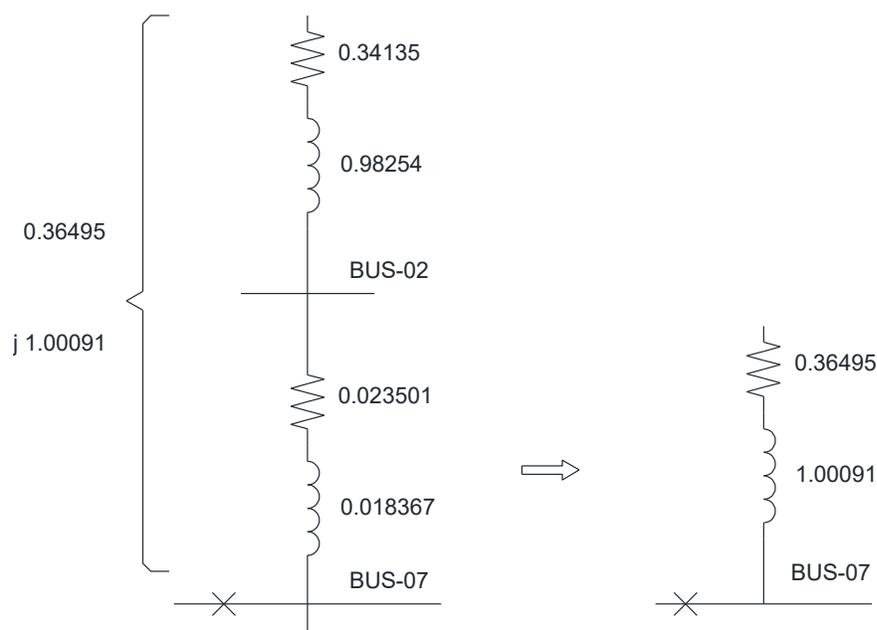


Figura 6.9a. Equivalente Thévenin de secuencia cero para falla en BUS-07

De la red equivalente simplificada se obtiene:

$$Z_0 = 0.36495 + j1.00091 = 1.0653 \angle 70^\circ$$

$$\frac{X_0}{R_0} \cong 2.74$$

El circuito equivalente derivado del método de las componentes simétricas, para el cálculo de la corriente de secuencia cero, es mostrado en la figura 6.9b. Las impedancias de secuencia positiva y negativa son iguales y se obtuvieron en el cálculo de cortocircuito trifásico.

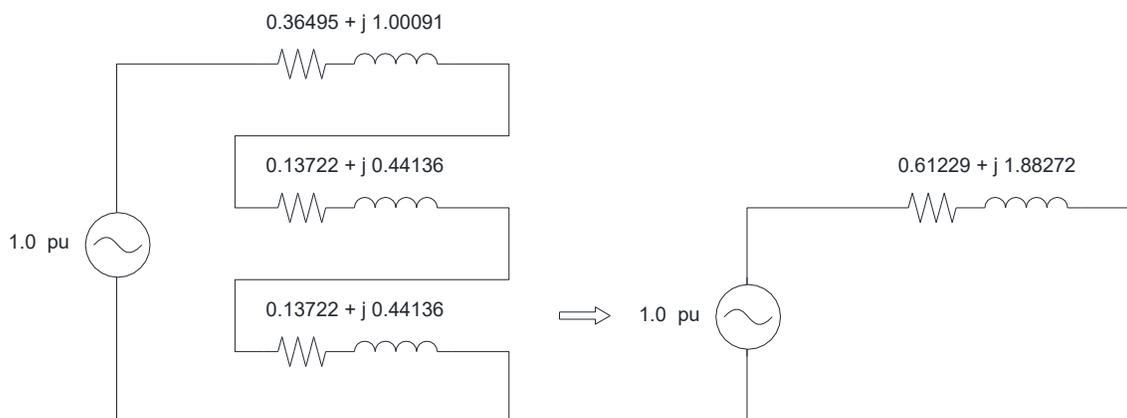


Figura 6.9b. Circuito equivalente para cálculo de  $I_0$

Resolviendo el circuito equivalente, se obtienen los siguientes resultados:

$$I_0 = \frac{E_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = \frac{1.0}{0.61229 + j1.88272} = \frac{1.0}{1.9798 \angle 72^\circ} = 0.5051 \angle -72^\circ \text{ pu}$$

La corriente de falla monofásica calculada es:

$$|I_{CC\ 1\phi}| = 3|I_0| = 3(0.5051) \cong 1.5153 \text{ pu}$$

En la base nominal del circuito, el resultado para la corriente de falla monofásica es la siguiente:

$$|I_{CC\ 1\phi}| = |I_{CC\ 1\phi}|_{PU} \cdot I_{BASE} = (1.5153) \cdot (2.51) \cong 3.803 \text{ kA}$$

Los resultados analíticos comparados con los resultados obtenidos con ETAP y mostrados en la figura 6.8, son similares.

#### 6.6.2.7. CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO TRIFÁSICO EN BUS-08

El BUS-07 es el punto de partida para este cálculo. La impedancia equivalente de secuencia positiva para este bus representa todo el sistema aguas arriba del barraje de alta tensión del transformador. En la figura 6.10 se representa la red de secuencia positiva modelada para el cálculo de falla trifásica en el BUS-08. Como en los pasos anteriores, esta red es reducida a su equivalente de Thévenin.

De la figura 6.10 se obtienen los siguientes resultados:

Impedancia de secuencia positiva equivalente:

$$Z_1 = 0.48429 + j1.82739 = 1.89048 \angle 75.2^\circ \text{ pu}$$

Corriente de cortocircuito trifásica en la nueva base:

$$I_{CC\ 3\phi\ PU} = \frac{1.0}{Z_1} = \frac{1.0}{1.89048 \angle 75.2^\circ} = 0.52897 \angle -75.2^\circ \text{ pu}$$

El resultado debe darse en la base nominal del circuito, para lo cual usamos la corriente base:

$$I_{BASE} = \frac{100 \text{ MVA}}{(\sqrt{3})(0.46 \text{ KV})} = 125.5 \text{ KA}$$

La corriente en esta base es la siguiente:

$$I_{CC\ 3\phi} = (I_{CC\ 3\phi\ PU}) \cdot I_{BASE} = (0.52897 \angle -75.2^\circ)(125.51 \text{ kA}) = 66.39 \angle -75.2^\circ \text{ kA}$$

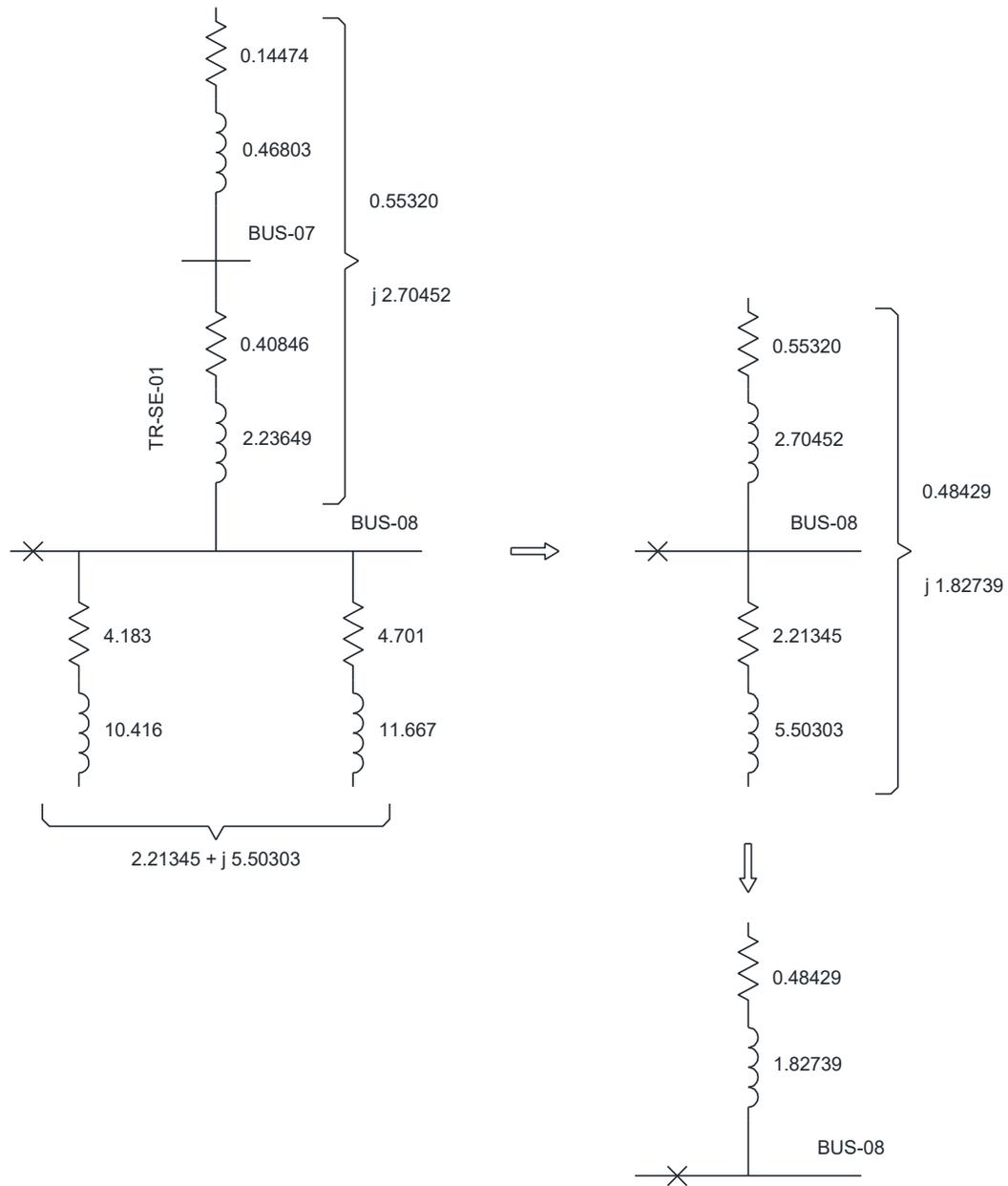


Figura 6.10. Red de secuencia positiva y equivalente de Thévenin para falla en el BUS-08

La relación X/R se calcula como:

$$\frac{X_1}{R_1} \cong 3.77$$

<u>REPORTE DE CORTOCIRCUITO</u>												
Falta en Barra: <b>BUS-08</b>												
Tensión pre-falta = 0.460 kV												
= 100.00 % de kV nominal de barra (0.460 kV)												
= 100.00 % de kV base (0.460 kV)												
Contribución		Falta Trifásica		Falta Línea-a-Tierra					Impedancias de Secuencia Positiva y Cero Observando en "Barra Origen"			
Barra Origen ID	Barra Destino ID	% V Barra Origen	kA rms Sim.	% Tensión en Barra Origen			kA Sim. rms		% Impedancia en Base 100 MVA			
				Va	Vb	Vc	Ia	3I0	R1	X1	R0	X0
BUS-08	Total	0.00	<u>63.651</u>	0.00	103.00	99.67	<u>62.007</u>	<u>62.007</u>	<u>3.04E+001</u>	<u>1.95E+002</u>	<u>2.09E+001</u>	<u>2.13E+002</u>
BUS-07	BUS-08	81.81	47.406	92.37	99.99	90.25	51.128	61.141 *	3.47E+001	2.62E+002	2.02E+001	2.16E+002
BUS-10	BUS-09	0.36	12.648	0.25	103.01	99.75	8.547	0.907	1.98E+002	9.72E+002	5.66E+003	1.35E+004
BUS-11	BUS-09	0.46	3.662	0.30	103.04	99.78	2.376	0.000	1.01E+003	3.27E+003		

Figura 6.11. Resultado de cálculo de cortocircuito en ETAP para el BUS-08

Una comparación de los resultados obtenidos de manera analítica deja ver la coherencia con el resultado de ETAP mostrado en la figura 6.11.

### 6.6.2.8. FALLA MONOFÁSICA A TIERRA EN BUS-08

La figura 6.12a. representa la red de secuencia cero para falla en el BUS-08 el cual corresponde a las terminales de baja tensión del transformador de la nueva subestación unitaria. La corriente de secuencia cero no contiene aportes de las cargas ni del lado primario del transformador TR-SE-01 debido a la conexión delta en el primario, razón por la cual el sistema equivalente es simple.

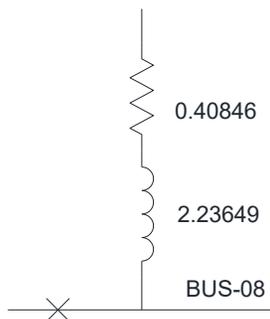


Figura 6.12a. Equivalente de Thévenin de secuencia cero para falla en BUS-08

De la red equivalente simplificada se obtiene:

$$Z_0 = 0.40846 + j2.23649 = 2.27348 \angle 79.7^\circ \text{ pu}$$

$$\frac{X_0}{R_0} \cong 5.48$$

El circuito equivalente derivado del método de las componentes simétricas, para el cálculo de la corriente de secuencia cero, es mostrado en la figura 6.12b. Las impedancias de secuencia positiva y negativa son iguales y se obtuvieron en el cálculo de cortocircuito trifásico.

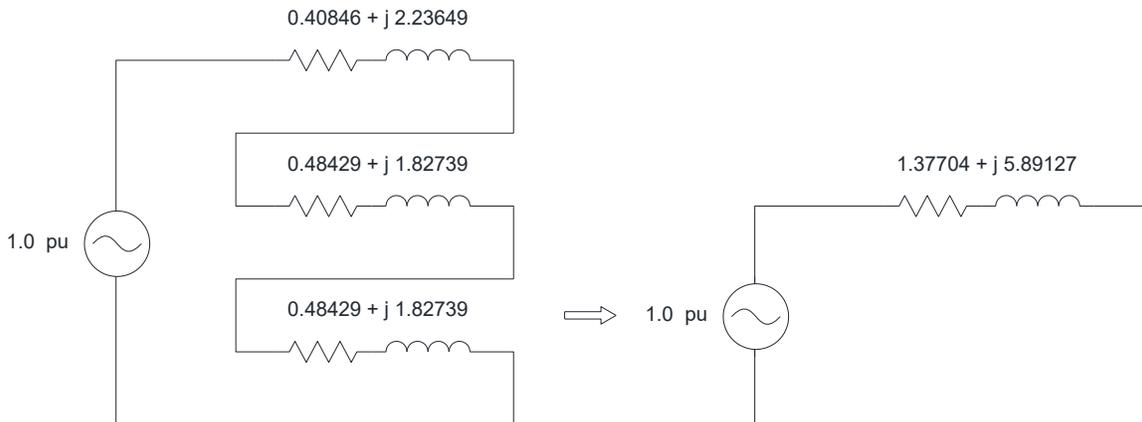


Figura 6.12b. Circuito equivalente para cálculo de  $I_0$

Resolviendo el circuito equivalente, se obtienen los siguientes resultados:

$$I_0 = \frac{E_F}{Z_0 + Z_1 + Z_2} = \frac{1.0}{1.3770 + j 5.8913} = \frac{1.0}{6.05 \angle 76.8^\circ} = 0.1653 \angle -76.8^\circ \text{ pu}$$

La corriente de falla monofásica calculada es:

$$|I_{CC\ 1\phi}| = 3|I_0| = 3(0.16529) \cong 0.49587 \text{ pu}$$

En la base nominal del circuito, el resultado para la corriente de falla monofásica es la siguiente:

$$|I_{CC\ 1\phi}| = |I_{CC\ 1\phi}|_{PU} \cdot I_{BASE} = (0.49587) \cdot (125.5) \cong 62.2 \text{ kA}$$

Los resultados analíticos comparados con los resultados obtenidos con ETAP y mostrados en la figura 6.11, son similares.

### 6.6.3. AUMENTO EN EL NIVEL DE CORTOCIRCUITO

La tabla 6.14 muestra un comparativo de la corriente de cortocircuito antes y después del aumento de carga.

**Tabla 6.14.** Resumen de Resultados Cálculo de Cortocircuito

CARGA INICIAL INSTALADA	2,750	[KVA]
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO INICIAL	5,196	[A]

CARGA FINAL INSTALADA	5,250	[KVA]
CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO FINAL	5,499	[A]
PORCENTAJE DE AUMENTO DE $I_{cc}$	5.83	%

A pesar de un aumento del 90,9 % en la carga conectada, el aumento del nivel de cortocircuito fue de apenas 5.83%.

Los valores calculados nos permiten determinar que el aumento del riesgo para el desempeño, la confiabilidad y el rendimiento del sistema es pequeño. No se necesitará tomar medidas como el cambio de capacidad de cortocircuito en los buses existentes, como se estableció en una premisa de diseño.

#### 6.6.4. EFECTOS DEL CORTOCIRCUITO SOBRE LOS CABLES

El aumento en calibres de conductores que se llevó a cabo como procedimiento de disminución de pérdidas en la sección 6.4.2, trae como beneficio adicional el aumento en la soportabilidad al cortocircuito de los cables.

De acuerdo con la ecuación que relaciona el tiempo máximo de soporte del cortocircuito, la corriente de falla y el área del conductor:

$$t_{m\acute{a}x} = \frac{K \cdot A^2}{I^2}$$

Donde,

K: Constante que depende de las características de fabricación del conductor y su aislamiento

A: Área de sección transversal del conductor [mm<sup>2</sup>]

I: Corriente de cortocircuito [A]

El aumento del calibre de cable incrementa de manera proporcional el tiempo máximo de soporte a la falla. Cada uno de los circuitos ramales mostrados en el Anexo B puede ser analizado de esta manera, observando lo mencionado anteriormente.

#### 6.7. MEJORAS EN EL RENDIMIENTO DEL SISTEMA

En el presente documento, fueron analizados los flujos de carga y las corrientes de cortocircuito con el fin de validar u diseño de ingeniería básica y realizar ajustes al diseño, que permitieran conseguir un mejor desempeño y rendimiento del sistema.

**Tabla 6.15.** Resumen de mejoras al diseño básico

<b>Aspecto</b>	<b>Aplicación del Análisis</b>
Capacidad de buses	Se ajustan los valores basados en normas, con base a la predicción de flujo de carga máximo calculado.
Pérdidas de potencia activa y reactiva en cables	Los calibres de cables obtenidos en el diseño inicial, son redefinidos de acuerdo a los resultados de los flujos de carga, con el fin de reducir las pérdidas de energía por efecto Joule.
Caídas de tensión en conductores	Los calibres de cables son evaluados para determinar el calibre mínimo óptimo requerido para evitar caídas de tensión superiores a las permitidas por la normatividad.
Transformadores de medición y protección	La selección de transformadores de corriente se hace con base a los flujos de carga máximos y a los valores de cortocircuito esperados en el sistema, sin incurrir en un mal dimensionamiento de los mismos.
Capacidad de generación de emergencia	La determinación de las demandas máximas de las cargas, fue utilizada para el dimensionamiento del generador de emergencia necesario.
Capacidad interruptiva de protecciones eléctricas	La capacidad interruptiva de las protecciones se ajusta de tal manera que no se incurra en un excesivo e injustificado sobredimensionamiento de dispositivos de protección.
Esfuerzos electrodinámicos en buses y terminales de equipos	A partir de los cálculos precisos de cortocircuito, se asignan características específicas a equipos como filtros de corrientes armónicas y compensadores de energía reactiva
Cambio del nivel de cortocircuito	La proyección del nivel de cortocircuito con la nueva carga conectada permitió evaluar la situación actual del bus principal, llegando a la conclusión de que no era necesario un cambio de este.

## CONCLUSIONES

1. Basados en los resultados de los cálculos de flujos de carga, es posible establecer criterios y estrategias dentro del diseño, que aplicados a un sistema eléctrico en particular; producen la disminución de pérdidas de energía en cables haciendo que la instalación eléctrica producto del diseño de ingeniería, tenga un mejor rendimiento desde el punto de vista funcional, de consumo energético y económico en el mediano plazo. Esto constituye una prestación adicional a la simple evaluación del cumplimiento de normas, mediante el cálculo de flujos de carga.
2. En la implementación de un programa de ahorro y uso racional de la energía eléctrica en plantas industriales y en general en cualquier sistema eléctrico, es posible aplicar el análisis de flujos de carga para predecir pérdidas de energía y evaluar el rendimiento del sistema y el impacto que producen algunos cambios en el diseño. El resultado de esta implementación es la definición de estrategias y criterios concretos, que pueden llegar a hacer parte de las políticas para el ahorro de energía eléctrica.
3. Cada sistema eléctrico tiene sus particularidades y requisitos específicos de operación, sin embargo; todos los criterios aplicados a lo largo de este trabajo pueden extenderse a sistemas eléctricos con características similares a las del caso de estudio. Debido a esto y a que la solución de flujos de carga y cortocircuito puede ser fácilmente obtenida mediante técnicas sencillas de análisis de circuitos eléctricos, la metodología de cálculo presentada en este trabajo es en general aplicable a cualquier sistema eléctrico radial estático y los análisis hechos de manera posterior a los cálculos son aplicables de la misma manera en que fueron desarrollados en el capítulo 6. Si se analiza de manera exhaustiva todo el sistema de distribución en baja tensión de la planta bajo esta metodología, se obtendrán más datos de análisis y resultados con un mayor nivel de cubrimiento de la planta, dejando ver mayores beneficios de la incorporación de los estudios de flujos de carga en los planes de mejora al rendimiento de las instalaciones eléctricas de la planta.
4. El proceso de ajuste de calibres de cables realizado en el capítulo 6 tiene como beneficio adicional la disminución de la potencia reactiva en las líneas de distribución en baja tensión. Como consecuencia directa, se mejora el desempeño del factor de potencia de la red; lo cual se traduce en la disminución del tamaño de los bancos de compensación de energía reactiva, mayor estabilidad en los niveles de tensión y favorece el uso racional de la energía eléctrica en la planta.
5. Con el incremento de la carga conectada a las subestaciones existentes, es posible que aumenten factores de riesgo para la seguridad y confiabilidad de las instalaciones eléctricas. Uno de estos factores es el nivel de cortocircuito, por lo que

el conocimiento de los valores futuros de este parámetro; tal como se planteó en el capítulo 6 para un sistema en particular, permite generar planes de acción sobre buses, conductores y componentes. Esto con el fin de mitigar los posibles efectos negativos que pudiera traer consigo un incremento exagerado del nivel de cortocircuito en la planta.

En algunas ocasiones, los cálculos no dan indicios de que se deban realizar cambios la subestación (como sucedió en el caso de estudio), sin embargo; en otros casos es posible que los cálculos de cortocircuito indiquen la necesidad de realizar cambios importantes en buses, terminales, cables y transformadores.

6. El análisis y procedimientos presentados en este documento pueden ser llevados a cabo en el sistema de distribución de baja tensión, los circuitos de iluminación y contactos de uso general; en circuitos de gran consumo de potencia como son el HVAC, la generación de vapor; etc. Al incluir más sistemas en el análisis, se obtendrán resultados más extensos y concluyentes debido a la participación de un mayor número de componentes del sistema eléctrico industrial.
7. La metodología desarrollada y presentada en este documento es un paso inicial en la inclusión de los estudios de flujos de carga y cortocircuito como herramientas técnicas para la toma de decisiones respecto a instalaciones eléctricas de plantas industriales existentes y nuevas. En el primer caso como herramienta de diagnóstico ante el crecimiento desordenado y no planeado que dificulta la identificación de los factores que alteran el buen rendimiento y desempeño del sistema eléctrico, mientras que en el segundo caso funciona como herramienta de predicción para la implementación de mejoras desde la etapa de diseño.
8. Trabajos futuros relacionados con las temáticas tratadas en este trabajo, podrían incluir la implementación del análisis de flujos de carga y estudio de cortocircuito; para la redefinición de curvas de demanda en planta industriales, la reconfiguración de los sistemas de distribución y el control de consumos energéticos mediante el uso de dispositivos apropiados; basados en mediciones o predicciones del comportamiento de la red.

## REFERENCIAS

- [B1] Buchanan, J. L., and Turner, P. R., Numerical Methods and Analysis, McGraw-Hill, New York, 1992.
- [B2] J. J. Grainger, W. D. Stevenson Jr., Análisis de Sistemas de Potencia, McGraw-Hill Interamericana de México, 2001.
- [B3] S. J. Chapman. Máquinas Eléctricas. Quinta Edición. McGraw-Hill. New York. 2012.
- [B4] J. Irwin. Análisis Básico de Circuitos en Ingeniería. Quinta Edición. Prentice Hall. México. 1997.
- [B5] IEEE Std. 141-1993 Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants
- [B6] IEEE Std. 399-1997 Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis
- [B7] IEEE Std C37.010-1979, IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis (ANSI).
- [B8] Schneider Electric S.A. Cuaderno Técnico No. 158: Cálculo de Corrientes de Cortocircuito. Barcelona, España. 2000.
- [B9] IEEE Std. 80-2000. IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, USA. 2000
- [B10] IEEE Std. 142-1991. IEEE Recommended Practice for Grounding of Industrial and Commercial Power Systems. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., USA. 1992.
- [B11] Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEDE-2012: Instalaciones Eléctricas (Utilización). Secretaría de Energía. México, 2012.
- [B12] National Electrical Code Handbook. National Fire Protection Association. USA. 2014.
- [B13] IEEE Std. 81-1983. IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System. The institute Of Electrical and Electronics Engineers, Inc., USA. 1983

- [B14] IEC-60909-2. Data of Electrical Equipment for Short-Circuit Current Calculations in Accordance With IEC 909 (1988). International Electrotechnical Commission. Swiss. 2008
  
- [B15] IEEE Std. 242-1986. Protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems. USA. 1986
  
- [B16] ASHRAE 90.1. Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings (ANSI Approved; IES Co-sponsored)
  
- [B17] Exact Voltage Drop Calculations. Ralph J Titus. IEEE Transactions on Power Systems Engineering. Bellevue, WA, U.S.A., 1986.

## **ANEXO A. CÁLCULO DE DEMANDA**

ID [1]	TAG DEL EQUIPO [2]	P&ID [3]	DESCRIPCIÓN [4]	TIPO DE SUMINISTRO [5]	LOCALIZACIÓN [6]	ESTADO EN INVENTARIO [7]	UNIDAD PAQUETE [8]	TIPO DE ARRANQUE [9]	TENSIÓN (V) [10]	POTENCIA NOMINAL EN PLACA		EFICIENCIA (%) [13]	FACTOR DE POTENCIA [14]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL [15]	POTENCIA INSTALADA			FACTOR DE DEMANDA [19]	FACTOR DE COINCIDENCIA [20]	DEMANDA MÁXIMA			
										(HP) [11]	(KW) [12]				(KW) [16]	(KVA) [17]	(KVAR) [18]			(KW) [21]	(KVA) [22]	(KVAR) [23]	(A) [24]
1	A-1105	1105	Airco unit	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	SÍ	SST & DIRECTO	460	50	37.3	95%	0.90	54.8	39.3	43.6	19.0	0.80	0.85	26.7	29.7	12.9	37.2
2	A-363	303	Box vibrator	NORMAL	Laurox Packout	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
3	A-364	303	Box vibrator	NORMAL	Laurox Packout	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
4	A-367	303	Box closing machine	NORMAL	Laurox Packout	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
5	A-369	303	Bag closing machine	NORMAL	Laurox Packout	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
6	A-603	2601	Hoist	NORMAL	D-601	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
7	A-730	2701	Lift, Flip and Turn unit	NORMAL	LFT	EXISTENTE	SÍ		460	15	11.2	95%	0.90	23.1	16.6	18.4	8.0	0.80	0.85	11.3	12.5	5.5	15.7
8	A-747	2702	Vibrating roller track	NORMAL	SPP Packout	EXISTENTE	SÍ	DIRECTO	460	1	0.7	95%	0.90	2.3	1.7	1.8	0.8	0.75	0.85	1.1	1.2	0.5	1.5
9	A-748	2702	Box closing machine	NORMAL	SPP Packout	EXISTENTE	SÍ	DIRECTO	460	1	0.7	95%	0.90	2.3	1.7	1.8	0.8	0.75	0.85	1.1	1.2	0.5	1.5
10	A-750	2702	Box staging machine	NORMAL	SPP Packout	EXISTENTE	SÍ	DIRECTO	460	1	0.7	95%	0.90	2.3	1.7	1.8	0.8	0.75	0.85	1.1	1.2	0.5	1.5
11	A-900	N/A	Drum hoist for reaction tower	NORMAL	12 m floor east	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
12	A-9002	N/A	Elevator	NORMAL	L	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8
13	A-9003	N/A	Blower for waste water treatment	NORMAL	Site	NUEVO	NO	DIRECTO	460	60	44.8	80%	0.85	96.3	65.2	76.7	40.4	0.75	0.85	41.6	48.9	25.8	61.4
14	B-302	302	Freewitt	NORMAL	BC1	NUEVO	SÍ	VFD	460	5	3.7	95%	0.90	8.4	6.0	6.7	2.9	0.80	0.85	4.1	4.5	2.0	5.7
15	B-738	2702	Sieve	NORMAL	SPP Packout	NUEVO	SÍ	VFD	460	5	3.7	95%	0.90	8.4	6.0	6.7	2.9	0.75	0.85	3.8	4.2	1.9	5.3
16	D-301	302	Belt cooler (Flaker)	NORMAL	Belt Cooler	NUEVO	SÍ	VFD	460	5	3.7	95%	0.90	8.4	6.0	6.7	2.9	0.80	0.85	4.1	4.5	2.0	5.7
17	M-101	1505	Agitator T-101	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
18	M-102	2101	Agitator T-102	EMERGENCIA	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
19	M-111	2102	Agitator T-111	NORMAL	12 m floor east	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
20	M-112	2101	Agitator T-112	NORMAL	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
21	M-120	2103	Agitator T-120	NORMAL	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
22	M-122	2103	Agitator T-122	EMERGENCIA	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
23	M-1801	1802A	Agitator waste water pit T-1801	EMERGENCIA	Waste Water Pits	NUEVO	NO	DIRECTO	460	15	11.2	80%	0.85	26.3	17.8	20.9	11.0	0.75	0.85	11.3	13.3	7.0	16.7
24	M-1812	1802A	Agitator waste water pit T-1812	NORMAL	Waste Water Pits	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
25	M-200	201	Agitator R-200	EMERGENCIA	8 m floor west	NUEVO	NO	VFD	460	50	37.3	80%	0.85	81.3	55.0	64.7	34.1	0.75	0.85	35.1	41.3	21.7	51.8
26	M-201	2202	Agitator R-201	EMERGENCIA	8 m floor east	NUEVO	NO	VFD	460	30	22.4	80%	0.85	50.0	33.9	39.8	21.0	0.75	0.85	21.6	25.4	13.4	31.9
27	M-202	201	Chilled water tank agitator	NORMAL	12 m floor west	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
28	M-205	2102	Agitator T-209	EMERGENCIA	12 m floor east	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
29	M-206	201	Agitator T-214	NORMAL	12 m floor south	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
30	M-215	202	Agitator T-215	NORMAL	8 m floor south	NUEVO	NO	DIRECTO	460	40	29.8	80%	0.85	65.0	44.0	51.8	27.3	0.75	0.85	28.1	33.0	17.4	41.4
31	M-220	203	Agitator for T-220	NORMAL	4 m floor south	NUEVO	NO	VFD	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
32	M-300	301	Agitator T-300	NORMAL	4 m floor west	NUEVO	NO	VFD	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
33	M-301	2301	Agitator T-301	EMERGENCIA	4 m floor east	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
34	M-302	301	Agitator T-302	NORMAL	Laurox Continuous Section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
35	M-303	2301	Agitator T-303	EMERGENCIA	Granulation	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
36	M-304	2301	Agitator T-304	EMERGENCIA	Granulation	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
37	M-305	2301	Agitator T-305	EMERGENCIA	Granulation	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL

ID [1]	TAG DEL EQUIPO [2]	P&ID [3]	DESCRIPCIÓN [4]	TIPO DE SUMINISTRO [5]	LOCALIZACIÓN [6]	ESTADO EN INVENTARIO [7]	UNIDAD PAQUETE [8]	TIPO DE ARRANQUE [9]	TENSIÓN (V) [10]	POTENCIA NOMINAL EN PLACA		EFICIENCIA (%) [13]	FACTOR DE POTENCIA [14]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL [15]	POTENCIA INSTALADA			FACTOR DE DEMANDA [19]	FACTOR DE COINCIDENCIA [20]	DEMANDA MÁXIMA			
										1	2				3	4	5			6	7	8	9
38	M-306	302	Agitator S-302	NORMAL	BC1	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.6	80%	0.85	2.0	1.4	1.6	0.8	0.75	0.85	0.9	1.0	0.5	1.3
39	M-402	2401	Agitator T-402	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
40	M-403	2401	Wash water tank agitator	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
41	M-502	2504	T-502 Ultraturax	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8
42	M-503	2504	Agitator T-502	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
43	M-601	601	Agitator destruction vessel T-601	EMERGENCIA	Destruction	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.1	80%	0.85	3.8	2.5	3.0	1.6	0.75	0.85	1.6	1.9	1.0	2.4
44	M-602	601	Agitator destruction vessel T-602	EMERGENCIA	Destruction	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
45	M-603	601	Agitator destruction vessel T-603	EMERGENCIA	Destruction	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
46	M-604	601	Agitator acidification tank T-604	EMERGENCIA	Destruction	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
47	M-605	603	Agitator waste water cooler T-605	EMERGENCIA	Waste Water Pits	NUEVO	NO	VFD	460	25	18.7	80%	0.85	42.5	28.8	33.9	17.8	0.75	0.85	18.3	21.6	11.4	27.1
48	P-101	1505	Warm water pump	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8
49	P-102	2101	Transfer pump Tergitol	EMERGENCIA	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
50	P-107	104	Unloading pump TBCF	EMERGENCIA	Athena Tank Farm	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
51	P-108	104	Dosing pump TBCF	EMERGENCIA	Athena Tank Farm	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.6	80%	0.85	2.0	1.4	1.6	0.8	0.75	0.85	0.9	1.0	0.5	1.3
52	P-109	102	Chloroformate Pump	NORMAL	T-108	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
53	P-1101	1101 A	- 20 C Glycol pump	EMERGENCIA	Central Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	15	11.2	80%	0.85	26.3	17.8	20.9	11.0	0.75	0.85	11.3	13.3	7.0	16.7
54	P-1102	1101 A	- 20 C Glycol pump	NORMAL	Central Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
55	P-1103	1101 A	- 20 C Glycol pump	NORMAL	Central Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
56	P-1104	1102 A	+3 C Glycol pump	EMERGENCIA	Central Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	15	11.2	80%	0.85	26.3	17.8	20.9	11.0	0.75	0.85	11.3	13.3	7.0	16.7
57	P-1105	1102 A	+3 C Glycol pump	NORMAL	Central Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
58	P-1106	1102 A	+3 C Glycol pump	NORMAL	Central Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
59	P-1107	1103	Chilled water pump	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
60	P-111	102 A	Chloroformate pump	NORMAL	T-108	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
61	P-112	105	Hexane dosing pump	NORMAL	Athena Tank Farm	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
62	P-113	2101	Cetyl Alcohol pump	NORMAL	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
63	P-114	105	Hexane unloading pump	NORMAL	Athena Tank Farm	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
64	P-120	2103	MgSO4 solution pump	EMERGENCIA	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
65	P-122	2103	Dequest solution pump	EMERGENCIA	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
66	P-123	2103	Dequest unloading pump	EMERGENCIA	Raw Materials	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
67	P-1506	1502	Water pump	EMERGENCIA	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	15	11.2	80%	0.85	26.3	17.8	20.9	11.0	0.75	0.85	11.3	13.3	7.0	16.7
68	P-1507	1503	Warm water pump	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
69	P-1508	1503	Water pump	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.1	80%	0.85	3.8	2.5	3.0	1.6	0.75	0.85	1.6	1.9	1.0	2.4
70	P-1510	1504	Hot water pump	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
71	P-157	107	50% NaOH feed pump	NORMAL	LR Bulk Storage	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL

ID [1]	TAG DEL EQUIPO [2]	P&ID [3]	DESCRIPCIÓN [4]	TIPO DE SUMINISTRO [5]	LOCALIZACIÓN [6]	ESTADO EN INVENTARIO [7]	UNIDAD PAQUETE [8]	TIPO DE ARRANQUE [9]	TENSIÓN (V) [10]	POTENCIA NOMINAL EN PLACA		EFICIENCIA (%) [13]	FACTOR DE POTENCIA [14]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL [15]	POTENCIA INSTALADA			FACTOR DE DEMANDA [19]	FACTOR DE COINCIDENCIA [20]	DEMANDA MÁXIMA			
										10	7.5				11.9	13.9	7.3			7.6	8.9	4.7	11.2
72	P-1603	1506	High pressure water pump	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
73	P-1801 A	1802A	LPS Waste water pump	NORMAL	Waste Water Pits	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
74	P-1801 B	1802A	LPS Waste water pump	NORMAL	Waste Water Pits	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
75	P-1802	1802	Crude Waste Water pump	NORMAL	Waste Water Pits	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
76	P-1812	1802A	Treated Waste Water pump	NORMAL	Waste Water Pits	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
77	P-1800	1802	Lime suspension pump	NORMAL	Waste Water Pits	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
78	P-1951	1904	Air circulation fan LPS building	EMERGENCIA	Wall	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
79	P-1952	1904	Air circulation fan LPS building	EMERGENCIA	Wall	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
80	P-1953	1904	Air circulation fan LPS building	EMERGENCIA	Wall	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
81	P-1954	1904	Air circulation fan LPS building	NORMAL	Wall	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
82	P-1955	1904	Air circulation fan LPS building	EMERGENCIA	Wall	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
83	P-1956	1904	Air circulation fan LPS building	NORMAL	Wall	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
84	P-201	201	Reactor transfer pump	NORMAL	4 m floor west	NUEVO	NO	DIRECTO	460	15	11.2	80%	0.85	26.3	17.8	20.9	11.0	0.75	0.85	11.3	13.3	7.0	16.7
85	P-206	201	Mobile Mono pump	NORMAL	Mobile	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
86	P-300 A	301	Product pump	NORMAL	0 m floor west	NUEVO	NO	VFD	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
87	P-300 B	301	Product pump	NORMAL	0 m floor west	NUEVO	NO	VFD	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
88	P-301	2301	Buffer tank transfer pump	EMERGENCIA	0 m floor east	NUEVO	NO	VFD	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
89	P-302	301	Warm water circulation pump	NORMAL	Laurox Continuous Section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
90	P-303	301	Ventillation Fan	NORMAL	0 m floor west	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
91	P-304	2301	Crystalizer transfer pump	EMERGENCIA	Granulation	NUEVO	NO	VFD	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
92	P-308	302	Warm water pump	NORMAL	Local Utilities Area	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
93	P-317	303	Vacuum pump for Vacuum Hoist A-306	NORMAL	Laurox Packout	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
94	P-402	2401	Centrifuge fill pump	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	VFD	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
95	P-403	2401	Wash water pump	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
96	P-404	2401	Recirculation pump	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
97	P-407	2401	Vacuum pump	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8
98	P-408	2401	Vacuum pump	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8
99	P-501 D	1501	Water pump	NORMAL	LR Bulk Storage	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
100	P-503	2504	Transfer pump product water	NORMAL	400-500 section	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.5	80%	0.85	4.3	2.9	3.4	1.8	0.75	0.85	1.8	2.2	1.1	2.7
101	P-505	108	Transfer pump 70% H2SO4	NORMAL	Athena Tank Farm	NUEVO	NO	DIRECTO	460	2	1.1	80%	0.85	3.8	2.5	3.0	1.6	0.75	0.85	1.6	1.9	1.0	2.4
102	P-508	106	50% H2O2 transfer pump	NORMAL	LR Bulk Storage	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
103	P-607	601	Waste water transfer pump	NORMAL	Destruction	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
104	P-611	2601 A	Scrubber circulation pump	NORMAL	S-501	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
105	P-615	2601	Scrubber circulation	EMERGENCIA	S-501	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8



APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL

ID [1]	TAG DEL EQUIPO [2]	P&ID [3]	DESCRIPCIÓN [4]	TIPO DE SUMINISTRO [5]	LOCALIZACIÓN [6]	ESTADO EN INVENTARIO [7]	UNIDAD PAQUETE [8]	TIPO DE ARRANQUE [9]	TENSIÓN (V) [10]	POTENCIA NOMINAL EN PLACA		EFICIENCIA (%) [13]	FACTOR DE POTENCIA [14]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL [15]	POTENCIA INSTALADA			FACTOR DE DEMANDA [19]	FACTOR DE COINCIDENCIA [20]	DEMANDA MÁXIMA			
141	V-501	2501	Package Unit: Lifting Platform	NORMAL	V-501	EXISTENTE	SÍ	DIRECTO	460	3	2.2	95%	0.90	5.3	3.8	4.2	1.8	0.75	0.85	2.4	2.7	1.2	3.4
142	X-551	2502	Package Unit: Centrifuge S-551	NORMAL	S-551	EXISTENTE	SÍ	VFD	460	150	111.9	95%	0.90	198.0	142.0	157.8	68.8	0.75	0.85	90.5	100.6	43.8	126.2
143	V-551	2502	Package Unit: Lifting Platform	NORMAL	V-551	EXISTENTE	SÍ	DIRECTO	460	3	2.2	95%	0.90	5.3	3.8	4.2	1.8	0.75	0.85	2.4	2.7	1.2	3.4
144	P-602	2601	Package Unit: Product Fan	EMERGENCIA	D-601	EXISTENTE	NO	VFD	460	60	44.8	80%	0.85	96.3	65.2	76.7	40.4	0.75	0.85	41.6	48.9	25.8	61.4
145	P-601	2601	Package Unit: Recirculation Water Pump	NORMAL	D-601	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
146	P-607	2601	Package Unit: Product Cart Hydraulic Unit	NORMAL	D-601	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
147	P-652	2602	Package Unit: Product Fan	EMERGENCIA	D-651	EXISTENTE	NO	VFD	460	60	44.8	80%	0.85	96.3	65.2	76.7	40.4	0.75	0.85	41.6	48.9	25.8	61.4
148	P-651	2602	Package Unit: Recirculation Water Pump	NORMAL	D-651	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
149	P-657	2602	Package Unit: Product Cart Hydraulic Unit	NORMAL	D-651	EXISTENTE	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
150	Z-100	2101	Space heater pump area	NORMAL	Raw Materials	NUEVO	SÍ		460	3	2.2	95%	0.90	5.3	3.8	4.2	1.8	0.75	0.85	2.4	2.7	1.2	3.4
151	M-109	103	Agitator T-109	NORMAL	Athena Tank Farm	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
152	M-3110	3101	Acid Chloride Reactor Agitator	EMERGENCIA	ACU	NUEVO	NO	VFD	460	15	11.2	80%	0.85	26.3	17.8	20.9	11.0	0.75	0.85	11.3	13.3	7.0	16.7
153	P-110	103	T-109 transfer pump	NORMAL	Athena Tank Farm	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
154	P-3000	3002	Hot water circulation pump	NORMAL	Tanker Unloading	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
155	P-3100	3001	Fatty Acid circulation pump	NORMAL	Tanker Unloading	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
156	P-3110	3101	Acid Chloride transfer pump	NORMAL	ACU	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
157	P-3201	3201	Air blower	NORMAL	ACU	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.4	80%	0.85	1.4	0.9	1.1	0.6	0.75	0.85	0.6	0.7	0.4	0.9
158	P-3508	3201	70% H3PO3 pump	NORMAL	ACU	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8
159	P-3901	3901	Acid Chloride Unit Scrubber pump	NORMAL	ACU Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8
160	P-3920	3901	ACU waste water pump	NORMAL	ACU	NUEVO	NO	DIRECTO	460	1	0.7	80%	0.85	2.6	1.8	2.1	1.1	0.75	0.85	1.1	1.3	0.7	1.7
161	X-3200: C515	3601	Cold glycol system for R-3100	EMERGENCIA	ACU Utilities	NUEVO	SÍ	SST	460	50	37.3	95%	0.90	71.5	51.3	57.0	24.8	0.75	0.85	32.7	36.3	15.8	45.6
162	X-3200: CP-515-1	3601	Cold Glycol supply pump	EMERGENCIA	ACU Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
163	X-3200: CP-515-2	3201	Cold Glycol supply pump	NORMAL	ACU Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	10	7.5	80%	0.85	17.5	11.9	13.9	7.3	0.75	0.85	7.6	8.9	4.7	11.2
164	X-3200: CP-515-3	3601	Cold Glycol cooling pump	EMERGENCIA	ACU Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8
165	X-3210: CP-514-1	3501	Hot glycol heating pump	NORMAL	ACU Utilities	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1
166	E Tracing	NA	Electrical Tracing	EMERGENCIA	CCR	NUEVO	SÍ	NA	220	16	11.9	95%	0.90	36.6	12.6	14.0	6.1	0.75	0.9	8.0	8.9	3.9	23.4
167	E Tracing	NA	Electrical Tracing	EMERGENCIA	CCR	NUEVO	SÍ	NA	220	13	9.7	95%	0.90	29.8	10.2	11.3	4.9	0.75	0.9	6.5	7.2	3.2	19.0
168	BPCS	NA	BPCS UPS Requirement	EMERGENCIA	CCR	NUEVO	NO	NA	220	3	2.2	80%	0.85	8.6	2.8	3.3	1.7	0.75	0.9	1.8	2.1	1.1	5.5
169	BPCS	UPS2	BPCS UPS	EMERGENCIA	MCC	NUEVO	NO	NA	220	11	8.2	80%	0.85	31.7	10.3	12.1	6.4	0.75	0.9	6.5	7.7	4.1	20.2

ID [1]	TAG DEL EQUIPO [2]	P&ID [3]	DESCRIPCIÓN [4]	TIPO DE SUMINISTRO [5]	LOCALIZACIÓN [6]	ESTADO EN INVENTARIO [7]	UNIDAD PAQUETE [8]	TIPO DE ARRANQUE [9]	TENSIÓN (V) [10]	POTENCIA NOMINAL EN PLACA		EFICIENCIA (%) [13]	FACTOR DE POTENCIA [14]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL [15]	POTENCIA INSTALADA			FACTOR DE DEMANDA [19]	FACTOR DE COINCIDENCIA [20]	DEMANDA MÁXIMA					
	LRX/LPS		Requirement																						
170	BPCS SPP	UPS3	BPCS UPS Requirement	EMERGENCIA	MCC	NUEVO	NO	NA	220	10	7.5	80%	0.85	28.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.9	5.9	7.0	3.7	18.4		
171	SIS LRX/SPP	UPS2	SIS UPS Requirement	EMERGENCIA	MCC	NUEVO	NO	NA	220	5	3.7	80%	0.85	14.4	4.7	5.5	2.9	0.75	0.9	3.0	3.5	1.8	9.2		
172	DCS Server	UPS1	DCS & SIS Servers, OS and ES computers, RT Gecma computers	EMERGENCIA	CCR	NUEVO	NO	NA	220	15	11.2	80%	0.85	43.2	14.0	16.5	8.7	0.75	0.9	8.9	10.5	5.5	27.5		
173	SPP PU	UPS5	PU UPS Requirement	EMERGENCIA	MCC	NUEVO	NO	NA	220	3	2.2	80%	0.85	8.6	2.8	3.3	1.7	0.75	0.9	1.8	2.1	1.1	5.5		
174	SPP PU	UPS4	PU UPS Requirement	EMERGENCIA	MCC	NUEVO	NO	NA	220	3	2.2	80%	0.85	8.6	2.8	3.3	1.7	0.75	0.9	1.8	2.1	1.1	5.5		
175	SPP PU	UPS6	PU UPS Requirement	EMERGENCIA	MCC	NUEVO	NO	NA	220	3	2.2	80%	0.85	8.6	2.8	3.3	1.7	0.75	0.9	1.8	2.1	1.1	5.5		
176	SPP PU	UPS7	PU UPS Requirement	EMERGENCIA	MCC	NUEVO	NO	NA	220	3	2.2	80%	0.85	8.6	2.8	3.3	1.7	0.75	0.9	1.8	2.1	1.1	5.5		
177	A-2715	2710	Provisional Hoist	EMERGENCIA	SPP Packout	NUEVO	NO	DIRECTO	460	3	2.2	80%	0.85	6.0	4.1	4.8	2.5	0.75	0.85	2.6	3.0	1.6	3.8		
178	A-2711	2710	Car Inverter	EMERGENCIA	SPP Packout	NUEVO	NO	DIRECTO	460	5	3.7	80%	0.85	9.5	6.4	7.6	4.0	0.75	0.85	4.1	4.8	2.5	6.1		
179	A-2712	2710	PackOut Machine	EMERGENCIA	SPP Packout	NUEVO	NO	DIRECTO	460	8	5.6	80%	0.85	13.8	9.3	11.0	5.8	0.75	0.85	5.9	7.0	3.7	8.8		
180			Iluminación edificio de Producción (38VA/m2 x 1809 m2)						220		67.4	98%	0.98	237.9	88.8	90.6	18.0	0.80	1.0	71.1	72.5	14.4	--		
181			Iluminación edificio de Subestación y CCM (38VA/m2 x 135 m2)						220		5.0	98%	0.98	17.8	6.6	6.8	1.3	0.80	1.0	5.3	5.4	1.1	--		
182			Iluminación Cuarto de Control (38VA/m2 x 78 m2)						220		2.9	98%	0.98	10.3	3.8	3.9	0.8	0.80	1.0	3.1	3.1	0.6	--		
183			Iluminación Granja de Tanques (10VA/m2 x 157m2)						220		1.5	98%	0.98	5.4	2.0	2.1	0.4	0.80	1.0	1.6	1.7	0.3	--		
184			Iluminación Plancha de Contenedores (10VA/m2 x 347m2)						220		3.4	98%	0.98	12.0	4.5	4.6	0.9	0.80	1.0	3.6	3.7	0.7	--		
185			Iluminación Servicios Auxiliares (10VA/m2 x 300m2)						220		2.9	98%	0.98	10.4	3.9	4.0	0.8	0.80	1.0	3.1	3.2	0.6	--		
186			Iluminación Patio Trailers (10VA/m2 x 2303m2)						220		22.6	98%	0.98	79.7	29.8	30.4	6.0	0.80	1.0	23.8	24.3	4.8	--		

## **ANEXO B. CÁLCULO DE CIRCUITOS EN BAJA TENSIÓN**

CCM-991																									
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]
1		ALIMENTADOR CCM-991	460			0.85	1502.6	1886.0	1.00	1.0	2371.2	265.2	18 - 500	380	3	6	9	8	0.500	416.7	225.3	0.195	3,670.71	4,000	EMCB
1	A-1105	Airco unit	460	50.00	95%	0.90	43.63	54.8	1.00	1.1	68.4	65.2	3 - 4	85	3	1	3	52	0.50	34.8	477.1	1.076	82.13	85	EMCB
2	A-363	Box vibrator	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	125	0.50	8.7	26.4	0.685	6.38	15	EMCB
3	A-364	Box vibrator	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	80	0.50	8.7	16.9	0.438	6.38	15	EMCB
4	A-367	Box closing machine	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	72	0.50	8.7	15.2	0.395	6.38	15	EMCB
5	A-369	Bag closing machine	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	65	0.50	8.7	13.7	0.356	6.38	15	EMCB
6	A-603	Hoist	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	58	0.50	8.7	1.3	0.103	2.06	15	EMCB
7	A-730	Lift, Flip and Turn unit	460	15.00	95%	0.90	18.40	23.1	1.00	1.1	28.9	27.5	3 - 10	35	3	1	3	89	0.50	8.7	555.6	2.787	34.65	40	EMCB
8	A-747	Vibrating roller track	460	1.00	95%	0.90	1.84	2.3	1.00	1.1	2.9	2.8	3 - 10	35	3	1	3	118	0.50	8.7	7.4	0.370	3.47	15	EMCB
9	A-748	Box closing machine	460	1.00	95%	0.90	1.84	2.3	1.00	1.1	2.9	2.8	3 - 10	35	3	1	3	126	0.50	8.7	7.9	0.395	3.47	15	EMCB
10	A-750	Box staging machine	460	1.00	95%	0.90	1.84	2.3	1.00	1.1	2.9	2.8	3 - 10	35	3	1	3	128	0.50	8.7	8.0	0.401	3.47	15	EMCB
11	A-900	Drum hoist for reaction tower	220	5.00	80%	0.85	3.62	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	59	0.50	8.7	62.3	1.511	14.25	15	EMCB
12	A-9002	Elevator	220	7.50	80%	0.85	5.24	13.8	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	69	0.50	8.7	152.6	2.558	20.63	20	EMCB
13	A-9003	Blower for waste water treatment	460	60.00	80%	0.85	76.69	96.3	1.00	1.1	120.3	114.6	3 - 2	115	3	1	3	36	0.50	55.3	660.3	0.860	144.38	150	EMCB

CCM-991																										
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]	
14	B-302	Freewitt	460	5.00	95%	0.90	6.66	8.4	1.00	1.1	10.5	10.0	3 - 10	35	3	1	3	95	0.50	8.7	77.7	1.077	12.54	15	EMCB	
15	B-738	Sieve	220	5.00	95%	0.90	3.19	8.4	1.00	1.1	10.5	10.0	3 - 10	35	3	1	3	58	0.50	8.7	47.4	1.374	12.54	15	EMCB	
16	D-301	Belt cooler (Flaker)	460	5.00	95%	0.90	6.66	8.4	1.00	1.1	10.5	10.0	3 - 10	35	3	1	3	63	0.50	8.7	51.5	0.714	12.54	15	EMCB	
17	M-101	Agitator T-101	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	72	0.50	8.7	15.2	0.395	6.38	15	EMCB	
19	M-111	Agitator T-111	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	28	0.50	8.7	0.6	0.050	2.06	15	EMCB	
20	M-112	Agitator T-112	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	25	0.50	8.7	0.6	0.044	2.06	15	EMCB	
21	M-120	Agitator T-120	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	25	0.50	8.7	0.6	0.044	2.06	15	EMCB	
24	M-1812	Agitator waste water pit T-1812	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	29	0.50	8.7	12.2	0.224	9.00	15	EMCB	
27	M-202	Chilled water tank agitator	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	103	0.50	8.7	2.3	0.183	2.06	15	EMCB	
29	M-206	Agitator T-214	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	105	0.50	8.7	2.3	0.186	2.06	15	EMCB	
30	M-215	Agitator T-215	460	40.00	80%	0.85	51.79	65.0	1.00	1.1	81.3	77.4	3 - 4	85	3	1	3	78	0.50	34.8	1008.4	1.853	97.50	100	EMCB	
31	M-220	Agitator for T-220	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.6	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	52	0.50	8.7	4.2	0.176	3.94	15	EMCB	
32	M-300	Agitator T-300	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	96	0.50	8.7	20.3	0.526	6.38	15	EMCB	
34	M-302	Agitator T-302	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	82	0.50	8.7	1.8	0.145	2.06	15	EMCB	

CCM-991																									
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSÓN TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]
38	M-306	Agitator S-302	460	0.75	80%	0.85	1.59	2.0	1.00	1.1	2.5	2.4	3 - 10	35	3	1	3	85	0.50	8.7	4.0	0.219	3.00	15	EMCB
39	M-402	Agitator T-402	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	172	0.50	8.7	181.6	2.107	14.25	15	EMCB
40	M-403	Wash water tank agitator	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	125	0.50	8.7	2.8	0.222	2.06	15	EMCB
41	M-502	T-502 Ultraturax	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.8	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	85	0.50	8.7	188.0	1.507	20.63	20	EMCB
42	M-503	Agitator T-502	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	72	0.50	8.7	1.6	0.128	2.06	15	EMCB
48	P-101	Warm water pump	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.8	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	61	0.50	8.7	134.9	1.081	20.63	20	EMCB
52	P-109	Chloroformate Pump	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	62	0.50	8.7	13.1	0.340	6.38	15	EMCB
54	P-1102	- 20 C Glycol pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	88	0.50	8.7	315.3	1.985	26.25	30	EMCB
55	P-1103	- 20 C Glycol pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	89	0.50	8.7	318.9	2.008	26.25	30	EMCB
57	P-1105	+3 C Glycol pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	93	0.50	8.7	333.2	2.098	26.25	30	EMCB
58	P-1106	+3 C Glycol pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	96	0.50	8.7	344.0	2.166	26.25	30	EMCB
59	P-1107	Chilled water pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	101	0.50	8.7	42.5	0.781	9.00	15	EMCB
60	P-111	Chloroformate pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	105	0.50	8.7	44.2	0.812	9.00	15	EMCB
61	P-112	Hexane dosing pump	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	122	0.50	8.7	25.8	0.668	6.38	15	EMCB

CCM-991																									
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]
62	P-113	Cetyl Alcohol pump	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	121	0.50	8.7	2.7	0.215	2.06	15	EMCB
63	P-114	Hexane unloading pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	95	0.50	8.7	100.3	1.164	14.25	15	EMCB
68	P-1507	Warm water pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	43	0.50	8.7	18.1	0.333	9.00	15	EMCB
69	P-1508	Water pump	460	1.50	80%	0.85	2.99	3.8	1.00	1.1	4.7	4.5	3 - 10	35	3	1	3	38	0.50	8.7	6.3	0.184	5.63	15	EMCB
70	P-1510	Hot water pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	33	0.50	8.7	34.8	0.404	14.25	15	EMCB
71	P-157	50% NaOH feed pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	41	0.50	8.7	17.3	0.317	9.00	15	EMCB
72	P-1603	High pressure water pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	48	0.50	8.7	172.0	1.083	26.25	30	EMCB
73	P-1801 A	LPS Waste water pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	86	0.50	8.7	308.1	1.940	26.25	30	EMCB
74	P-1801 B	LPS Waste water pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	83	0.50	8.7	297.4	1.873	26.25	30	EMCB
75	P-1802	Crude Waste Water pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	28	0.50	8.7	11.8	0.217	9.00	15	EMCB
76	P-1812	Treated Waste Water pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	27	0.50	8.7	11.4	0.209	9.00	15	EMCB
77	P-1800	Lime suspension pump	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	43	0.50	8.7	1.0	0.076	2.06	15	EMCB
81	P-1954	Air circulation fan LPS building	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.6	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	55	0.50	8.7	4.4	0.186	3.94	15	EMCB
83	P-1956	Air circulation fan LPS building	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.6	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	59	0.50	8.7	4.8	0.200	3.94	15	EMCB

CCM-991																									
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]
84	P-201	Reactor transfer pump	460	15.00	80%	0.85	20.91	26.3	1.00	1.1	32.8	31.3	3 - 10	35	3	1	3	86	0.50	8.7	693.3	2.911	39.38	40	EMCB
85	P-206	Mobile Mono pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	81	0.50	8.7	85.5	0.992	14.25	15	EMCB
86	P-300 A	Product pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	96	0.50	8.7	40.4	0.743	9.00	15	EMCB
87	P-300 B	Product pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	92	0.50	8.7	38.8	0.712	9.00	15	EMCB
89	P-302	Warm water circulation pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	71	0.50	8.7	29.9	0.549	9.00	15	EMCB
90	P-303	Ventillation Fan	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	112	0.50	8.7	2.5	0.199	2.06	15	EMCB
92	P-308	Warm water pump	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	118	0.50	8.7	24.9	0.647	6.38	15	EMCB
93	P-317	Vacuum pump for Vacuum Hoist A-306	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	92	0.50	8.7	38.8	0.712	9.00	15	EMCB
94	P-402	Centrifuge fill pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	58	0.50	8.7	61.2	0.710	14.25	15	EMCB
95	P-403	Wash water pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	66	0.50	8.7	27.8	0.511	9.00	15	EMCB
96	P-404	Recirculation pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	61	0.50	8.7	25.7	0.472	9.00	15	EMCB
97	P-407	Vaccum pump	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.8	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	59	0.50	8.7	130.5	1.046	20.63	20	EMCB
98	P-408	Vaccum pump	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.8	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	52	0.50	8.7	115.0	0.922	20.63	20	EMCB
99	P-501 D	Water pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	33	0.50	8.7	34.8	0.404	14.25	15	EMCB

CCM-991																										
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]	
100	P-503	Transfer pump product water	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	31	0.50	8.7	6.6	0.170	6.38	15	EMCB	
101	P-505	Transfer pump 70% H2SO4	460	1.50	80%	0.85	2.99	3.8	1.00	1.1	4.7	4.5	3 - 10	35	3	1	3	35	0.50	8.7	5.8	0.169	5.63	15	EMCB	
102	P-508	50% H2O2 transfer pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	28	0.50	8.7	29.6	0.343	14.25	15	EMCB	
103	P-607	Waste water transfer pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	22	0.50	8.7	9.3	0.170	9.00	15	EMCB	
104	P-611	Scrubber circulation pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	86	0.50	8.7	36.2	0.665	9.00	15	EMCB	
107	P-661	Scrubber circulation pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	71	0.50	8.7	29.9	0.549	9.00	15	EMCB	
108	P-710	Vacuum lift	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	43	0.50	8.7	18.1	0.333	9.00	15	EMCB	
110	P-901 B	Scrubber circulation pump	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.3	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	49	0.50	8.7	10.4	0.268	6.38	15	EMCB	
112	P-903 B	Air conditioning blower	460	0.75	80%	0.85	1.59	2.0	1.00	1.1	2.5	2.4	3 - 10	35	3	1	3	62	0.50	8.7	2.9	0.160	3.00	15	EMCB	
114	P-909	Suction fan dust filter	460	1.00	95%	0.90	1.84	2.3	1.00	1.1	2.9	2.8	3 - 10	35	3	1	3	98	0.50	8.7	6.1	0.307	3.47	15	EMCB	
115	P-914	Ventilation blower for QC lab	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.6	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	21	0.50	8.7	1.7	0.071	3.94	15	EMCB	
116	S-301	Centrifugal Separator.	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.8	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	23	0.50	8.7	50.9	0.408	20.63	20	EMCB	
117	S-901	Dust filter	460	30.00	95%	0.90	35.06	44.0	1.00	1.1	55.0	52.4	3 - 6	65	3	1	3	61	0.50	21.9	570.4	1.557	66.00	70	EMCB	
118	V-317	Screw conveyor for rework	460	0.75	80%	0.85	1.59	2.0	1.00	1.1	2.5	2.4	3 - 10	35	3	1	3	67	0.50	8.7	3.1	0.173	3.00	15	EMCB	

CCM-991																									
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]
119	V-353	Product Screw Conveyor	460	1.00	95%	0.90	1.84	2.3	1.00	1.1	2.9	2.8	3 - 10	35	3	1	3	36	0.50	8.7	2.2	0.113	3.47	15	EMCB
120	V-356	Dosing screw conveyor.	460	0.75	95%	0.90	1.40	1.8	1.00	1.1	2.2	2.1	3 - 10	35	3	1	3	39	0.50	8.7	1.4	0.093	2.64	15	EMCB
121	V-361	Roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	68	0.50	8.7	1.2	0.112	1.82	15	EMCB
122	V-362	Roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	69	0.50	8.7	1.2	0.113	1.82	15	EMCB
123	V-364	Roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	69	0.50	8.7	1.2	0.113	1.82	15	EMCB
124	V-365	Roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	58	0.50	8.7	1.0	0.095	1.82	15	EMCB
125	V-366	Roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	52	0.50	8.7	0.9	0.085	1.82	15	EMCB
126	V-401	Screw mixer	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.6	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	71	0.50	8.7	5.7	0.240	3.94	15	EMCB
127	V-742	Product Screw Conveyor	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	76	0.50	8.7	1.3	0.125	1.82	15	EMCB
128	V-745	Roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	73	0.50	8.7	1.3	0.120	1.82	15	EMCB
129	V-746	Roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	85	0.50	8.7	1.5	0.139	1.82	15	EMCB
130	V-747	Roller track	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	87	0.50	8.7	1.9	0.154	2.06	15	EMCB
131	V-751	Powered roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	91	0.50	8.7	1.6	0.149	1.82	15	EMCB
132	V-752	Powered roller track	460	0.50	95%	0.90	0.96	1.2	1.00	1.1	1.5	1.4	3 - 10	35	3	1	3	90	0.50	8.7	1.5	0.148	1.82	15	EMCB

CCM-991																										
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]	
133	X-1101	+3 C Glycol cooling unit	460	265.00	95%	0.90	231.22	290.2	1.00	1.1	362.8	172.7	6 - 2/0	175	3	2	3	86	0.50	110.9	1792.6	1.758	435.30	450	EMCB	
134	X-1102	-20 C Glycol cooling unit	460	520.00	95%	0.90	453.71	569.5	1.00	1.1	711.8	226.0	9 - 4/0	230	3	3	3	73	0.50	176.4	1633.4	1.352	854.18	800	EMCB	
135	X-1201	Boiler unit	460	520.00	95%	0.90	453.71	569.5	1.00	1.1	711.8	226.0	9 - 4/0	230	3	3	3	66	0.50	176.4	1476.8	1.222	854.18	800	EMCB	
139	X-401	Package unit: Belt filter S-401 (Pannevis)	460	3.00	95%	0.90	4.21	5.3	1.00	1.1	6.6	6.3	3 - 10	35	3	1	3	123	0.50	8.7	40.1	0.880	7.92	15	EMCB	
140	X-501	Package Unit: Centrifuge S-501	460	150.00	95%	0.90	157.76	198.0	1.00	1.1	247.5	235.7	3 - 250	255	3	1	3	118	0.50	208.4	2456.4	2.057	297.00	300	EMCB	
141	V-501	Package Unit: Lifting Platform	460	3.00	95%	0.90	4.21	5.3	1.00	1.1	6.6	6.3	3 - 10	35	3	1	3	92	0.50	8.7	30.0	0.658	7.92	15	EMCB	
142	X-551	Package Unit: Centrifuge S-551	460	150.00	95%	0.90	157.76	198.0	1.00	1.1	247.5	235.7	3 - 250	255	3	1	3	99	0.50	208.4	2060.9	1.726	297.00	300	EMCB	
143	V-551	Package Unit: Lifting Platform	460	3.00	95%	0.90	4.21	5.3	1.00	1.1	6.6	6.3	3 - 10	35	3	1	3	92	0.50	8.7	30.0	0.658	7.92	15	EMCB	
145	P-601	Package Unit: Recirculation Water Pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	55	0.50	8.7	58.1	0.674	14.25	15	EMCB	
146	P-607	Package Unit: Product Cart Hydraulic Unit	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	48	0.50	8.7	20.2	0.371	9.00	15	EMCB	
148	P-651	Package Unit: Recirculation Water Pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	42	0.50	8.7	44.3	0.514	14.25	15	EMCB	
149	P-657	Package Unit: Product Cart Hydraulic Unit	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	53	0.50	8.7	22.3	0.410	9.00	15	EMCB	
150	Z-100	Space heater pump area	220	3.00	95%	0.90	2.01	5.3	1.00	1.1	6.6	6.3	3 - 10	35	3	1	3	39	0.50	8.7	12.7	0.584	7.92	15	EMCB	
151	M-109	Agitator T-109	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	41	0.50	8.7	43.3	0.502	14.25	15	EMCB	

CCM-991																									
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DE SPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]
153	P-110	T-109 transfer pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	43	0.50	8.7	18.1	0.333	9.00	15	EMCB
154	P-3000	Hot water circulation pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	43	0.50	8.7	18.1	0.333	9.00	15	EMCB
155	P-3100	Fatty Acid circulation pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	146	0.50	8.7	154.2	1.788	14.25	15	EMCB
156	P-3110	Acid Chloride transfer pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	129	0.50	8.7	54.3	0.998	9.00	15	EMCB
157	P-3201	Air blower	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.4	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	133	0.50	8.7	2.9	0.236	2.06	15	EMCB
158	P-3508	70% H3PO3 pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.0	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	152	0.50	8.7	64.0	1.176	9.00	15	EMCB
159	P-3901	Acid Chloride Unit Scrubber pump	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.8	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	151	0.50	8.7	334.0	2.677	20.63	20	EMCB
160	P-3920	ACU waste water pump	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.6	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	123	0.50	8.7	9.9	0.416	3.94	15	EMCB
163	X-3200: CP-515-2	Cold Glycol supply pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.5	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	119	0.50	8.7	426.4	2.685	26.25	30	EMCB
165	X-3210: CP-514-1	Hot glycol heating pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.5	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	118	0.50	8.7	124.6	1.445	14.25	15	EMCB
180		Iluminación edificio de Producción (38VA/m2 x 1809 m2)	220		98%	0.98	90.6	237.9	1.00	1.1	297.3	94.4	9 - 2/0	175	3	3	3	27	0.50	110.9	168.0	0.604	356.78	400	EMCB
181		Iluminación edificio de Subestación y CCM (38VA/m2 x 135 m2)	220		98%	0.98	6.8	17.8	1.00	1.1	22.2	21.1	3 - 8	50	3	1	3	21	0.50	13.8	50.8	0.749	26.63	30	EMCB
182		Iluminación Cuarto de Control (38VA/m2 x 78 m2)	220		98%	0.98	3.9	10.3	1.00	1.1	12.8	12.2	3 - 10	35	3	1	3	28	0.50	8.7	34.5	0.873	15.38	15	EMCB
183		Iluminación Granja de Tanques (10VA/m2 x 157m2)	220		98%	0.98	2.1	5.4	1.00	1.1	6.8	6.5	3 - 10	35	3	1	3	32	0.50	8.7	11.0	0.529	8.15	15	EMCB

CCM-991																									
ÍTEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DESPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSIÓN TOTAL (%) [24]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [28]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [29]	TIPO PROTECCIÓN [30]
184		Iluminación Plancha de Contenedores (10VA/m <sup>2</sup> x 347m <sup>2</sup> )	220		98%	0.98	4.6	12.0	1.00	1.1	15.0	14.3	3 - 10	35	3	1	3	33	0.50	8.7	55.7	1.205	18.01	20	EMCB
185		Iluminación Servicios Auxiliares (10VA/m <sup>2</sup> x 300m <sup>2</sup> )	220		98%	0.98	4.0	10.4	1.00	1.1	13.0	12.4	3 - 10	35	3	1	3	34	0.50	8.7	42.9	1.073	15.57	15	EMCB
186		Iluminación Patio Trailers (10VA/m <sup>2</sup> x 2303m <sup>2</sup> )	220		98%	0.98	30.4	79.7	1.00	1.1	99.6	94.9	3 - 2/0	175	3	1	3	35	0.50	110.9	220.0	0.787	119.53	125	EMCB

CCM-992																										
ITEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DESPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSIÓN TOTAL (%) [25]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [29]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [30]	TIPO PROTECCIÓN [31]	
1		ALIMENTADOR CCM-992	460			0.85	480.1	602.6	0.95	1.1	737.2	235.6	6 - 250	255	3	2	--	15	0.500	208.35	406.7	0.501	1148.20	1,200	EMCB	
18	M-102	Agitator T-102	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.38	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	86	0.50	8.65	1.1	0.152	2.06	15	EMCB	
22	M-122	Agitator T-122	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.63	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	91	0.50	8.65	4.1	0.308	3.94	15	EMCB	
23	M-1801	Agitator waste water pit T-1801	460	15.00	80%	0.85	20.91	26.25	1.00	1.1	32.8	31.3	3 - 8	50	3	1	3	112	0.50	13.76	333.4	2.533	39.38	40	EMCB	
25	M-200	Agitator R-200	460	50.00	80%	0.85	64.74	81.25	1.00	1.1	101.6	96.7	3 - 2	115	3	1	3	114	0.50	55.31	838.2	2.300	121.88	125	EMCB	
26	M-201	Agitator R-201	460	30.00	80%	0.85	39.84	50.00	1.00	1.1	62.5	59.5	3 - 6	65	3	1	3	87	0.50	21.87	590.9	2.423	75.00	75	EMCB	
28	M-205	Agitator T-209	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.38	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	108	0.50	8.65	1.3	0.191	2.06	15	EMCB	
33	M-301	Agitator T-301	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.50	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	141	0.50	8.65	83.7	1.727	14.25	15	EMCB	
35	M-303	Agitator T-303	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.00	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	145	0.50	8.65	34.4	1.122	9.00	15	EMCB	
36	M-304	Agitator T-304	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.38	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	143	0.50	8.65	1.8	0.254	2.06	15	EMCB	
37	M-305	Agitator T-305	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.38	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	141	0.50	8.65	1.8	0.250	2.06	15	EMCB	
43	M-601	Agitator desctruction vessel T-601	460	1.50	80%	0.85	2.99	3.75	1.00	1.1	4.7	4.5	3 - 10	35	3	1	3	73	0.50	8.65	6.8	0.353	5.63	15	EMCB	
44	M-602	Agitator destruction vessel T-602	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.38	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	75	0.50	8.65	0.9	0.133	2.06	15	EMCB	
45	M-603	Agitator destruction vessel T-603	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.38	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	69	0.50	8.65	0.9	0.122	2.06	15	EMCB	

CCM-992																											
ITEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DESPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSIÓN TOTAL (%) [25]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [29]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [30]	TIPO PROTECCIÓN [31]		
46	M-604	Agitator acidification tank T-604	460	0.50	80%	0.85	1.10	1.38	1.00	1.1	1.7	1.6	3 - 10	35	3	1	3	69	0.50	8.65	0.9	0.122	2.06	15	EMCB		
47	M-605	Agitator waste water cooler T-605	460	25.00	80%	0.85	33.86	42.50	1.00	1.1	53.1	50.6	3 - 6	65	3	1	3	81	0.50	21.87	397.5	1.917	63.75	70	EMCB		
49	P-102	Transfer pump Tergitol	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.63	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	101	0.50	8.65	4.6	0.342	3.94	15	EMCB		
50	P-107	Unloading pump TBCF	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.00	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	116	0.50	8.65	27.5	0.897	9.00	15	EMCB		
51	P-108	Dosing pump TBCF	460	0.75	80%	0.85	1.59	2.00	1.00	1.1	2.5	2.4	3 - 10	35	3	1	3	117	0.50	8.65	3.1	0.302	3.00	15	EMCB		
53	P-1101	- 20 C Glycol pump	460	15.00	80%	0.85	20.91	26.25	1.00	1.1	32.8	31.3	3 - 8	50	3	1	3	125	0.50	13.76	372.1	2.827	39.38	40	EMCB		
56	P-1104	+3 C Glycol pump	460	15.00	80%	0.85	20.91	26.25	1.00	1.1	32.8	31.3	3 - 8	50	3	1	3	123	0.50	13.76	366.1	2.782	39.38	40	EMCB		
64	P-120	MgSO4 solution pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.00	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	112	0.50	8.65	26.5	0.866	9.00	15	EMCB		
65	P-122	Dequest solution pump	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.25	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	103	0.50	8.65	12.2	0.564	6.38	15	EMCB		
66	P-123	Dequest unloading pump	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.63	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	99	0.50	8.65	4.5	0.335	3.94	15	EMCB		
67	P-1506	Water pump	460	15.00	80%	0.85	20.91	26.25	1.00	1.1	32.8	31.3	3 - 10	35	3	1	3	85	0.50	8.65	385.5	2.877	39.38	40	EMCB		
78	P-1951	Air circulation fan LPS building	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.63	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	43	0.50	8.65	2.0	0.146	3.94	15	EMCB		
79	P-1952	Air circulation fan LPS building	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.63	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	49	0.50	8.65	2.2	0.166	3.94	15	EMCB		
80	P-1953	Air circulation fan LPS building	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.63	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	45	0.50	8.65	2.0	0.152	3.94	15	EMCB		

CCM-992																											
ITEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DESPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSION TOTAL (%) [25]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [29]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [30]	TIPO PROTECCIÓN [31]		
82	P-1955	Air circulation fan LPS building	460	1.00	80%	0.85	2.09	2.63	1.00	1.1	3.3	3.1	3 - 10	35	3	1	3	63	0.50	8.65	2.9	0.213	3.94	15	EMCB		
88	P-301	Buffer tank transfer pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.00	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	61	0.50	8.65	14.5	0.472	9.00	15	EMCB		
91	P-304	Crystalizer transfer pump	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.50	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	60	0.50	8.65	35.6	0.735	14.25	15	EMCB		
105	P-615	Scrubber circulation pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.00	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	69	0.50	8.65	16.3	0.534	9.00	15	EMCB		
106	P-655	Scrubber circulation pump	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.00	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	88	0.50	8.65	20.8	0.681	9.00	15	EMCB		
109	P-901 A	Scrubber circulation pump	460	2.00	80%	0.85	3.39	4.25	1.00	1.1	5.3	5.1	3 - 10	35	3	1	3	87	0.50	8.65	10.3	0.477	6.38	15	EMCB		
111	P-903 A	Air conditioning blower	460	0.75	80%	0.85	1.59	2.00	1.00	1.1	2.5	2.4	3 - 10	35	3	1	3	87	0.50	8.65	2.3	0.224	3.00	15	EMCB		
113	P-905	Air conditioning blower	460	0.75	80%	0.85	1.59	2.00	1.00	1.1	2.5	2.4	3 - 10	35	3	1	3	91	0.50	8.65	2.4	0.235	3.00	15	EMCB		
136	X-1401	Instrument air unit	460	40.00	95%	0.90	34.90	43.80	1.00	1.1	54.8	52.1	3 - 6	65	3	1	3	90	0.50	21.87	469.2	2.287	65.71	70	EMCB		
137	X-4000A	Cooling units Product Storage	460	33.00	95%	0.90	24.62	30.90	1.00	1.1	38.6	36.8	3 - 8	50	3	1	3	57	0.50	13.76	235.1	1.589	46.35	50	EMCB		
138	X-4000B	Cooling units Product Storage	460	33.00	95%	0.90	24.62	30.90	1.00	1.1	38.6	36.8	3 - 8	50	3	1	3	53	0.50	13.76	218.6	1.478	46.35	50	EMCB		
144	P-602	Package Unit: Product Fan	460	60.00	80%	0.85	76.69	96.25	1.00	1.1	120.3	114.6	3 - 2	115	3	1	3	58	0.50	55.31	598.4	1.386	144.38	150	EMCB		
147	P-652	Package Unit: Product Fan	460	60.00	80%	0.85	76.69	96.25	1.00	1.1	120.3	114.6	3 - 2	115	3	1	3	39	0.50	55.31	402.4	0.932	144.38	150	EMCB		
152	M-3110	Acid Chloride Reactor Agitator	460	15.00	80%	0.85	20.91	26.25	1.00	1.1	32.8	31.3	3 - 10	35	3	1	3	37	0.50	8.65	167.8	1.252	39.38	40	EMCB		

CCM-992																										
ITEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DESPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSIÓN TOTAL (%) [25]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [29]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [30]	TIPO PROTECCIÓN [31]	
161	X-3200, C515	Cold glycol system for R-3100	460	50.00	95%	0.90	56.97	71.50	1.00	1.1	89.4	85.1	3 - 2	115	3	1	3	36	0.50	55.31	205.0	0.655	107.25	125	EMCB	
162	X-3200: CP-515-1	Cold Glycol supply pump	460	10.00	80%	0.85	13.94	17.50	1.00	1.1	21.9	20.8	3 - 10	35	3	1	3	54	0.50	8.65	108.8	1.218	26.25	30	EMCB	
164	X-3200: CP-515-3	Cold Glycol cooling pump	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.75	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	58	0.50	8.65	72.2	1.028	20.63	25	EMCB	
166	E Tracing	Electrical Tracing	220	16.00	95%	0.90	13.96	36.64	1.00	1.1	45.8	43.6	3 - 6	65	3	1	3	52	0.50	21.87	189.6	2.311	54.95	60	EMCB	
167	E Tracing	Electrical Tracing	220	13.00	95%	0.90	11.34	29.77	1.00	1.1	37.2	35.4	3 - 6	65	3	1	3	53	0.50	21.87	127.6	1.913	44.65	50	EMCB	
168	BPCS	BPCS UPS Requirement	220	3.00	80%	0.85	3.29	8.64	1.00	1.1	10.8	10.3	1 - 8	50	1	1	3	71	0.50	13.76	7.6	1.105	12.96	15	EMCB	
169	BPCS LRX/LPS	BPCS UPS Requirement	220	11.00	80%	0.85	12.07	31.67	1.00	1.1	39.6	37.7	1 - 1/0	150	1	1	3	71	0.50	87.94	15.6	0.755	47.50	50	EMCB	
170	BPCS SPP	BPCS UPS Requirement	220	10.00	80%	0.85	10.97	28.79	1.00	1.1	36.0	34.3	1 - 1/0	150	1	1	3	74	0.50	87.94	13.5	0.715	43.19	50	EMCB	
171	SIS LRX/SPP	SIS UPS Requirement	220	5.00	80%	0.85	5.49	14.40	1.00	1.1	18.0	17.1	1 - 4	85	1	1	3	73	0.50	34.79	8.7	0.803	21.59	25	EMCB	
172	DCS Server	DCS & SIS Servers, OS and ES computers, RT Gecma computers	220	15.00	80%	0.85	16.46	43.19	1.00	1.1	54.0	25.7	2 - 2	115	1	2	3	85	0.50	55.31	14.7	0.953	64.78	70	EMCB	
173	SPP PU	PU UPS Requirement	220	3.00	80%	0.85	3.29	8.64	1.00	1.1	10.8	10.3	1 - 8	50	1	1	3	68	0.50	13.76	7.3	1.058	12.96	15	EMCB	
174	SPP PU	PU UPS Requirement	220	3.00	80%	0.85	3.29	8.64	1.00	1.1	10.8	10.3	1 - 8	50	1	1	3	69	0.50	13.76	7.4	1.074	12.96	15	EMCB	
175	SPP PU	PU UPS Requirement	220	3.00	80%	0.85	3.29	8.64	1.00	1.1	10.8	10.3	1 - 8	50	1	1	3	71	0.50	13.76	7.6	1.105	12.96	15	EMCB	

CCM-992																											
ITEM [1]	TAG EQUIPO ALIMENTADO [2]	DESCRIPCIÓN [3]	TENSIÓN NOMINAL CIRCUITO (V) [5]	POTENCIA (HP) [6]	EFICIENCIA DEL EQUIPO [7]	FACTOR DE POTENCIA [8]	POTENCIA A PLENA CARGA (KVA) [9]	CORRIENTE A PLENA CARGA IFL (A) [10]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR AGRUPACIÓN [11]	FACTOR DE CORRECCIÓN POR TEMPERATURA [12]	CORRIENTE DE DISEÑO NEC (A) [13]	CAPACIDAD REQUERIDA CONDUCTORES (A) [14]	CALIBRE DEL CONDUCTOR DE FASES (AWG Ó Kcm) [15]	CAPACIDAD NOMINAL DEL CONDUCTOR A 75°C (A) [16]	No. FASES [17]	No. CONDUCTORES POR FASE [18]	No. CONDUCTORES PORTADORES [19]	LONGITUD DEL CIRCUITO (m) [20]	TIEMPO DESPEJE FALLA (CICLOS) [21]	SOPORTABILIDAD AL CORTO CIRCUITO (kA) [22]	PERDIDAS DE POTENCIA (W) [23]	CAIDA DE TENSÓN TOTAL (%) [25]	AJUSTE MÁXIMO NEC DE LA PROTECCIÓN (A) [29]	CAPACIDAD NOMINAL PROTECCIÓN (A) [30]	TIPO PROTECCIÓN [31]		
176	SPP PU	PU UPS Requirement	220	3.00	80%	0.85	3.29	8.64	1.00	1.1	10.8	10.3	1 - 8	50	1	1	3	73	0.50	13.76	7.8	1.136	12.96	15	EMCB		
177	A-2715	Provisional Hoist	460	3.00	80%	0.85	4.78	6.00	1.00	1.1	7.5	7.1	3 - 10	35	3	1	3	86	0.50	8.65	20.4	0.665	9.00	15	EMCB		
178	A-2711	Car Inverter	460	5.00	80%	0.85	7.57	9.50	1.00	1.1	11.9	11.3	3 - 10	35	3	1	3	84	0.50	8.65	49.9	1.029	14.25	15	EMCB		
179	A-2712	PackOut Machine	460	7.50	80%	0.85	10.96	13.75	1.00	1.1	17.2	16.4	3 - 10	35	3	1	3	93	0.50	8.65	115.7	1.649	20.63	20	EMCB		

## **ANEXO C. CÁLCULO COMPUTACIONAL DE FLUJOS DE POTENCIA**

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL**

Barra		Tensión		Generación		Carga		Flujo de Carga				
ID	kV	% Mag.	Áng.	kW	kvar	kW	kvar	ID	kW	kvar	Amp	%FP
* BUS-01	23.000	100.000	0.0	4344.1	2435.7	0	0	BUS-02	4344.079	2435.740	125.0	87.2
BUS-02	23.000	99.996	0.0	0	0	0	0	BUS-01	-4343.929	-2435.627	125.0	87.2
								BUS-04	1794.858	997.944	51.6	87.4
								BUS-07	1873.104	1064.640	54.1	86.9
								BUS-E01	675.967	373.043	19.4	87.6
BUS-04	23.000	99.979	0.0	0	0	0	0	BUS-02	-1794.573	-997.727	51.6	87.4
								BUS-E02	897.279	498.855	25.8	87.4
								BUS-E04	897.294	498.872	25.8	87.4
BUS-07	23.000	99.978	0.0	0	0	0	0	BUS-02	-1872.790	-1064.402	54.1	86.9
								BUS-08	1872.790	1064.402	54.1	86.9
BUS-08	0.460	97.379	-2.3	0	0	0	0	BUS-07	-1863.407	-964.288	2704.3	88.8
								BUS-09	1863.407	964.288	2704.3	88.8
BUS-09	0.460	97.379	-2.3	0	0	0	0	BUS-10	1415.315	716.525	2044.6	89.2
								BUS-13	448.092	247.762	660.0	87.5
								BUS-08	-1863.407	-964.288	2704.3	88.8
BUS-10	0.460	97.231	-2.3	0	0	1413.9	713.9	BUS-09	-1413.943	-713.892	2044.6	89.3
BUS-13	0.460	97.143	-2.3	0	0	0	0	BUS-09	-447.166	-246.871	660.0	87.5
								BUS-14	447.166	246.871	660.0	87.5
BUS-14	0.460	96.847	-2.3	0	0	446.0	245.8	BUS-13	-446.009	-245.756	660.0	87.6
BUS-E01	0.460	95.387	-3.1	0	0	662.8	321.0	BUS-02	-662.831	-321.024	969.1	90.0
BUS-E02	23.000	99.972	0.0	0	0	0	0	BUS-04	-897.223	-498.813	25.8	87.4
								BUS-E03	897.223	498.813	25.8	87.4
BUS-E03	0.460	95.775	-3.2	0	0	885.1	428.7	BUS-E02	-885.110	-428.678	1288.8	90.0
BUS-E04	23.000	99.969	0.0	0	0	0	0	BUS-04	-897.212	-498.810	25.8	87.4
								BUS-E05	897.212	498.810	25.8	87.4
BUS-E05	0.460	95.771	-3.2	0	0	885.1	428.7	BUS-E04	-885.099	-428.673	1288.8	90.0

\* Indica una barra con tensión regulada (con máquinas de tensión controlada o máquinas de referencia conectadas)

# Indica una barra con tiene un error de convergencia de carga mayor a 0.1 MVA

## **ANEXO D. PARÁMETROS DE SECUENCIA DE CABLES Y EQUIPOS**

APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL

<b>TABLA D1. PARÁMETROS DE SECUENCIA DE CABLES</b>															$V_{BASE}$	(kV)	23
															$S_{BASE}$	(MVA)	100
															$Z_{BASE}$	( $\Omega$ )	5.29
CABLE	APLICACIÓN	L (m)	$R_0$ ( $\Omega$ )	$X_0$ ( $\Omega$ )	$X_0/R_0$	$Z_0$ ( $\Omega$ )	$R_1=R_2$ ( $\Omega$ )	$X_1 = X_2$ ( $\Omega$ )	$X_1/R_1$	$Z_1 = Z_2$ ( $\Omega$ )	$R_0$ (pu)	$X_0$ (pu)	$Z_0$ (pu)	$R_1=R_2$ (pu)	$X_1 = X_2$ (pu)	$Z_1 = Z_2$ (pu)	
CP-00	ACOMETIDA PRINCIPAL	25	0.01110	0.00868	0.782	0.01409	0.00335	0.00243	0.724	0.0041	0.002098	0.001640	0.002663	0.00063	0.00046	0.00078	
CP-04	ALIMENTADOR PRINCIPAL SE-02 Y SE-03	280	0.12432	0.09716	0.782	0.15778	0.03752	0.02716	0.724	0.0463	0.023501	0.018367	0.029827	0.00709	0.00513	0.00876	
CP-06	ALIMENTADOR PRINCIPAL SE-02	220	0.09768	0.07634	0.782	0.12397	0.02948	0.02134	0.724	0.0364	0.018465	0.014431	0.023435	0.00557	0.00403	0.00688	
CP-07	ALIMENTADOR PRINCIPAL SE-03	320	0.14208	0.11104	0.782	0.18032	0.04288	0.03104	0.724	0.0529	0.026858	0.020991	0.034088	0.00811	0.00587	0.01001	
CP-08	ALIMENTADOR PRINCIPAL NUEVA CARGA	280	0.12432	0.09716	0.782	0.15778	0.03752	0.02716	0.724	0.0463	0.023501	0.018367	0.029827	0.00709	0.00513	0.00876	
CP-09	ALIMENTADOR CCM-991	8	0.00073	0.00094	1.293	0.00119	0.00023	0.00038	1.655	0.0004	0.000138	0.000179	0.000226	0.00004	0.00007	0.00008	
CP-10	ALIMENTADOR CCM-992	12	0.00110	0.00142	1.293	0.00179	0.00035	0.00058	1.655	0.0007	0.000207	0.000268	0.000339	0.00007	0.00011	0.00013	
CP-11	ALIMENTADOR CCM-992	15	0.00137	0.00177	1.293	0.00224	0.00044	0.00072	1.655	0.0008	0.000259	0.000335	0.000423	0.00008	0.00014	0.00016	

<b>TABLA D2. PARÁMETROS DE SECUENCIA DE TRANSFORMADORES</b>										$V_{BASE}$	(kV)	23	
										$S_{BASE}$	(MVA)	100	
										$Z_{BASE}$	( $\Omega$ )	5.29	
TRANSFORMADOR	DESCRIPCIÓN						Z%	$S_{BASE}$ (MVA)	$S_{BASE}$ NUEVA (MVA)	$Z_0 = Z_1$ (pu)*	$X_0/R_0 = X_1/R_1$	$R_0 = R_1$ (pu)*	$X_0 = X_1$ (pu)*
TR-SE-PP	TRANSFORMADOR SUBESTACIÓN PRINCIPAL						6.75	0.750	100	9.00	3.96	2.20355	8.72607
TR-SE-02	TRANSFORMADOR SUBESTACIÓN 2						6.75	1.000	100	6.75	5.79	1.14880	6.65152
TR-SE-03	TRANSFORMADOR SUBESTACIÓN 3						6.75	1.000	100	6.75	5.79	1.14880	6.65152
TR-SE-01	TRANSFORMADOR SUBESTACIÓN NUEVA						6.00	2.500	100	2.40	5.79	0.40846	2.36499

TABLA D3. PARÁMETROS DE SECUENCIA DE EQUIPOS MOTRICES					$V_{BASE}$	(kV)	23
					$S_{BASE}$	(MVA)	100
					$Z_{BASE}$	( $\Omega$ )	5.29
CARGA TÍPICA	$X_d''$ (pu)	$S_{BASE}$ (MVA)	$S_{BASE\ NUEVA}$ (MVA)	$X_1 = 1/2 X_d''$ (pu)	$X_1/R_1$	$R_1$ (pu)	$Z^*$
<b>SE-PP</b>	0.20000	0.600	100	33.33	2.380	14.01	14.21
<b>SE-02</b>	0.20000	0.800	100	25.00	2.380	10.50	10.77
<b>SE-03</b>	0.20000	0.800	100	25.00	2.380	10.50	10.77
<b>A-730</b>	0.14456	0.014	100	1026.70	1.74300	589.04	589.05
<b>B-302</b>	0.14456	0.0054	100	2697.01	1.74300	1547.34	1547.34
<b>D-301</b>	0.14456	0.00512	100	2823.44	1.74300	1619.87	1619.87
<b>X-401</b>	0.14456	0.0032	100	4517.50	1.74300	2591.80	2591.80
<b>X-501</b>	0.14456	0.0032	100	4517.50	1.74300	2591.80	2591.80
<b>V-501</b>	0.14456	0.0032	100	4517.50	1.74300	2591.80	2591.80
<b>X-551</b>	0.16077	0.1208	100	133.09	3.65900	36.37	36.56
<b>V-551</b>	0.14456	0.0032	100	4517.50	1.74300	2591.80	2591.80
<b>X-400A</b>	0.16077	0.01968	100	816.92	3.65900	223.26	223.29
<b>X-400B</b>	0.16077	0.01968	100	816.92	3.65900	223.26	223.29

## ANEXO E. CÁLCULO COMPUTACIONAL DE CORRIENTES DE FALLA

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL**

Falta en Barra: BUS-01

Tensión pre-falta = 23.000 kV = 100.00 % kV nominal de barra ( 23.000 kV)  
= 100.00 % kV base ( 23.000 kV)

Contribución		Falta Línea-a-Línea-a-Tierra														
		% Tensión en Barra Origen						Corriente en Barra Origen (kA)						Corriente de Secuencia (kA)		
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic				
Barra Origen ID	Barra Destino ID	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	I1	I2	I0
BUS-01	Total	122.81	-0.5	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	5.010	179.1	4.893	33.9	3.222	2.234	0.989
BUS-02	BUS-01	122.81	-0.5	0.01	-133.2	0.01	58.6	0.082	-72.1	0.400	-170.4	0.396	21.4	0.270	0.188	0.000
CFE RES-27	BUS-01	100.00	0.0	100.00	-120.0	100.00	120.0	0.082	107.9	4.617	178.2	4.507	35.0	2.952	2.046	0.989

Falta en Barra: BUS-02

Tensión pre-falta = 23.000 kV = 100.00 % kV nominal de barra ( 23.000 kV)  
= 100.00 % kV base ( 23.000 kV)

Contribución		Falta Línea-a-Línea-a-Tierra														
		% Tensión en Barra Origen						Corriente en Barra Origen (kA)						Corriente de Secuencia (kA)		
		Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic				
Barra Origen ID	Barra Destino ID	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	I1	I2	I0
BUS-02	Total	122.83	-0.5	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	5.004	179.1	4.887	33.9	3.218	2.232	0.987
BUS-01	BUS-02	122.77	-0.5	0.18	-166.0	0.17	96.9	0.082	108.0	4.611	178.2	4.501	35.0	2.948	2.044	0.987
BUS-04	BUS-02	122.84	-0.5	0.04	-128.5	0.04	63.4	0.027	-67.4	0.130	-165.7	0.129	26.2	0.088	0.061	0.000
BUS-07	BUS-02	122.85	-0.5	0.08	-137.2	0.07	54.5	0.045	-76.0	0.222	-174.4	0.220	17.3	0.150	0.105	0.000
BUS-E01	BUS-02	75.88	-7.6	73.46	-172.4	19.97	96.9	0.010	-66.6	0.049	-164.9	0.048	27.1	0.033	0.023	0.000

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL**

Falta en Barra: BUS-04

Tensión pre-falta = 23.000 kV = 100.00 % kV nominal de barra ( 23.000 kV)  
= 100.00 % kV base ( 23.000 kV)

**Falta Línea-a-Línea-a-Tierra**

Contribución		% Tensión en Barra Origen						Corriente en Barra Origen (kA)						Corriente de Secuencia (kA)		
Barra Origen	Barra Destino	Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		I1	I2	I0
ID	ID	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.			
BUS-04	Total	123.05	-0.6	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	4.936	179.9	4.812	34.4	3.169	2.205	0.966
BUS-02	BUS-04	122.36	-0.4	2.07	-163.9	1.91	95.6	0.027	112.8	4.810	179.5	4.684	34.6	3.082	2.144	0.966
BUS-E02	BUS-04	123.06	-0.6	0.02	-128.5	0.02	63.4	0.013	-67.2	0.065	-165.7	0.064	26.2	0.044	0.031	0.000
BUS-E04	BUS-04	123.06	-0.6	0.03	-128.5	0.02	63.4	0.013	-67.2	0.065	-165.7	0.064	26.2	0.044	0.031	0.000

Falta en Barra: BUS-07

Tensión pre-falta = 23.000 kV = 100.00 % kV nominal de barra ( 23.000 kV)  
= 100.00 % kV base ( 23.000 kV)

**Falta Línea-a-Línea-a-Tierra**

Contribución		% Tensión en Barra Origen						Corriente en Barra Origen (kA)						Corriente de Secuencia (kA)		
Barra Origen	Barra Destino	Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		I1	I2	I0
ID	ID	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.			
BUS-07	Total	123.06	-0.6	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	4.938	179.8	4.813	34.4	3.171	2.206	0.966
BUS-02	BUS-07	122.37	-0.4	2.04	-164.1	1.89	96.3	0.045	104.1	4.717	179.6	4.603	35.2	3.022	2.101	0.966
BUS-08	BUS-07	76.32	-8.4	73.99	-171.7	21.96	96.0	0.045	-75.9	0.223	-174.4	0.220	17.2	0.150	0.105	0.000

**APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE FLUJOS DE CARGA Y CORTOCIRCUITO  
A LA OPTIMIZACIÓN DEL DISEÑO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO INDUSTRIAL**

Falta en Barra: BUS-08

Tensión pre-falta = 0.460 kV = 100.00 % kV nominal de barra ( 0.460 kV)  
= 100.00 % kV base ( 0.460 kV)

**Falta Línea-a-Línea-a-Tierra**

Contribución		% Tensión en Barra Origen						Corriente en Barra Origen (kA)						Corriente de Secuencia (kA)		
Barra Origen	Barra Destino	Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		I1	I2	I0
ID	ID	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.			
BUS-08	Total	102.49	1.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	61.749	159.7	63.837	37.1	41.851	21.767	20.101
BUS-07	BUS-08	90.39	27.6	81.81	-87.8	92.22	154.4	4.778	100.0	48.738	153.5	49.875	40.7	31.214	16.196	19.797
BUS-10	BUS-09	102.75	1.0	1.01	-120.2	1.01	88.5	3.643	-81.8	11.205	179.9	11.224	23.4	8.313	4.365	0.319
BUS-13	BUS-09	102.85	0.9	1.17	-128.6	1.18	72.1	1.142	-74.3	3.149	-172.5	3.193	28.2	2.372	1.231	0.000

Falta en Barra: BUS-09

Tensión pre-falta = 0.460 kV = 100.00 % kV nominal de barra ( 0.460 kV)  
= 100.00 % kV base ( 0.460 kV)

**Falta Línea-a-Línea-a-Tierra**

Contribución		% Tensión en Barra Origen						Corriente en Barra Origen (kA)						Corriente de Secuencia (kA)		
Barra Origen	Barra Destino	Va		Vb		Vc		Ia		Ib		Ic		I1	I2	I0
ID	ID	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.	Mag.	Áng.			
BUS-09	Total	102.49	1.0	0.00	0.0	0.00	0.0	0.000	0.0	61.749	159.7	63.837	37.1	41.851	21.767	20.101
BUS-10	BUS-09	102.75	1.0	1.01	-120.2	1.01	88.5	3.643	-81.8	11.205	179.9	11.224	23.4	8.313	4.365	0.319
BUS-13	BUS-09	102.85	0.9	1.17	-128.6	1.18	72.1	1.142	-74.3	3.149	-172.5	3.193	28.2	2.372	1.231	0.000
BUS-07	BUS-08	90.39	27.6	81.81	-87.8	92.22	154.4	4.778	100.0	48.738	153.5	49.875	40.7	31.214	16.196	19.797