

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



**“Evaluación del Sistema Eléctrico de Potencia del Área de
Producción El Jobal de CVG BAUXILUM Los Pijiguaos, Municipio
Cedeño-Estado Bolívar”**

REALIZADO POR:

José Javier Díaz Hernández

C.I 16.054.914

Trabajo de Grado Presentado Ante la Universidad de Oriente Como Requisito
Parcial para Optar al Título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Barcelona, Marzo 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



**“Evaluación del Sistema Eléctrico de Potencia del Área de
Producción El Jobal de CVG BAUXILUM Los Pijiguaos, Municipio
Cedeño-Estado Bolívar”**

José Javier Díaz Hernández

Nombre del Estudiante

Firma

Revisado y Aprobado por:

Ing. Luis Suárez

Asesor Académico

Firma

Ing. Edwin Pérez

Asesor Industrial

Firma

Barcelona, Marzo 2009

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD



**“Evaluación del Sistema Eléctrico de Potencia del Área de
Producción El Jobal de CVG BAUXILUM Los Pijiguaos, Municipio
Cedeño-Estado Bolívar”**

JURADO:

El Jurado hace constar que asignó a esta Tesis la calificación de:

Prof. Luís Suárez
Asesor Académico

Prof. Santiago Escalante
Jurado Principal

Prof. Hernán Parra
Jurado Principal

Barcelona, Marzo 2009



RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del Reglamento de Trabajo de Grado: **“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participara al consejo universitario”**.



DEDICATORIA

A Dios todopoderoso por siempre estar a mi lado y haberme dado la fuerza, salud y motivación para superar todos los obstáculos que se me presentaron en mi vida.

A mi madre Saray Hernández por todo el amor que me ha dado y nunca perder las esperanzas en mí apoyándome en todos mis proyectos, eres la razón por la cual alcance esta meta te amo mamá.

A la memoria de mi Padre José Díaz, porque sé que en el lugar donde este siempre me apoyo y está muy orgulloso de mi.

A mi hermana Andrevis Díaz por quererme como un hijo y enseñarme que con esfuerzo y mucho trabajo se logran las metas deseadas, te quiero mucho.

A ti mi bella (Reivis Valdiviezo) por creer en mí, tenerme paciencia, apoyarme en todo momento y compartir tantos momentos hermosos durante estos cinco años, gran parte de este logro te lo debo a ti, TE AMO.



AGRADECIMIENTO

A mi madre Saray Hernández y segundo padre Braulio Guillen por quererme, apoyarme en todo momento y nunca dejar de creer en mí.

A mis hermanos Servidia, Andrevis, Erika, Zaida, Ruth, Braulio y Moisés, por todo su cariño, estar a mi lado y darme ánimos en todo momento.

A todo el resto de mi familia Sobrinos y cuñados. Que de una u otra forma siempre estuvieron conmigo durante todo este tiempo.

A la empresa CVG Bauxilum, por darme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de grado e iniciarme profesionalmente en el campo de laboral.

Al Ing. Edwin Pérez por brindarme su amistad y confianza, apoyándome durante el desarrollo de mi tesis.

A la unidad de alta tensión y los técnicos Pedro Sanz, Manuel y Víctor Dellepiani, Williams Cedeño, Johnny Sánchez y Luis Rumbo por brindarme sus conocimientos y amistad durante mi pasantía.

A la universidad de oriente y el departamento de electricidad por permitirme formarme como ingeniero y ser mi segunda casa.

A los profesores Luis Suarez, Santiago Escalante, Pedro López, Hernán Parra por brindarme su amistad e impartir sus conocimientos durante mi carrera.



A mis mejores amigos Julio, Juan Francisco (John Frank), Neyfí, Eduardo, Luis Miguel (Mojí), Jesús Guillermo (Chuo), Juan José, Daniel, Anmaylin (la niña), Dos Santos, Eimmy, Mariangel, Ángela, José Ortiz, por enseñarme el valor de la amistad y estar siempre cuando los necesite, por todos los buenos momentos vividos siempre serán parte importante de mi vida.

A mis amigos del departamento Antonio, Martha, Sombay, Sonrisa, Pedro bello, María León, Vicente, Regue, Staling, Choncho, La Flaca, Talco, Luis Cedeño, El Pulpo, El Pollo, Paty-Paty, Carlos Márquez, Hoover, Rossibel, Marinel, Chatein, Anderson, Flipper, Vanessa y todos los demás que compartieron conmigo durante toda mi carrera.

A mis panas de Pijiguaos los de tascatorce (Pedro, Roberto, Carlitos, Jeickson, Jesús Sánchez, Henry, Manuel, Jean Carlos, Luis Aguero) y mis amigas de la once (Adriana, Martha, Natalyht, Nohemí, Lizbeth y Yanireth) por todo las rumbas vividas y hacerme sentir en casa a pesar de estar tan lejos.

A todos de corazón GRACIAS!!!!!!!!!!



RESUMEN

El principio fundamental de todo sistema eléctrico es brindar un suministro eléctrico permanente, con la menor cantidad de interrupciones, el cual cumpla con las siguientes características: continuidad, flexibilidad y confiabilidad.

Dentro de este trabajo se evaluará el sistema eléctrico de potencia del área de producción El Jobal en CVG BAUXILUM- MINA en los Pijiguaos.

El trabajo a desarrollar dentro de la empresa tiene como objetivo realizar los estudios de cortocircuito, flujo de carga y compensación de reactivos en el circuito de producción del área El Jobal.

La finalidad de este trabajo es que la empresa conozca la situación actual de dicho sistema eléctrico y pueda utilizar estos resultados para desarrollar proyectos a futuro en los cuales se puedan adoptar mejoras en los procesos de producción, así como minimizar las variaciones de voltaje y mejorar las condiciones operativas del sistema eléctrico de la misma.



TABLA DE CONTENIDO

RESOLUCIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	VIII
TABLA DE CONTENIDO	IX
LISTA DE FIGURAS	XIV
LISTA DE TABLAS	XVI
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Descripción de la Empresa	1
1.1.1 Antecedentes históricos	2
1.1.2 Ubicación geográfica	20
1.1.3 Vías de acceso	20
1.2 Reseña Institucional de C.V.G BAUXILUM	21
1.2.1 Misión de la empresa	21
1.2.2 Visión de la empresa	21
1.2.3 Política de calidad, ambiente y seguridad	21
1.2.4 Metas de la empresa	22
1.2.5 Objetivos de la empresa	22
1.2.6 Principios y valores	22
1.2.7 Proceso Productivo	23
1.2.7.1 La Mina	23
1.2.7.2 Pie de Cerro	24
1.2.7.3 El Jobal	26
1.3 Descripción del Sistema Eléctrico	28
1.4 Sistema de Transmisión Sur	30



1.4.1	Objetivos.....	30
1.4.2	Descripción.....	31
1.4.3	Cruce sobre el río Orinoco.....	31
1.5	Circuitos Principales.....	32
1.5.1	Campamento, área residencial.....	32
1.5.2	La Mina, área industrial.....	32
1.5.2.1	Subestación centro de trituración (EDELCA).....	33
1.5.2.2	Subestación Correa de bajada (DHC).....	33
1.5.2.3	Sistema de distribución de la Gerencia Mina.....	33
1.5.3	Pie de Cerro, área industrial.....	33
1.5.3.1	Sistema de distribución de Manejo de mineral.....	33
1.5.4	El Jobal, área industrial.....	33
1.5.4.1	Patio de almacenamiento.....	34
1.5.4.2	Puerto El Jobal.....	34
1.5.4.3	Edificaciones.....	34
1.6	Características de los transformadores en el sistema.....	34
	CAPITULO II.....	19
	DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO.....	19
2.1	Introducción.....	19
2.2	Conceptos Generales.....	19
2.2.1	Sistema Eléctrico.....	19
2.2.2	Parámetros de Operación.....	19
2.2.2.1	Continuidad.....	19
2.2.2.2	Calidad.....	38
2.2.2.3	Flexibilidad.....	38
2.2.3	Redes de Distribución.....	38
2.2.4	Redes de Distribución Aéreas.....	38
2.2.5	Líneas de alimentación.....	38



2.3 Verificación de los Equipos Conectados al Sistema de Distribución de El Jobal.....	39
2.3.1 Subestación los Pijiguaos.....	39
2.3.2 Subestación El Jobal.....	41
2.3.3 Subestación 07UB01.....	42
2.3.3.1 Apiladores ST 7.09 y ST 7.07.....	45
2.3.4 Subestación 07UB02.....	46
2.3.5 Subestación 07UB03.....	48
2.3.6 Subestación 07UB04.....	50
2.3.7 Subestación 08UB01.....	51
2.3.8 Subestación 08UB03.....	53
2.3.8.1 Cargador de Gabarras BL 8.05.....	55
2.3.9 Sistema de Distribución El Jobal.....	57
2.3.10 Línea de Transmisión.....	57
CAPITULO III.....	41
ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO.....	41
3.1 Introducción.....	41
3.2 CONCEPTOS GENERALES.....	41
3.2.1 Falla.....	41
3.2.1.1 Falla en un Sistema de Potencia.....	41
3.2.1.2 Tipos de Fallas en un Sistema de Potencia.....	60
3.2.1.3 Prevención de Fallas.....	62
3.2.1.4 Disminución de los Efectos de una Falla.....	63
3.2.2 Corriente de Cortocircuito.....	63
3.2.2.1 Fuentes de Corriente de Cortocircuito.....	63
3.2.2.2 Causas de los Cortocircuitos.....	65
3.2.2.3 Protección Adecuada Contra Cortocircuitos.....	65
3.2.3 Perturbaciones.....	66
3.2.3.1 Sobrecargas.....	66



3.2.3.2 Sobretensiones.	66
3.2.3.3 Oscilaciones.	67
3.2.3.4 Desequilibrio.	67
3.2.4 Fundamentos de las Componentes Simétricas.	67
3.2.5 Diagrama de Impedancias.	68
3.3 Metodología del Cálculo.	71
3.3.1 Cálculos de Cortocircuito.	71
3.4 Resultados.	78
3.5 Comparación de Resultados.	80
CAPITULO IV	81
ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA	81
4.1 Introducción.	81
4.2 Conceptos Generales.	81
4.2.1 Flujo de Carga.	81
4.2.2 Objetivos del Estudio de Flujo de Carga.	82
4.2.3 Tipos de Barras.	82
4.2.3.1 Barra PQ.	83
4.2.3.2 Barra PV.	83
4.2.3.3 Barra de Referencia.	84
4.2.4 Métodos Para el Estudio de Flujo de Carga.	85
4.2.4.1 Método de Gauss-Seidel.	86
4.2.4.1.1 Características del Método de Gauss-Seidel.	86
4.2.4.2 Método de Gauss-Seidel con Factor de Aceleración (α).	87
4.2.4.3 Método de Newton-Raphson.	87
4.2.4.4 Método de Newton-Raphson Desacoplado.	88
4.2.4.4.1 Características del Método de Newton-Raphson Desacoplado.	88
4.2.4.5 Método de Newton-Raphson desacoplado con jacobianos Constantes.	89



4.2.4.5.1 Características del Método.....	89
4.2.5 Herramientas Computacionales para el Estudio de Flujo de Carga.....	90
4.3 Metodología Utilizada.....	92
4.3.1 Resultados.....	93
4.3.1.1 Escenario#1 El Sistema Opera en Condiciones Nominales a Nivel de Tensión.....	94
4.3.1.2 Escenario#2 El Sistema Opera con un Nivel de Tensión por Debajo de lo Ideal.....	96
4.3.1.3 Escenario#3 El Sistema Opera con un Nivel de Tensión por Encima de lo Ideal.....	98
CAPITULO V.....	100
ESTUDIO DE COMPENSACION DE REACTIVOS.....	100
5.1 Introduccion.....	100
5.2 Conceptos Generales.....	100
5.2.1 Factor de Potencia.....	100
5.2.2 Tipos de Potencia.....	101
5.2.2.1 La Potencia Efectiva o Real.....	101
5.2.2.2 La Potencia Reactiva.....	102
5.2.2.3 La Potencia Aparente.....	102
5.2.3 Causas de un Bajo Factor de Potencia.....	102
5.2.4 Problemas Técnico-Económicos Generados por Tener un Bajo Factor de Potencia.....	103
5.2.5 Beneficios Técnico-Económicos Generados por Mejorar el Factor de Potencia.....	103
5.2.6 Compensación de Reactivos.....	104
5.2.7 Métodos de Compensación de Energía Reactiva.....	104
5.2.8 Formas de Compensación de energía reactiva.....	105
5.2.8.1 Compensación Individual.....	105
5.2.8.1.1 Ventajas de la Compensación Individual.....	105



5.2.8.1.2 Observaciones de la Compensación Individual.	106
5.2.8.2 Compensación en grupo.	106
5.2.8.2.1 Ventajas de la Compensación en Grupo.	106
5.2.8.2.2 Observaciones de la Compensación en Grupo.	107
5.2.8.3 Compensación central.	107
5.2.8.3.1 Ventajas de la Compensación Central.	107
5.2.8.3.2 Observaciones de la Compensación Central.	108
5.2.8.4 Compensación Mixta.	108
5.2.8.5 Requerimientos Para la Compensación de Energía Reactiva Mediante el uso de Condensadores.	108
5.3 Metodología del Cálculo.	109
5.3.1 Cálculos.	110
5.4 Resultados.	112
5.5 Ubicación Óptima de los Bancos.	112
5.6 Comparación de Resultados.	114
CAPITULO VI	115
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	115
6.1 Conclusiones.	115
6.2 Recomendaciones.	116
BIBLIOGRAFIA	117
ANEXOS	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 1	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 2	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 3	¡Error! Marcador no definido.
ANEXO 4	¡Error! Marcador no definido.
METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:	120



LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1	Vista de la mina, Molino de trituración, Proceso de extracción.	24
Figura 1.2	Tolva de transferencia, correa de bajada.	24
Figura 1.3	Patios de homogenización, Diagrama de flujo de Pie de Cerro.	25
Figura 1.4	Locomotora que transporta el mineral.	25
Figura 1.5	Volcadora de Vagones, Diagrama de flujo del área de El Jobal	27
Figura 1.6	Muelle de El Jobal, Cargadora de gabarras.	27
Figura 2.1	Transformador de la subestación Pijiguaos, Pórtico de salida a nivel de 115 kV.	39
Figura 2.2	Transformador de la subestación 07UB01.	39
Figura 2.3	Apilador ST 7.09, transformador seco de 400 KVA.	43
Figura 2.4	Transformador de la subestación 07UB02.	43
Figura 2.5	Recuperador RC 7.10, Transformador seco de 800 KVA.	46
Figura 2.6	Transformador de la subestación 07UB03.	46
Figura 2.7	Subestación 07UB04, transformador seco.	48
Figura 2.8	Subestación 08UB01, interior de la subestación.	51
Figura 2.9	Subestación 08UB03, transformador 12BFT03.	51
Figura 2.10	Cargadora de gabarras, vista frontal del transformador.	55
Figura 3.1	Falla de fase a tierra.	61
Figura 3.2	Falla de fase a fase.	62
Figura 3.3	Falla trifásica.	62
Figura 3.4	Componentes Simétricas.	68
Figura 3.5	Diagrama del sistema.	69



Figura 3.6	Diagrama de secuencia positiva.	69
Figura 3.7	Diagrama de secuencia negativa.	70
Figura 3.8	Diagrama de secuencia cero.	70
Figura 3.9	Diagrama de bloque del sistema eléctrico de El Jobal.	74
Figura 3.10	Diagrama de bloque en MVA del sistema eléctrico de El Jobal.	75
Figura 4.1	Tipos de barras.	81
Figura 5.1	Triangulo de potencias eléctricas.	102
Figura 5.2	Compensación Individual.	105
Figura 5.3	Compensación Grupal.	106
Figura 5.4	Compensación central.	107



LISTA DE TABLAS

Tabla 1.1	Características de las unidades generadoras.	29
Tabla 1.2	Características de los transformadores de distribución.	35
Tabla 1.3	Características de los transformadores de potencia.	36
Tabla 2.1	Característica de placa de los transformadores de la S/E Pijiguaos.	40
Tabla 2.2	Interruptor de potencia de entrada a la barra de 13.8 kV.	41
Tabla 2.3	Interruptor de potencia de cada uno de los circuitos de salida a 13.8 kV.	42
Tabla 2.4	Características de placa de los transformadores de la S/E El Jobal.	43
Tabla 2.5	Equipos instalados y consumos de la S/E 07UB01.	44
Tabla 2.6	Equipos instalados y consumos de los Apiladores ST 7.07 y 7.09.	45
Tabla 2.7	Equipos instalados y consumos de los recuperadores RC 7.10 y 7.13.	47
Tabla 2.8	Equipos instalados y consumos de la S/E 07UB02.	49
Tabla 2.9	Equipos instalados y consumos de la S/E 07UB03.	50
Tabla 2.10	Equipos instalados y consumos de la S/E07UB04.	52
Tabla 2.11	Equipos instalados y consumos de la S/E08UB01.	54
Tabla 2.12	Equipos instalados y consumos de la S/E08UB03.	55
Tabla 2.13	Equipos instalados y consumos de la cargadora de gabarras BL.8.05.	56
Tabla 2.14	Transformadores instalados y carga consumida del sistema distribución El Jobal.	58
Tabla 3.1	MVA de los equipos y líneas conectados al sistema eléctrico de El Jobal.	73
Tabla 3.2	Niveles de cortocircuito de la S/E 07UB01.	78
Tabla 3.3	Niveles de cortocircuito de la S/E 07UB03.	79
Tabla 3.4	Niveles de cortocircuito de la S/E 07UB03.	79
Tabla 3.5	Niveles de cortocircuito de la S/E 07UB04.	79
Tabla 3.6	Niveles de cortocircuito de la S/E 08UB01.	79



Tabla 3.7	Niveles de cortocircuito de la S/E 08UB03.	80
Tabla 3.8	Niveles de cortocircuito de la cargadora de gabarras BL-8.05.	80
Tabla 4.1	Valores Según Normas ANSI C84.1-1995.	93
Tabla 4.2	Escenarios para el estudio de flujo de carga.	93
Tabla 4.3	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 07UB02 escenario #1.	94
Tabla 4.4	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 07UB01-07UB03-07UB04 escenario #1.	94
Tabla 4.5	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 08UB01-08UB03-BL-8.05 escenario #1	94
Tabla 4.6	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 07UB02 escenario #2.	95
Tabla 4.7	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 07UB01-07UB03-07UB04 escenario #2.	96
Tabla 4.8	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 08UB01-08UB03-BL-8.05 escenario #2.	96
Tabla 4.9	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 07UB02 escenario #3.	97
Tabla 4.10	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 07UB01-07UB03-07UB04 escenario #3.	98
Tabla 4.11	Resultados del Estudio de Flujo de Carga en S/E 08UB01-08UB03-BL-8.05 escenario #3.	99
Tabla 5.1	Lectura de contadores electrónicos en el último semestre del año 2008.	110
Tabla 5.2	Resultados de los Cálculos de Compensación de Reactivos en el Sistema Eléctrico de El Jobal.	113



CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1 Descripción de la Empresa.

1.1.1 Antecedentes históricos.

C.V.G. BAUXIVEN, se creó en 1979 con la misión de explotar el yacimiento de Los Pijiguaos, siendo sus principales accionistas la Corporación Venezolana de Guayana y C.V.G. Ferrominera del Orinoco. Inició sus operaciones oficialmente en 1983, enviando las primeras gabarras con mineral de Bauxita, a través del río Orinoco, desde el puerto Gumilla de El Jobal hasta el muelle en Matanzas.

C.V.G. INTERALUMINA, se creó a fines de 1977 con la participación mayoritaria de la Corporación Venezolana de Guayana y el Fondo de Inversiones de Venezuela, asociados con la empresa Suiza Swiss Aluminium. Inició oficialmente sus operaciones el 24 de Abril de 1983. Su capacidad instalada inicial fue de 1 millones t/año y en 1992, mediante la implementación del Plan de Ampliación, fue aumentada su capacidad a 2 millones t/año.

C.V.G. BAUXILUM, C.A. es el producto de la fusión realizada en el año 1994 entre C.V.G. BAUXIVEN y C.V.G. INTERALUMINA. La participación accionaria de la compañía lo constituyen 99% de inversión Venezolana, representada por la Corporación Venezolana de Guayana y un 1% de capital extranjero, correspondiente al consorcio Alusuisse Lonza Holding, el objetivo de esta fusión, es de reducir los costos a través de una simplificación estructural administrativa para mejorar la



competitividad del aluminio venezolano en el mercado mundial, caracterizado por una amplia competencia de precios.

C.V.G. BAUXILUM, C.A. en la zona Los Pijiguaos se encarga de la explotación de los yacimientos del mineral de Bauxita con una capacidad instalada de 5.800 millones t/año.; y en la zona Matanzas, transforma por medio del Proceso Bayer, la Bauxita en Alúmina Grado Metalúrgico con una capacidad instalada de 2 millones de t/año.

1.1.2 Ubicación geográfica.

El área de los Pijiguaos está ubicada en el extremo norte de la serranía del mismo nombre, al Noroeste del municipio Cedeño, en el estado Bolívar, a 500 kilómetros al sur de Caracas y 520 kilómetros del Suroeste de ciudad Guayana, enmarcada entre los ríos Suapure y Caripo, a una distancia de 52 kilómetros del río Orinoco, **ver figura 1 del anexo 1.**

1.1.3 Vías de acceso.

El acceso por vía terrestre se realiza por medio de las carreteras asfaltadas que parten de Ciudad Bolívar (520 Km.), Caicara del Orinoco (162 km.) o desde Puerto Ayacucho, en el estado Amazonas (171 km.). Mientras que por vía aérea se puede ingresar por medio de la pista de aterrizaje de la empresa, esta pista tiene una longitud aproximada de 1.7 km. Y está ubicada en el campamento de CVG Bauxilum.

También se puede acceder por vía fluvial a través de los ríos Orinoco y Suapure hasta la localidad de bebederos, donde se halla un embarcadero que por medio de una carretera se puede llegar al campamento (centro poblado) ubicado a 23 Km.



1.2 Reseña Institucional de C.V.G BAUXILUM.

La C.V.G BAUXILUM es una empresa que se encarga de la extracción y de bauxita, cuyo yacimiento se encuentra en el cerro Páez de la ciudad de los Pijiguaos, en el municipio Cedeño, para luego enviar la materia prima a C.V.G BAUXILUM PLANTA para ser procesada y así obtener alúmina calcinada de alto grado metalúrgico.

1.2.1 Misión de la empresa.

Producir y distribuir comercialmente la alúmina, en forma competitiva con calidad integral de gestión, para alimentar el crecimiento de la industria nacional.

1.2.2 Visión de la empresa.

Constituirse en un brazo fundamental para el desarrollo sustentable de la industria nacional, a fines de alcanzar la soberanía productiva, con un tejido industrial consolidado y desconcentrado, con nuevas redes de asociación fundamentadas en la cogestión y la inclusión social.

1.2.3 Política de calidad, ambiente y seguridad.

La empresa cuenta actualmente con la certificación ISO 9001-2000, la cual especifica los requisitos para el sistema de gestión de calidad. Esta política se basa en fomentar el desarrollo, la participación del recurso humano y el mejoramiento continuo, en los procesos de explotación de bauxita y producción de alúmina, cumpliendo con las normas de calidad, ambiente, salud y seguridad laboral para satisfacer los requerimientos y expectativas de nuestros clientes, con altos niveles de rentabilidad, competitividad y responsabilidad social.



1.2.4 Metas de la empresa.

C.V.G Bauxilum, tiene como meta para el año 2008 alcanzar la producción de 5.800.000 toneladas logradas el año pasado.

1.2.5 Objetivos de la empresa.

- Satisfacer los requerimientos de alúmina de la industria nacional.
- Mejorar imagen institucional y contribuir con la conservación del ambiente.
- Cumplir con los requerimientos del cliente.
- Mejorar la eficacia de los procesos operativos y administrativos.
- Incrementar los niveles de producción.
- Desarrollar capacidades del recurso humano.

1.2.6 Principios y valores.

- Excelencia: obtener una calidad superior a los estándares de categoría mundial, estableciendo acciones dirigidas al mejoramiento continuo de la organización y sus trabajadores.
- Honestidad: conducta de sus trabajadores debe ser con sentido de justicia, responsabilidad y honradez.
- Participación: parte activa en el mejoramiento continuo de la gestión y procesos en pro del logro de la misión, visión y objetivo de la empresa.
- Conciencia Ambiental: compromiso individual y colectivo, frente a la defensa y el mejoramiento del ambiente, utilizando los recursos naturales y energéticos eficientemente y así preservarlo para las generaciones futuras.
- Compromiso: propiciar y fortalecer la identificación y lealtad del trabajador con la organización, para el logro de la misión, visión y objetivos de la empresa, a través del desarrollo y reconocimiento del recurso humano.



1.2.7 Proceso Productivo.

El proceso productivo de la empresa el cual abarca extracción, almacenamiento, carga y transporte de la bauxita se lleva a cabo dentro de las siguientes áreas: La Mina, Pie de Cerro (área de homogenización) y El Jobal (área de almacenamiento y embarque).

En la **figura 2 del anexo 1**, se muestra un resumen del proceso productivo de la empresa.

1.2.7.1 La Mina.

El proceso de producción comienza en esta área, donde se desarrolla la explotación de la bauxita con una técnica llamada: Método de Tiras o método de explotación “en descubierto”. El primer paso para esto es remover y apilar la capa vegetal, cuando la capa del suelo mineralizado es descubierto se procede a su extracción con las palas hidráulicas, las cuales cargan a los camiones roqueros que tienen una capacidad de 90 y 100 toneladas.

Estos camiones llevan el material hasta el área de trituración, una vez en esta sala se prepara el mineral a la granulometría máxima de 10 cm para su manejo y posterior transporte, debido a que este material tiene un peso nominal de 1320 a 1400 Kg/m³, Luego este mineral es llevado desde Sala de Trituración a través de la cinta transportadora C1 hasta la correa de bajada. (Figura 1.1)

La correa de bajada (CV4.01) es el medio de transportar el mineral de la parte superior del yacimiento hasta Pie de Cerro, esta tiene una longitud de 4.2 Km. Y una pendiente de inclinación de aproximadamente 18°, esta correa opera con tecnología de teleférico y opera a una capacidad de 1600 tn/hr. (Figura 1.2)



Figura 1.1 Vista de la Mina (lado derecho). Molino de trituración (centro).Proceso de extracción (lado izquierdo), [El autor].



Figura 1.2 Tolva de transferencia (lado izquierdo). Correa de bajada (lado derecho), [El autor].

1.2.7.2 Pie de Cerro.

Pie de Cerro es el área de enlace Entre la Mina y el Jobal, a esta llega el mineral procedente de la Mina el cual desciende por la correa de bajada, el mineral es agrupado por dos apiladores que operan a 1600 Toneladas/hora en 4 (cuatro) patios de homogenización (**figura 1.3**) los cuales poseen una capacidad de 250.000



toneladas cada uno. El mineral apilado en los patios es tomado mediante unos sistemas de recuperadores tipo puente con dos ruedas de cangilones que a trabaja a 3600 toneladas/hora y movilizados a través de cintas transportadoras hasta un silo dosificador en donde se cargan los vagones con capacidad de 90 toneladas.

Una locomotora transporta un corte conformado por 40 vagones remolcados a través de 54 Km. de vía férrea hasta llegar a Puerto Gumilla (área de apilamiento y carga de gabarras en el Jobal). (**Figura 1.4**)

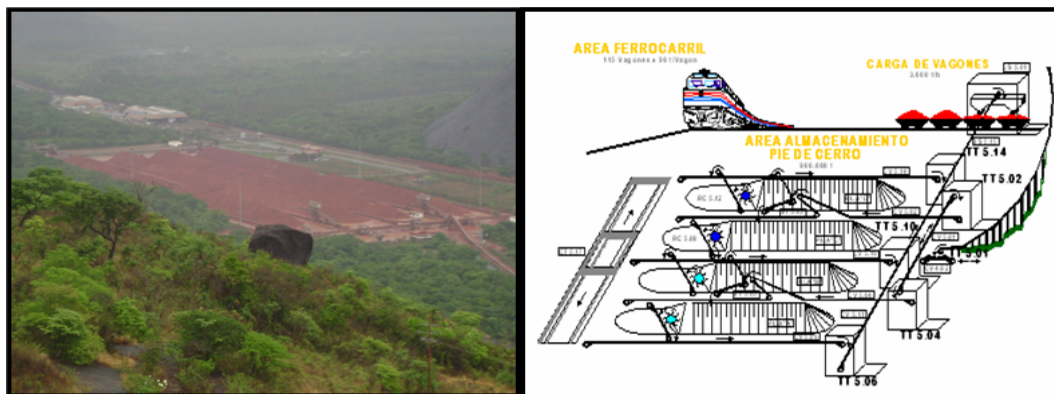


Figura 1.3 Patios de homogenización (lado izquierdo). Diagrama de flujo del área de Pie de Cerro (lado derecho), [El autor].



Figura 1.4 Locomotora que transporta el mineral desde el área Pie de Cerro hasta el área de embarque El Jobal, [El autor].



1.2.7.3 El Jobal.

El Jobal recibe el mineral procedente del área de homogenización, para luego descargar este a través de un sistema rotario llamado volcadora de vagones, el cual, opera con motores de corriente continua y variadores de frecuencia; una vez desprendidos los vagones del ferrocarril, la maquina (volcadora de vagones) se acopla en los extremos del vagón y hace girar a este 180° para descargar el mineral sobre una tolva (**figura 1.5**), la cual está conectada con un sistema de cintas transportadoras que pueden llevar la bauxita a los patios de apilamiento 4 (cuatro) los cuales tienen una capacidad de 600.000 toneladas (150.000 cada patio) para luego trasladar el material directamente al muelle por otra cinta transportadora que tiene una longitud de 1.5 kM y opera a 3600 toneladas/hora. Al llegar al muelle se procede a cargar las gabarras con el mineral para su transporte a través del río Orinoco en una travesía de tres (3) días hasta el puerto de matanza. El muelle de El Jobal es una plataforma de concreto rectangular de 10 metros de ancho por 260 metros de largo, de los cuales 220 metros corresponden al frente de carga y el resto de la extensión al puente de carga.

El cargador mecánico de las gabarras, lo constituye una maquinaria que se desplaza por rieles de 204 m. de longitud y está dispuesto para cargar en sucesión los grupos de gabarras que alcanzan ser atracados a lo largo del muelle. La capacidad efectiva del equipo de carga es de 3600 TM/h., siendo alimentado desde el patio de almacenamiento de El Jobal por un sistema de bandas transportadoras, usando el recuperador del patio o directamente desde el puerto de El Jobal hasta el terminal de la planta de alúmina, en Puerto Ordaz, con un recorrido de 650 Km, se utilizan convoyes conformados por un empujador y trenes de 12, 15, 16 y 20 gabarras, que tienen una capacidad de 1500 o 2000 TM cada una. El transporte solo se efectúa durante el periodo de aguas altas del río Orinoco comprendido entre los meses de Mayo y Diciembre, y la operación es continua durante las 24 horas del día, y para garantizar las operaciones permanentes del transporte fluvial, se ha diseñado un canal



de navegación de 100 m. de ancho a lo largo del trayecto entre El Jobal y Matanzas. Este es un canal natural que se adapta a los cambios que sufre el río año tras año, y por ende no requiere dragado para su mantenimiento. Esto constituye el proceso productivo y transporté de la Bauxita. **(Figura 1.6)**

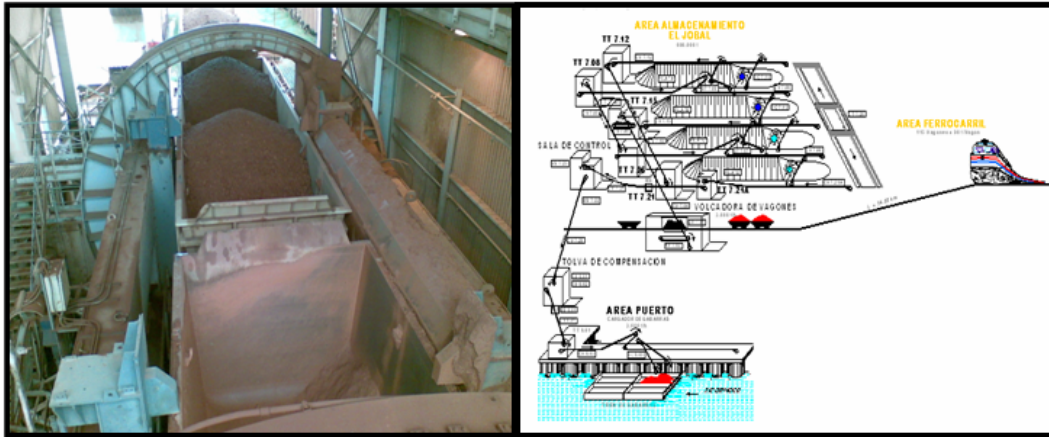


Figura 1.5 Volcadora de vagones (lado izquierdo). Diagrama de flujo del área de El Jobal (lado Derecho), [El autor].



Figura 1.6 Muelle de El Jobal (lado derecho). Cargadora de gabarras (lado izquierdo), [El autor].



1.3 Descripción del Sistema Eléctrico.

El sistema eléctrico de Bauxilum, se inicia en el año 1984, cuando se hizo necesario la implementación de un programa para energizar el área de Trapichote, donde se encontraban radicados un grupo de trabajadores, quienes iniciaban el proyecto de explotación temprana de las minas de Bauxitas, ubicados en Pijiguaos, estado Bolívar. Para tal fin y dependiendo de la carga (amperios) que se estimaba consumir, fue indispensable el uso de dos (02) generadores (#07, #10).

En el año 1987, en atención a que el proyecto había tenido su asiento en las áreas de la Mina, Pie de Cerro y El Jobal, la empresa adelanto conversaciones con CADAPE acerca de realizar un estudio a corto y mediano plazo, de implementar un sistema eléctrico confiable que garantizara continuidad y seguridad en los equipos de manejo de mineral.

De hecho, CADAPE, inicio el estudio tomando como base la puesta en marcha del sistema de transmisión Sur, pero paralelamente les suministro en calidad de préstamo dos (02) generadores (W#71, W#72) los cuales trabajan en paralelo y fueron instalados en Guacamaya. **(Ver tabla 1.1)**

En ese periodo se inicia la fase de explotación temprana del área de Mina y la recepción del mineral en el muelle de El Jobal. Para estas zonas, fue necesario el uso de (02) generadores (#04, #06), para la alimentación de las cintas transportadoras, sistema de trituración, sistemas auxiliares, entre otros.

**TABLA 1.1 Características de las Unidades Generadoras.**

PLANTA #	# DE SERIAL	CAPACIDAD	UBICACIÓN
01 CATERPILLAR MG – 3512	24Z01656	1250 KW 1562,75 KVA	TRAPICHOTE
02 CATERPILLAR MG – 3512	24Z01188	1050 KW 1312,5 KVA	TRAPICHOTE
04 CATERPILLAR MG – 3512	81Z05539	475 KW 593,75 KVA	EL JOBAL
06 CATERPILLAR MG – 3512	81Z04066	455 KW 568,75 KVA	GUACAMAYA
07 CATERPILLAR MG – 3512	38S2380	420 KW 525 KVA	GUACAMAYA
10 CATERPILLAR MG – 3512	81Z06519	500 KW 625 KVA	TRAPICHOTE
11 CATERPILLAR MG – 3512	81Z06520	500 KW 625 KVA	GUACAMAYA
12 CATERPILLAR MG – 3512	24Z03096	1580 KW 1975 KVA	GUACAMAYA
13 CATERPILLAR MG – 3512	24Z03099	1580 KW 1975 KVA	GUACAMAYA
71 WAUKESHA	5064	580 KW 725 KVA	GUACAMAYA
72 WAUKESHA	5065	580 KW 725 KVA	GUACAMAYA

A raíz de que la producción industrial de bauxita mostro su calidad aceptable, se inicio la fase de buscar recursos humanos y agilizar la terminación del moderno proyecto para la explotación, lo cual incluía al sistema de trituración en Mina, sistema



de correa de bajada (DHC), sistemas (apilamiento, recuperación, volcado y carga de gabarras) en El Jobal; así como también la ampliación del sistema eléctrico, construcción de edificaciones residenciales e industriales.

A finales del año 1990, el proyecto estaba en su culminación y existían cuatro áreas; Campamento, la Mina, Pie de Cerro y El Jobal, por lo tanto estas áreas necesitaban de una energía confiable. Para tal efecto la empresa adquirió una unidad generadora Turbo-Gas AEG-KANIS5000, de 13.8 kilovoltios y fue instalada en la subestación Pijiguaos.

En el año 1992, con la incorporación del sistema de transmisión sur a la subestación Pijiguaos, el sistema eléctrico de Bauxilum empezó a depender de CADAFE, manteniéndose a la unidad generadora (Turbo-Gas) en calidad de reserva. En la actualidad existen los cuatro circuitos principales (Campamento, la Mina, Pie de Cerro y El Jobal), los cuales presentan fluctuaciones de voltaje que afectan notablemente la productividad, la producción de Bauxita y su posterior traslado a INTERALUMINA.

1.4 Sistema de Transmisión Sur.

1.4.1 Objetivos.

El sistema de transmisión sur (S.T.S), es un sistema concebido básicamente para cumplir con los siguientes aspectos:

- Sustituir por hidroelectricidad, proveniente de la red troncal de transmisión, a las plantas de generación térmica existentes en las poblaciones de Puerto Ayacucho (Estado Amazonas), Cabruta (Estado Guárico) y Caicara del Orinoco (estado Bolívar), incorporándolas al sistema eléctrico interconectado nacional.



- Brindar un suministro eléctrico confiable al desarrollo y operación del complejo minero Bauxilum en los Pijiguaos, Estado Bolívar.
- Garantizar el suministro eléctrico al desarrollo de la faja petrolífera del Orinoco al sur del Estado Guárico.
- Mejorar la confiabilidad del servicio eléctrico en esas poblaciones.

1.4.2 Descripción.

El sistema de transmisión sur (S.T.S), se inicia desde la subestación SAN GERÓNIMO, perteneciente a EDELCA, ubicada en las inmediaciones de la ciudad de Valle de la Pascua en el estado Guárico. De allí parte una línea en doble terna a nivel de 115 kilovoltios con una longitud total de 551 kilómetros y está compuesta por más de 1300 torres de transmisión. Estas líneas alimentan cinco (05) subestaciones de distribución que llevan por nombre: Espino, Cabruta, Pijiguaos, El Jobal y Puerto Páez, las cuales fueron estratégicamente ubicadas para cubrir las necesidades de electricidad de la región. La capacidad inicial de estas subestaciones totalizaba 130 megavatios, capacidad que es cinco veces mayor que las plantas de generación existentes en esas regiones. Además el sistema está concebido para adaptarse al crecimiento de la demanda de electricidad hasta más allá del año 2010.

(Ver figura 3 del anexo 1)

1.4.3 Cruce sobre el río Orinoco.

Otro aspecto relevante del sistema de transmisión sur es su paso aéreo sobre el río Orinoco, el cual es el más largo y alto del mundo, tiene una longitud total de 5.836,75 metros, está conformado por tres torres de suspensión una de 186 metros y las otras dos de 246 metros respectivamente, además de cuatro torres de amarre de 40 metros aproximadamente cada una.

Este cruce está ubicado en las inmediaciones de las poblaciones de Cabruta (estado Guárico) y Caicara del Orinoco (Estado Bolívar). Para la construcción del mismo se



utilizo una isla natural ubicada aproximadamente en el centro del río Orinoco llamada EL TRONCÓN, la cual sirve de asiento a una de las torres de suspensión con una altura de 246 metros, las otras dos torres de suspensión se encuentran una cada lado de las riveras del río Orinoco en los sitios conocidos como el Vigía (torre de 246 metros) y Punta Brava (torre de 186 metros). **(Ver figura 4, 5 del anexo 1)**

1.5 Circuitos Principales.

El sistema eléctrico de BAUXILUM actualmente está compuesto por cuatro circuitos fundamentales, a nivel de 13.8 kilovoltios, los cuales se mencionan a continuación:

1.5.1 Campamento, área residencial.

Este circuito está constituido por una línea doble terna con conductor de arvidal #4/0 AWG de aproximadamente 4 kilómetros de longitud, alimentándose a través de un disyuntor ubicado en la subestación los Pijiguaos. El mismo, presenta una serie de derivaciones, las cuales alimentan tres áreas residenciales la Guacamaya, Trapichote y Centro Cívico.

Este circuito consta de una serie de seccionadores tripolares y monopolares los cuales permiten realizar maniobras de cierre y apertura para al personal de mantenimiento.

1.5.2 La Mina, área industrial.

Este circuito lo constituye una línea doble terna de conductor arvidal #4/0 AWG de 8.4 kilómetros de longitud, lo cual alimenta 3 puntos de vital importancia en el proceso



1.5.2.1 Subestación centro de trituración (EDELCA).

Está compuesta por dos transformadores de 3.75 MVA con una relación de transformación 13.8/4.16 kilovoltios, esta alimenta dos cabinas de media tensión (CDMT1 y CDMT2), así como centro de control de motores, panel de relés y cuadro de baterías.

1.5.2.2 Subestación Correa de bajada (DHC).

Está compuesta por dos transformadores de 3 MVA con una relación de 13.8/4.16 kilovoltios, alimentando a una cabina de media tensión. En esta, se alimenta una cinta C-6 que recibe el mineral de la cinta C-1, y tiene aproximadamente 4.2 kilómetros de longitud con una pendiente de 18 grados, transportando la bauxita hasta Pie de Cerro.

1.5.2.3 Sistema de distribución de la Gerencia Mina.

Está compuesto por laboratorios, oficinas, talleres, almacén e iluminación exterior.

1.5.3 Pie de Cerro, área industrial.

Este circuito lo constituye una línea doble terna con conductor arvidal #4/0 posee aproximadamente 2.8 kilómetros de longitud y alimenta los siguientes equipos: apiladores, recuperadores, cargadora de vagones, cintas transportadoras, torre de transferencia, sala de control, carro de transferencia, postes de alumbrado de 50 metros de altura.

1.5.3.1 Sistema de distribución de Manejo de mineral.

Está compuesto por laboratorios, oficinas, talleres, almacén, bombas e iluminación exterior.

1.5.4 El Jobal, área industrial.

Este circuito está constituido por una línea de 115 kilovoltios, que tiene aproximadamente 52 kilómetros de longitud, es alimentado desde la subestación



Pijiguaos hasta llegar a la subestación El Jobal, la cual posee un transformador de 10 MVA, 115/13.8 kilovoltios, y este a su vez alimenta tres sectores de gran importancia:

1.5.4.1 Patio de almacenamiento.

Está constituido por cuatro subestaciones (07UB01, 07UB02, 07UB03, 07UB04), las cuales alimentan una serie de equipos que son: apiladores, recuperadores, volcadora de vagones, estación de muestreo, carro de transferencia, sala de control, torre de transferencia, postes de alumbrado (altura de 50 metros).

1.5.4.2 Puerto El Jobal.

Esta área cuenta con dos subestaciones (08UB01, 08UB03) las cuales alimentan los siguientes equipos: Silo compensador de mineral, cintas transportadoras y cargador de gabarras.

1.5.4.3 Edificaciones.

En esta área se encuentran una serie de transformadores de distribución los cuales alimentan: Almacenes, talleres, plantas de tratamiento, medicatura, vestuarios, oficinas e iluminación exterior.

1.6 Características de los transformadores en el sistema.

Las características de estos transformadores se muestran en las tablas 1.2 y 1.3 respectivamente, en ellas se indican la capacidad, localización, relación de transformación, conexión e impedancia, por circuitos.



TABLA 1.2 Características de los Transformadores de Potencia.

CIRCUITOS	CAPACIDAD DEL TX	LOCALIZACIÓN	RELACIÓN	CONEXIÓN	IMPEDANCIA (%)
CAMPAMENTO	0,63 MVA	GUACAMAYA	13,8KV456/26V	Δ -Y n 5	5,5
	1,5 MVA	GUACAMAYA	13,8KV/2,5KV	Δ -Y n 5	6,0
	2 MVA	GUACAMAYA	13,8KV-480/277V	Δ -Y n 5	7,0
	0,75 MVA	TRAPICHOTE	13,8KV-480/277V	Δ -Y n 5	6,0
	0,75 MVA	TRAPICHOTE	13,8KV-480/277V	Δ -Y n 5	6,0
	1,5 MVA	TRAPICHOTE	13,8KV-480/277V	Δ -Y n 5	6,0
PIE DE CERRO	0,63 MVA	S/E 05UB02	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	5,8
	0,63 MVA	S/E 05UB02	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	5,8
	0,8 MVA	RC 5.12	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	5,0
	0,8 MVA	RC 5.08	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	5,0
	1,5 MVA	S/E 05UB01	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,3
	1,5 MVA	S/E 05UB01	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,3
	0,4 MVA	ST 5.05	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	4,0
	0,4 MVA	ST 5.03	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	4,0
LA MINA	3 MVA	S/E DHC	13,8KV/4,16KV	Δ -Y ₄	6,6
	3 MVA	S/E DHC	13,8KV/4,16KV	Δ -Y ₄	6,6
	1 MVA	S/E DHC	4,16KV/480V	Δ -Y ₄	5,2
	3,75 MVA	S/E EDELCA	13,8KV/4,16KV	Δ -Y ₄	6,13
	3,75 MVA	S/E EDELCA	13,8KV/4,16KV	Δ -Y ₄	6,13
	1 MVA	S/E 03UB03	4,16KV/480V	Δ -Y ₄	5,2
	0,5 MVA	S/E C1	4,16KV/480V	Δ -Y ₄	3,95
EL JOBAL	1 MVA	S/E 07UB02	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,0
	1 MVA	S/E 07UB02	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,0
	0,8 MVA	R.C 7.10	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	5,0
	0,8 MVA	R.C 7.13	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	5,0
	2 MVA	S/E 07UB01	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,1
	2 MVA	S/E 07UB01	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,1
	1 MVA	S/E 07UB03	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,0
	1 MVA	S/E 07UB04	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,0
	0,4 MVA	ST 7.07	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	4,0
	0,4 MVA	ST 7.09	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	4,0
	0,63 MVA	S/E 08UB03	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	5,8
	1,5 MVA	S/E 08UB01	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,3
	1,5 MVA	S/E 08UB01	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	6,3
	0,4 MVA	BL 8.05	13,8KV/480V	Δ -Y ₄	4,0



TABLA 1.3 Características de los Transformadores de Distribución.

CAPACIDAD DE TRANSFORMACIÓN	CANTIDAD DE TRANSFORMADORES POR CIRCUITO				RELACIÓN	CONEXIÓN	IMPEDANCIA (%)
	CAMPAMENTO	PIE DE CERRO	LA MINA	EL JOBAL			
1X10 KVA	---	6	2	1	13,8KV-120/240 V	Δ -Y _g	1,9
3X10 KVA	---	1	1	1	13,8KV-120/240 V	Δ -Y _g	1,9
1X15 KVA	5	---	-	2	13,8KV-120/240 V	Δ -Y _g	2,1
3X15 KVA	1	---	6	-	13,8KV-120/240 V	Δ -Y _g	2,1
1X25 KVA	1	---	-	1	13,8KV-120/240 V	Δ -Y _g	2,1
3X25 KVA	14	3	5	2	14,4/24,94 KV-Y-120/240 V	Δ -Y _g	2,1
1X37,5 KVA	1	---	-	-	14,4/24,94 KV-Y-120/240 V	Δ -Y _g	2
3X37,5 KVA	54	3	1	3	14,4/24,94 KV-Y-120/240 V	Δ -Y _g	2
3X50 KVA	6	2	2	2	14,4/24,94 KV-Y-120/240 V	Δ -Y _g	1,8
3X75 KVA	2	1	1	-	14,4/24,94 KV-Y-120/240 V	Δ -Y _g	2
3X100 KVA	5	---	1	-	14,4KV-120/240V	Δ -Y _g	1,9
3X167 KVA	3	1	2	-	13,8KV-120/240 V	Δ -Y _g	2



3X250 KVA	2	--	--	--	13,8KV- 120/240V	Δ - Y_{III}	2,1
-----------	---	----	----	----	---------------------	-----------------------------	-----



CAPITULO II

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO

2.1 Introducción.

En este capítulo se describirá de manera detallada el sistema eléctrico del área de producción El Jobal, verificando cada equipo y la maquinaria conectada a dicha red. También se efectuara un levantamiento detallado de la red de distribución a nivel de 13.8 kV para planear un diagrama unifilar a escala del circuito en los softwares AUTOCAD2007 y ETAP 5.03 y así posteriormente realizar los estudios de cortocircuito, flujo de carga y compensación de reactivos.

2.2 Conceptos Generales.

2.2.1 Sistema Eléctrico.

Un sistema eléctrico lo constituye aquellos equipos y maquinarias que de una u otra forma tienen que ver con los procesos que involucran la producción de energía eléctrica. Dichos procesos se definan como: Generación, transmisión y Distribución.

2.2.2 Parámetros de Operación.

Todo sistema eléctrico debe cumplir con ciertos criterios de operación, estos son: Continuidad, calidad y flexibilidad.

2.2.2.1 Continuidad.

Se define como tal a la capacidad que posea el sistema eléctrico de suministrar energía aun en caso de ocurrir fallas. Esto se ejecuta transfiriendo carga a otros circuitos en el momento de interrupción.



2.2.2.2 Calidad.

Se refiere a las condiciones bajo las cuales opera el sistema en cuanto a niveles de tensión y frecuencia de operación.

2.2.2.3 Flexibilidad.

Se define como la capacidad de respuesta del sistema ante una falla, dependiendo este parámetro de otros factores como lo son:

- Factor de utilización de los conductores de la red y transformador de la subestación.
- Número de puntos de transferencia de los circuitos y porcentaje de carga transferible.
- Puntos de seccionamiento.

2.2.3 Redes de Distribución.

Esta se define como un conjunto de equipos y conductores destinados a la distribución de energía eléctrica. Se consideran redes de baja tensión aquellas que tengan como máximo 500 voltios entre fase y redes de alta tensión a las que tengan como máximo 23.900 voltios entre fase.

2.2.4 Redes de Distribución Aéreas.

Se consideran aéreas todas las redes tendidas al aire libre y a vista directa, ya sean conductores desnudos, aislados o protegidos.

2.2.5 Líneas de alimentación.

Se entiende por estas, todas aquellas que operando con voltaje entre fases desde 500 hasta 34.500 voltios conecten plantas generadoras o subestaciones con redes de distribución o bien bancos de transformación aislado.



2.3 Verificación de los Equipos Conectados al Sistema de Distribución de El Jobal.

2.3.1 Subestación los Pijiguaos.

La subestación esta conformada por dos transformadores, cuyas características se muestran en la **tabla 2.1**, estos están conectados en configuración estrella – estrella con el neutro sólidamente aterrado (**ver figura 2.1**). La subestación pertenece al sistema de transmisión sur y recibe la alimentación a través de una línea de transmisión de doble terna, que vienes desde la subestación Cabruta, con un nivel de tensión de 115 kV y aislada a 230 kV.



Figura 2.1 Transformador de la subestación Pijiguaos (lado izquierdo). Pórtico de salida a nivel de 115 kV (lado derecho), [El Autor].

De la subestación Pijiguaos salen nueve circuitos a nivel de 13.8 kV provenientes del lado de baja tensión de los transformadores. La barra de salida de 13.8 kV, esta protegida por un interruptor de potencia ubicado entra la salida de los transformadores y dicha barra, las características de este interruptor se muestran en la **tabla 2.2**. Esta barra de salida esta dividida para que cada transformador llegue a una



barra independiente, las dos barras de salida están enlazadas por medio de un interruptor de potencia el cual posee las mismas características del interruptor de entrada a las barras. (Ver Figura 1 del anexo 2)

TABLA 2.1 Características de Placa de los Transformadores de la S/E Pijiguaos

Transformador de la S/E Pijiguaos	
Marca:	Pauwels trafo Belgium
Tipo:	ORF 20/230
Nº:	88.2.4034
Potencia Nominal:	16/20 MVA
Frecuencia:	60 Hz
Enfriamiento:	ONAN/ONAF
Fases:	3
Calentamiento del Cobre:	55 °C
Grupo:	YnYn0
Normas:	IEC 76/1976
Relación del TX:	(115/13.8) kV
Modo de Servicio:	Continuo
Año de Fabricación:	1988
Corriente de Cortocircuito:	10*In
Tiempo de Cortocircuito:	2 Seg
Nivel de Aislamiento:	A.T = 550/230 kV

**Tabla 2.2 Interruptor de Potencia de Entrada a la Barra de 13.8 kV.**

Interruptor de Potencia de la Subestación Pijiguaos		
Marca: ABB	IEC – 56.1	N: MB015743
Tipo: SFAS/6		Masa: 205 kg.
Intensidad Nominal en Servicio Continuo: 1600 Amperios.		
Frecuencia: 50/60 Hz		Tensión: 17.5 kV
Intensidad Admisible durante tres segundos: 23 kA.		
Tensión soportada al Impulso ATM: 95 kV.		
Tensión de cierre: 55 ms.	Tiempo de Apertura 70 ms.	
A la Tensión de 17.5 kV.		
Poder de Corte: 20 kA	Poder de Cierre: 50 kA.	

La barra correspondiente al transformador 1, alimenta a los circuitos de Pie de Cerro, La Mina, Pijiguaos y un circuito de reserva, mientras que la barra que corresponde al transformador 2, alimenta a los circuitos Campamento, Pijimori y tres circuitos de reserva. Todos los circuitos de salida poseen interruptores de protección de iguales características, las cuales se muestran en la **tabla 2.3**.

2.3.2 Subestación El Jobal.

Esta subestación es alimentada por una línea doble terna a nivel de 115 kV que sale desde la subestación Pijiguaos, consta de dos transformadores de 10 MVA conectados en configuración estrella-estrella con una relación de transformación de 115 kV a 13.8 kV, y otras características que se muestran en la **tabla 2.4**, uno de estos transformadores esta fuera de servicio desde el 27 de mayo de 2004, debido a que estallo porque fallo el relé de protección a causa de la falta hexafluoruro de azufre (SF6). (Ver figuras 2, 3,4 del anexo 2).



De la subestación El Jobal salen tres circuitos los cuales son: una línea a nivel de 13.8 kV que alimenta el circuito de la población de la urbana, un circuito que alimenta las poblaciones Capachal y el Potrero y un circuito en doble terna que alimenta el sistema de potencia del área de producción El Jobal, este posee una longitud aproximada de 2.8 Km.

La barra de salida de 13.8 kV, está protegida por un interruptor de potencia ubicado entre la salida del transformador y dicha barra, las características de este interruptor es igual a la de los interruptores de la subestación Pijiguaos.

2.3.3 Subestación 07UB01.

Esta se encuentra constituida por dos transformadores de 2 MVA en conexión delta-estrella (**figura 2.2**) y con una relación de transformación de 13.8 kV a 0.48 kV. Cada uno de estos transformadores se alimenta de la línea de doble terna, tanto de la superior como de la inferior, en el lado de baja estos transformadores alimentan una serie de motores que pertenecen al sistema de cintas transportadoras CV 7.12, 7.15, 7.21, 7.05, 7.18 así como los levanta frenos de las mismas (**ver figura 5, del anexo 2**).

Tabla 2.3 Interruptor de Potencia para Cada uno de los Circuitos de Salida de 13.8 kV.

Interruptor de Potencia de la Subestación Pijiguaos		
Marca: ABB	IEC – 56.1	N: MB00694
Tipo: SFAS/6		Masa: 208 kg.
Intensidad Nominal en Servicio Continuo: 630 Amperios.		
Frecuencia: 50/60 Hz		Tensión: 17.5 kV
Intensidad Admisible durante tres segundos: 23 kA.		
Tensión de cierre: 60 ms.	Tiempo de Apertura 70 ms.	
A la Tensión de 17.5 kV.		
Poder de Corte: 20 kA	Poder de Cierre: 50 kA.	

**TABLA 2.4 Características de Placa de los Transformadores de la S/E El Jobal**

Transformador de la S/E El Jobal	
Marca:	Pauwels trafo Belgium
Tipo:	NTRV
Peso:	22.7 Kg
Potencia Nominal:	8/10 MVA
Frecuencia:	60 Hz
Enfriamiento:	OA/OF
Fases:	3
Calentamiento del Cobre:	55 °C
Grupo:	YnYn0
Normas:	ANSI
Relación del TX:	(115/13.8) kV
Modo de Servicio:	Continuo
Año de Fabricación:	1974
Corriente de Cortocircuito:	4650 Amp.
Tiempo de Cortocircuito:	3 Seg
Nivel de Aislamiento:	A.T = 115/13.8kV

En la tabla 2.5 se muestran los equipos conectados actualmente a esta subestación y en ella se especifican los consumos de cada uno.

**Figura 2.2** Transformadores de la subestación 07UB01 [El Autor].



Tabla 2.5 Equipos Instalados y Consumo de la S/E 07UB01.

SUBESTACIÓN 07UB01		
Equipo	MVA instalados	
Transformador 10BFT01	2 MVA	
Transformador 10BFT02	2 MVA	
Total KVA instalados	4 MVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
CV 7.05	90kW	Transformador 10BFT01
L.F CV 7.05	0.35 kW	Transformador 10BFT01
CV 7.18	160 kW	Transformador 10BFT01
L.F CV 7.05	0.35 kW	Transformador 10BFT01
CV 7.15-1	160 kW	Transformador 10BFT01
L.F CV 7.15-1	0.3 kW	Transformador 10BFT01
CV 7.15-2	160 kW	Transformador 10BFT01
L.F CV 7.15-2	0.3 kW	Transformador 10BFT01
CV 7.12-1	160 kW	Transformador 10BFT01
L.F CV 7.15-2	0.3 kW	Transformador 10BFT01
CV 7.12-2	160 kW	Transformador 10BFT01
L.F CV 7.15-2	0.3 kW	Transformador 10BFT01
Total kW instalados	891.9 kW	
CV 7.04-1	185 Kw	Transformador 10BFT02
L.F CV 7.04-1	0.35 Kw	Transformador 10BFT02
CV 7.04-2	185 Kw	Transformador 10BFT02
L.F CV 7.04-1	0.35 Kw	Transformador 10BFT02
CV 7.21A-1	185 Kw	Transformador 10BFT02
L.F CV 7.21A-1	0.35 Kw	Transformador 10BFT02
CV 7.21A-2	185 Kw	Transformador 10BFT02
L.F CV 7.21A-2	0.35 Kw	Transformador 10BFT02
CV 7.41	45 Kw	Transformador 10BFT02
L.F CV 7.41	0.35 Kw	Transformador 10BFT02
Total kW instalados	786.75 Kw	
Total kw Instalados	891.9 kW + 786.75 Kw = 1678.65 kW	



2.3.3.1 Apiladores ST 7.09 y ST 7.07.

De la misma terna que se deriva para alimentar la barra de 13.8 kV de la subestación 07UB01, sale la línea que alimenta a los dos apiladores del sistema de producción El Jobal (ST 7.07 y 7.09), cada uno de estos equipos poseen en su estructura una cabina de media tensión la cual esta compuesta por un transformador en seco de 400 KVA (**ver figura 2.3**) en conexión delta-estrella con una relación de 13.8 kV a 0.48 kV, del lado de baja tensión este transformador alimenta una serie de motores y dispositivos que permiten el funcionamiento de dicho equipo.(**ver figura 6 del anexo 2**)

En la tabla 2.6 se muestran los equipos que están conectados a los apiladores así como su consumo.

Tabla 2.6 Equipos Instalados y Consumo de los apiladores ST 7.09 y ST 7.07.

APILADOR ST 7.07 / ST 7.09		
Equipo	MVA instalados	
Transformador ST	400 KVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
Sist. Lubricación.	0.25 kW	Transformador ST
Vent. Sala TX.	0.55 kW	Transformador ST
Cable de Potencia.	2.2 kW	Transformador ST
Vent. Cable de Potencia.	0.18 kW	Transformador ST
Cable de Control.	1.7kW	Transformador ST
Vent. Cable de Control.	0.18 kW	Transformador ST
L.F Correa de Brazo	0.33 kW	Transformador ST
Correa de Brazo	132 kW	Transformador ST
L.F Mec. Levanta Brazo.	0.21 kW	Transformador ST
Mec. Levanta Brazo.	2x19.2 kW	Transformador ST
L.F Mec. Giro de Brazo.	2x0.2 kW	Transformador ST
Mec. Giro de Brazo.	2x4 kW	Transformador ST
Mecanismo de Traslación.	8x5.5 kW	Transformador ST
Total kW instalados	228.4 kW	



Figura 2.3 Apilador ST 7.09 (Lado derecho), Transformador seco de 400 KVA (Lado Izquierdo) [El Autor].

2.3.4 Subestación 07UB02.

Esta se encuentra constituida por dos transformadores de 1 MVA (ver figura 2.4) en conexión delta – estrella y con una relación de transformación de 13.8 kV a 0.48 kV. Cada uno de estos transformadores se alimenta de la línea de doble terna, tanto de la superior como de la inferior, en el lado de baja estos transformadores alimentan una serie de motores que pertenecen al sistema de cintas transportadoras CV 7.08 y 7.06, así como los levanta frenos de las mismas y el carro de traslación que desplaza a los recuperadores de un patio a otro. (Ver figura 7, del anexo 2).



Figura 2.4 Transformadores de la subestación 07UB02 [El Autor].



Tabla 2.7 Equipos Instalados y Consumo de la S/E 07UB02.

SUBESTACIÓN 07UB02		
Equipo	MVA instalados	
Transformador 10BFT03	1 MVA	
Transformador 10BFT04	1 MVA	
Total KVA instalados	2 MVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
CV 7.08-1	185 kW	Transformador 10BFT03
L.F CV 7.08-1	0.3 kW	Transformador 10BFT03
CV 7.08-2	185 kW	Transformador 10BFT03
L.F CV 7.08-2	0.3 kW	Transformador 10BFT03
TC-7.20	24.2 kW	Transformador 10BFT03
Total kW instalados	394.8 kW	
CV 7.06-1	185 kW	Transformador 10BFT04
L.F CV 7.06-1	0.3 kW	Transformador 10BFT04
CV 7.06-1	185 kW	Transformador 10BFT04
L.F CV 7.06-1	0.3 kW	Transformador 10BFT04
Total kW instalados	370.6 Kw	
Total kw Instalados	394.8 kW + 370.6 Kw = 765.4 kW	

2.3.4.1 Recuperadores RC 7.10 y RC 7.13.

De la barra de 13.8 kV que alimenta a la subestación 07UB02, sale dos ternas que alimenta a los dos recuperadores del sistema de producción El Jobal (RC 7.10 y RC 7.13), cada uno de estos equipos poseen dentro de su estructura una cabina de media tensión la cual esta compuesta por un transformador en seco de 800 KVA (**ver figura 2.5**) en conexión delta-estrella con una relación de 13.8 kV a 0.48 kV, del lado de baja tensión este transformador alimenta una serie de motores y dispositivos que permiten el funcionamiento de dicho equipo.(**ver figura 8 del anexo 2**).

En la tabla 2.8 se muestran los equipos que están conectados a los recuperadores así como su consumo.



Actualmente el recuperador RC 7.13 se encuentra fuera de servicio, pero existen planes para su reparación y puesta en servicio.



Figura 2.5 Recuperador RC 7.10 (Lado derecho), Transformador seco de 800 KVA (Lado Izquierdo) [El Autor].

2.3.5 Subestación 07UB03.

Esta se encuentra constituida por un transformador de 1 MVA (ver figura 2.6) en conexión delta – estrella y con una relación de transformación de 13.8 kV a 0.48 kV. Este transformador se alimenta de la línea de doble terna que alimenta el circuito eléctrico de El Jobal, en el lado de baja este transformador alimentan una serie de motores que pertenecen al sistema de cintas transportadoras CV 7.21 y 7.28, así como otros equipos los cuales se mostraran en la **figura 9, del anexo 2**.



Figura 2.6 Transformador de la subestación 07UB03 [El Autor].



Tabla 2.8 Equipos Instalados y Consumo de los recuperadores RC 7.10 y RC 7.13.

RECUPERADOR RC 7.10 / RC 7.13.		
Equipo	MVA instalados	
Transformador RC	800 KVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
Cable de Potencia.	2.2 kW	Transformador RC
Vent. Cable de Potencia.	0.125 kW	Transformador RC
Cable de Control.	1.15 kW	Transformador RC
Vent. Cable de Control.	0.045 kW	Transformador RC
L.F Trolley 2.	0.25 kW	Transformador RC
Trolley 2.	45 kW	Transformador RC
L.F Trolley 1.	0.25 kW	Transformador RC
Trolley 1.	45 kW	Transformador RC
Vent. Sala TX.	0.55 kW	Transformador RC
Vent. Cable de Potencia.	0.18 kW	Transformador RC
Sist. Lubric. Rueda Cang.2	2x0.25 kW	Transformador RC
Sist. Lubric. Rueda Cang.1	2x0.25 kW	Transformador RC
L.F Rueda de Cangilones 2.	0.33 kW	Transformador RC
Rueda de Cangilones 2.	132 kW	Transformador RC
L.F Rueda de Cangilones 1.	0.33 kW	Transformador RC
Rueda de Cangilones 1.	132 kW	Transformador RC
L.F Correa Transversal.	0.25 kW	Transformador RC
Correa Transversal.	45 kW	Transformador RC
Mecanismo de Traslación.	12x5.5 kW	Transformador RC
Total kW instalados	469.585 kW	

En la tabla 2.9 se muestran los equipos conectados actualmente a esta subestación y en ella se especifican el consumo de cada uno.



Tabla 2.9 Equipos Instalados y Consumo de la S/E 07UB03.

SUBESTACIÓN 07UB03		
Equipo	MVA instalados	
Transformador 10BFT05	1 MVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
CV 7.21-1	160 kW	Transformador 10BFT05
L.F CV 7.21-1	0.2 kW	Transformador 10BFT05
CV 7.21-2	160 kW	Transformador 10BFT05
L.F CV 7.21-2	0.2 kW	Transformador 10BFT05
CV 7.28	185 kW	Transformador 10BFT05
L.F CV 7.28	0.2 kW	Transformador 10BFT05
Separador Magnético	4.101 kW	Transformador 10BFT05
Vent. Sala Eléctrica	0.55 kW	Transformador 10BFT05
Cinta de Rechazo	1 kW	Transformador 10BFT05
Divisor Terciario	0.37 kW	Transformador 10BFT05
Cinta Dosificadora Sec.	0.55 kW	Transformador 10BFT05
Cinta Dosificadora Prim.	1.55 kW	Transformador 10BFT05
Toma de Muestra Prim.	37 kW	Transformador 10BFT05
Toma de Muestra Sec.	0.55 kW	Transformador 10BFT05
Molino	2x35 kW	Transformador 10BFT05
Total kW instalados	621.271 Kw	

2.3.6 Subestación 07UB04.

Esta subestación esta compuesta por un transformador de 1 MVA en conexión delta – estrella con una relación de transformación de 13.8 kV a 0.48 kV. Este transformador se alimenta de la línea de doble terna que alimenta el circuito eléctrico de El Jobal, en el lado de baja este alimenta dos transformadores en seco con una potencia de 180 KVA y 126 KVA (**Ver figura 2.7**) los cuales a su vez alimentan a través de un rectificador DC de 380 VDC a los motores de la volcadora de vagones (dos de 40 kW respectivamente) y la enrolladora de cable que consume 125 kW, del



transformador de 1 MVA también se alimentan una serie de motores que pertenecen al sistema de control de dicha volcadora. (**Figura 10, del anexo 2.**)

En la **tabla 2.10** se muestran los equipos conectados actualmente a esta subestación y en ella se especifican el consumo de cada uno.

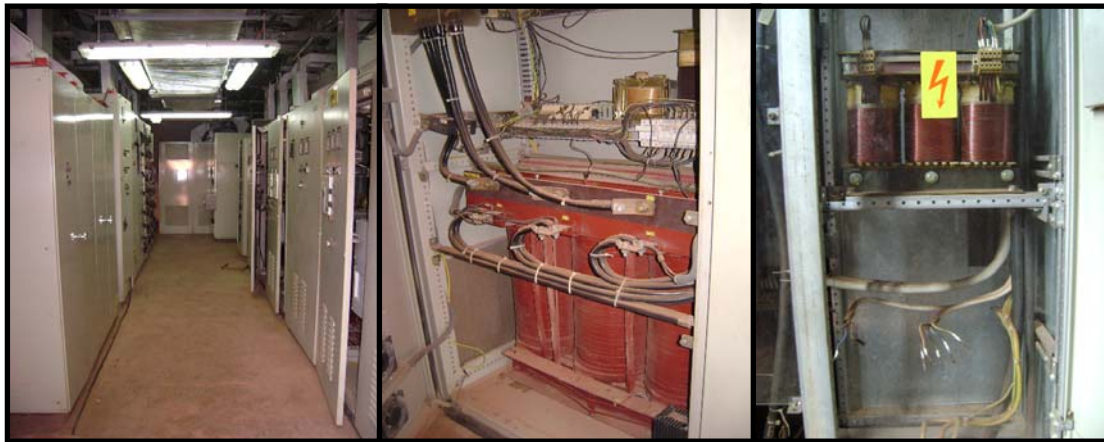


Figura 2.7 Subestación 07UB04 (derecha), Transformadores secos (centro, izquierda) [El Autor].

2.3.7 Subestación 08UB01.

Esta subestación está conformada por dos transformadores de 1.5 MVA en conexión delta – estrella con una relación de transformación de 13.8 kV a 0.48 kV (**ver figura 2.8**). Este transformador es alimentado de la línea de doble terna que surte el circuito eléctrico de El Jobal, en el lado de baja estos alimentan un conjunto de motores los cuales pertenecen al sistema de cintas transportadoras CV 7.28 y CV 8.01, así como también a dos motores que pertenecen al extractor de los gatos de alineación (**Ver figura 11, del anexo 2.**)

**Tabla 2.10 Equipos Instalados y Consumo de la S/E 07UB04.**

UBESTACIÓN 07UB04		
Equipo	MVA instalados	
Transformador 10BFT06	1 MVA	
Transformador Volc. Vag.	180 KVA	
Transformador Enrr. Cable	126 KVA	
Total KVA instalados	1.306 MVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
Enrolladora de Cable B.P	125 kW	Transformador 10BFT06
Vent. Enrolladora Cable B.P	0.9 kW	Transformador 10BFT06
Vent. Enrolladora Cable B.P	0.85 kW	Transformador 10BFT06
Tenaza carro y Bloq. mov.1	2.6 kW	Transformador 10BFT06
Tenaza carro y Bloq. mov.2	2.6 kW	Transformador 10BFT06
Separador Magnético	4.101 kW	Transformador 10BFT06
Apron Feeder	185 kW	Transformador 10BFT06
Brazo Posicionador B:P	75 kW	Transformador 10BFT06
Intercambiador de Calor	2x2.5 kW	Transformador 10BFT06
Bomba Piloto	3.5 kW	Transformador 10BFT06
Redler 1	2 kW	Transformador 10BFT06
Redler 2	2 kW	Transformador 10BFT06
Volcadora de Vagones 1	40 kW	Transformador 10BFT06
Volcadora de Vagones 2	40 kW	Transformador 10BFT06
Total kW instalados	488.551 Kw	

En la tabla 2.11 se muestran los equipos conectados actualmente a esta subestación y en ella se especifican el consumo de cada uno



Figura 2.8 Subestación 08UB01 (derecha), Interior de la subestación (izquierda) [El Autor].

2.3.8 Subestación 08UB03.

Esta subestación queda ubicada en el muelle de El Jobal, esta constituida por un transformador de 630 KVA en conexión delta-estrella con una relación de transformación 13.8 kV a 0.48 kV (**ver figura 2.9**). Del lado de baja este transformador se encarga de alimentar el conjunto de motores que pertenecen al sistema de cintas transportadoras CV 8.03, así como a dos bombas de agua que están en el muelle (**ver figura 12 del anexo 2**).



Figura 2.9 Subestación 08UB03 (derecha), Transformador 12BFT03 (izquierda) [El Autor].



Tabla 2.11 Equipos Instalados y Consumo de la S/E 08UB01.

SUBESTACIÓN 08UB01		
Equipo	MVA instalados	
Transformador 12BFT01	1.5 MVA	
Transformador 12BFT02	1.5 MVA	
Total KVA instalados	3 MVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
CV 7.28-1	185 kW	Transformador 12BFT01
L.F CV 7.28-1	0.3 kW	Transformador 12BFT01
CV 7.28-2	185 kW	Transformador 12BFT01
L.F CV 7.28-2	0.3 kW	Transformador 12BFT01
CV 8.01	132 kW	Transformador 12BFT01
L.F CV 7.28-2	0.3 kW	Transformador 12BFT01
Extractor 8.01	45 kW	Transformador 12BFT01
Extractor 8.02	45 kW	Transformador 12BFT01
Total kW instalados	394.8 kW	
CV 7.06-1	185 kW	Transformador 12BFT02
L.F CV 7.06-1	0.3 kW	Transformador 12BFT02
CV 7.06-1	185 kW	Transformador 12BFT02
L.F CV 7.06-1	0.3 kW	Transformador 12BFT02
Total kW instalados	370.6 Kw	
Total kw Instalados	394.8 kW + 370.6 Kw = 765.4 kW	

En la tabla 2.12 se muestran los equipos conectados actualmente a esta subestación y en ella se especifican el consumo de cada uno

**Tabla 2.12 Equipos Instalados y Consumo de la S/E 08UB03**

SUBESTACIÓN 08UB03		
Equipo	MVA instalados	
Transformador 12BFT03	1.5 MVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
CV 8.03	185 kW	Transformador 12BFT03
L.F CV 8.03	0.2 kW	Transformador 12BFT03
Bomba de Agua 1.	45 kW	Transformador 12BFT03
Bomba de Agua 2.	45 kW	Transformador 12BFT03
Total kW instalados	275.2 Kw	

2.3.8.1 Cargador de Gabarras BL 8.05.

Este se encuentra ubicado en el muelle de el Jobal, esta constituido por un Transformador de 400 KVA en conexión delta-estrella con una relación de transformación de 13.8 kV a 0.48 kV (**ver figura 2.10**). Del lado de baja este se encarga de alimentar un conjunto de motores que permiten el funcionamiento la cargadora de gabarras (**ver figura 13 del anexo 2**).



Figura 2.10 Cargadora de Gabarras (derecha), Vista Frontal del Transformador (izquierda) [El Autor].



En la tabla 2.13 se muestran los equipos conectados actualmente a esta subestación y en ella se especifican el consumo de cada uno.

Tabla 2.13 Equipos Instalados y Consumo de la Cargadora de Gabarras BL 8.05.

CARGADORA DE GABARRAS BL 8.05		
Equipo	MVA instalados	
Transformador BL 8.05	400 KVA	
Equipos	KW instalados	TX ALIMENTADOR
Cable de Potencia.	2.2 kW	Transformador BL 8.05
Vent. Cable de Potencia.	0.03 kW	Transformador BL 8.05
Cable de Control.	0.15 kW	Transformador BL 8.05
Vent. Cable de Control.	0.18 kW	Transformador BL 8.05
L.F Giro de Brazo.	2x0.2 kW	Transformador BL 8.05
Giro de Brazo.	2x4 kW	Transformador BL 8.05
L.F Levanta Brazo.	0.2 kW	Transformador BL 8.05
Levanta Brazo.	2x24 kW	Transformador BL 8.05
L.F Correa de Brazo.	0.25 kW	Transformador BL 8.05
Correa de Brazo.	75 kW	Transformador BL 8.05
Correa Interm.	110 kW	Transformador BL 8.05
Sist. Lubricación.	0.25 kW	Transformador BL 8.05
Mecanismo de Traslación.	8x5.5 kW	Transformador BL 8.05
Total kW instalados	288.66 kW	



2.3.9 Sistema de Distribución El Jobal.

Este esta conformado por una serie de transformadores en conexión delta-estrella cuyo valor oscila entre 10KVA y 75 KVA (**ver tabla 2.14**), este se inicia desde la caseta de vigilancia en la entrada del complejo hasta el muelle, posee una derivación que se encarga de surtir a las oficinas de superintendencia, almacén, taller, deposito, comedor, planta de aguas negra y alumbrado. (**Ver figura 14 del anexo 2**)

2.3.10 Línea de Transmisión.

Desde la subestación El Jobal la energía eléctrica es transportada a través de una línea de distribución doble terna con un nivel de tensión de 13.8 kV. El conductor utilizado en el sistema de distribución es tipo Arvidal # 4/0.

La configuración es la misma a lo largo de todo su recorrido por el área de producción. Desde la subestación El Jobal, la línea tiene 1.4 km hasta un poste de derivación que se encuentra a 55 metros de la subestación 07UB02, de allí continua hasta otro poste de derivación que se encuentra a 73 metros de la subestación 07UB01 recorriendo 646 metros, a partir de allí hasta el muelle del puerto Gumilla la línea tiene una longitud de 761 metros, dando una longitud total de 2.8 km.

El sistema de distribución de la gerencia El Jobal empieza en el poste que se encuentra al lado de la subestación 07UB03 hasta la planta de tratamiento de aguas negras y posee una longitud de 251 metros.

La línea de transmisión esta conformada por postes de paso y amarre con las siguientes características:

- Poste Tubular de acero de 13.7 metros.
- Crucetas dobles H.G de 2.44 metros.
- Pletinas de 71 centímetros.
- Aisladores de espigas.
- Palillos.



- Abrazaderas 4T-7-7 ½”.
- Barra de tierra copperweld.
- Fundación sencilla $R_c = 150 \text{ kg/m}^2$.
- Conector de tierra a poste.

2.3.11 Parámetros de la línea.

La línea de transmisión posee un conductor de tipo Arvidal # 4/0 de 7 hilos, de acuerdo a las especificaciones de fábrica el conductor tiene los siguientes parámetros:

CALIBRE	R^+ (Ω/KM)	X^+ (Ω/KM)	B^+ [(1/ Ω)/KM]	R^0 (Ω/KM)	X^0 (Ω/KM)	B^+ [(1/ Ω)/KM]
ARV. # 4/0	0.26764	0.41572	0.3954×10^{-3}	0.44405	0.21098	0.1657×10^{-3}

Tabla 2.14 Transformadores Instalados y Carga Consumida del Sistema de Distribución El Jobal.

SISTEMA DE DISTRIBUCION EL JOBAL	
Equipo	MVA instalados
Vigilancia	1x15 KVA
Caseta de los bomberos	3x10 KVA
Deposito	3x25 KVA
Alumbrado	3x37.5 KVA
Oficinas	3x50 KVA
Alumbrado	3x10 KVA
Comedor	3x37.5 KVA
Almacén	3x50 KVA
Taller Central	3x50 KVA
Planta de Tratamiento	3x10 KVA
Guardia Nacional 1	3x25 KVA
Guardia Nacional 2	1x25 KVA
Total KVA instalados	955 KVA



CAPITULO III

ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

3.1 Introducción.

El sistema eléctrico de potencia del área El Jobal, presenta una serie de interrupciones en la continuidad del servicio. Aunque estas son limitadas por un corto tiempo, son perjudiciales en los procesos de producción. Debido a esto surge la necesidad de realizar los cálculos de los niveles de cortocircuito, cuyos resultados serán utilizados por la empresa para posteriormente realizar la coordinación de protecciones en dicho sistema.

En este capítulo se detallara toda la información necesaria para la realización del estudio de cortocircuito, así como los resultados arrojados por los cálculos de dicho estudio a nivel de 13.8 kV y 480 V respectivamente, estos vienen expresados en MVA para las distintas fallas. Luego se compararan estos valores con los arrojados por la simulación.

3.2 CONCEPTOS GENERALES.

3.2.1 Falla.

Es la condición que impide continuar la operación de uno o más componentes de un sistema y requiere la rápida acción de los esquemas de protección para minimizar los daños en el equipo fallado.

3.2.1.1 Falla en un Sistema de Potencia.

Las fallas en un sistema de potencia son originadas por las pérdidas del aislamiento, debido a los contactos eléctricos entre fases o entre fase y tierra.



Los efectos de las fallas sobre el sistema son variados:

→ Originan, debido a las corrientes elevadas que se producen, efectos dinámicos y térmicos sobre los equipos; estos se pueden ver afectados severamente si la falla no se despeja rápidamente.

→ Las fallas generalmente producen variaciones transitorias de tensión, que causan problemas a muchos procesos industriales debido a la magnitud y duración de esta.

→ Las fallas producen oscilaciones en los rotores de las maquinas sincrónicas, que pueden poner en peligro la estabilidad del sistema. [1]

3.2.1.2 Tipos de Fallas en un Sistema de Potencia.

En los sistemas eléctricos de potencias pueden ocurrir diferentes tipos de fallas por cortocircuito estas son:

- Falla de línea a tierra (fase a tierra).
- Falla de línea a línea (fase a fase).
- Falla de dos líneas a tierra.
- Falla trifásica.

Siendo la falla de mayor ocurrencia la de línea a tierra y en orden descendiente la de línea a línea quedando en último término la falla trifásica la cual se presenta principalmente por causas accidentales.

➤ **Falla de Línea a Tierra:** Este tipo de falla como se menciono antes es la común, porque puede tener como origen diferentes causas, entre las cuales tenemos: falla de aislamiento, contacto del conductor de fase con la estructura, descargas atmosféricas, contactos de ramas de árboles con conductores. (ver figura 3.1)



La corriente de cortocircuito para este tipo de falla se ve afectada por la forma en que están los neutros de los equipos y aparatos conectados a tierra ya que representan los puntos de retorno de las corrientes de secuencia cero por lo tanto para este tipo de estudio es muy importante saber cómo están conectadas las redes de secuencia de acuerdo al punto de falla y en particular en la llamada secuencia cero que está constituida por las impedancias de secuencia cero de los elementos del sistema.

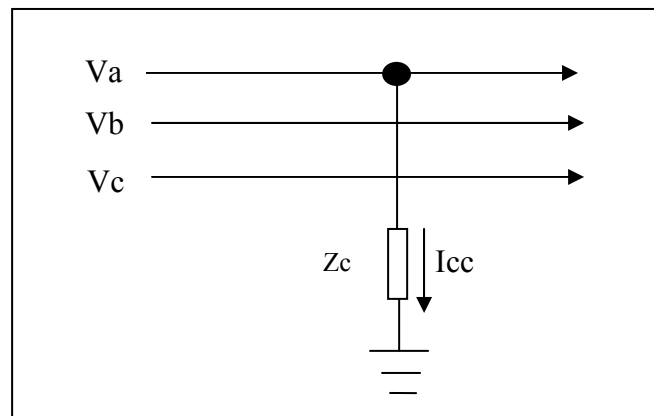


Figura 3.1 Falla de Fase a Tierra.

- **Falla de Línea a Línea:** Se origina por el contacto de dos fases, su magnitud es aproximada igual al 87% de la falla trifásica. (ver figura 3.2)
- **Falla Trifásica:** Este tipo de falla como ya se ha mencionado, es la menos frecuente y sus causas son accidentales, esta corriente es la que somete a los equipos de una instalación a sus mayores esfuerzos debido a los efectos térmicos y electrodinámicos productos de las grandes potencias de cortocircuito generadas por la falla. [1] (Ver figura 3.3)

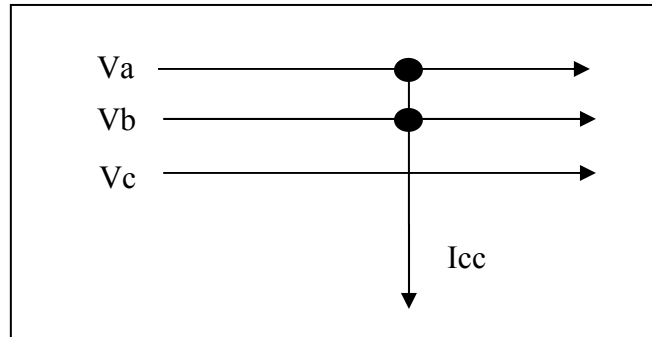


Figura 3.2 Falla de Fase a Fase.

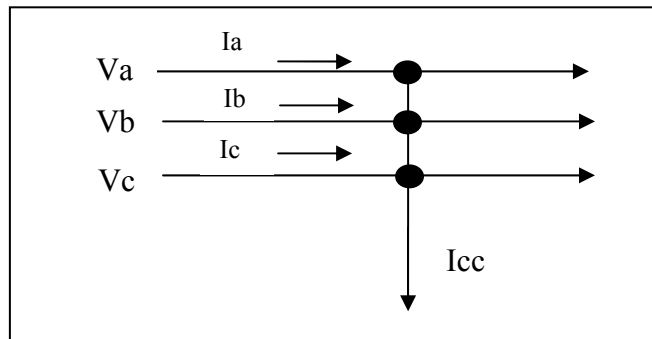


Figura 3.3 Falla de Trifásica.

3.2.1.3 Prevención de Fallas.

Al diseñar cualquier sistema de potencia, se trata en lo posible, de prevenir la ocurrencia de fallas, estas se minimizan de la siguiente manera:

- Utilizando el aislamiento necesario de acuerdo a la tensión de servicio, a las condiciones de operación y ala localización de los elementos del sistema de potencia.
- Coordinando adecuadamente el aislamiento en las diferentes partes del sistema.
- Utilizando cables de guarda, para interceptar descargas atmosféricas.
- Uso adecuado de pararrayos.



- Evitar sobretensiones en el sistema.
- Mantenimiento adecuado en el sistema para detectar fallas incipientes y evitar que se conviertan en fallas severas.
- Resistencia mecánica del diseño, para disminuir las probabilidades de falla originadas por animales, polvo, etc.

3.2.1.4 Disminución de los Efectos de una Falla.

- Consiste en diseñar el sistema de tal manera de disminuir las magnitudes de las corrientes de fallas, para ello se debe evitar la concentración excesiva de generación en un solo punto y los equipos deben tener suficiente impedancia para limitar las corrientes de fallas.
- Diseñar los equipos para que puedan soportar la máxima corriente de falla durante un breve tiempo sin sufrir deterioros, bien sea por efecto dinámico y térmico.
- Desconexión rápida de la falla, para evitar mayores daños a los equipos; para esto se utilizan dispositivos de protecciones que detecten la falla y otros aíslan la falla como los interruptores de potencia o disyuntores.

3.2.2 Corriente de Cortocircuito.

Representa uno de los pasos más importantes en el estudio de coordinación y ajuste de los relés de protección y viene a ser la corriente de falla que circula durante un cortocircuito, por lo tanto, está limitada solamente por la impedancia de los elementos del sistema entre la fuente de energía y el punto de falla.

3.2.2.1 Fuentes de Corriente de Cortocircuito.

Entre las fuentes de corrientes de cortocircuito tenemos:



- **Compañía de Suministro Eléctrico:** Son complejas interconexiones de plantas de generación y líneas de transmisión y distribución, son consideradas como una fuente infinita de corrientes de cortocircuito. Se representa como una fuente de generación simple con una reactancia en serie, equivalente a su capacidad de cortocircuito, su magnitud es suministrada generalmente por la propia compañía en los puntos de interés para el usuario.
- **Generadores Sincrónicos:** La corriente de cortocircuito de un generador decae exponencialmente de un valor inicial relativamente alto a un valor menor de estado estable. Los generadores tienen una reactancia variable que aumenta en magnitud con el tiempo.

La reactancia se compone de los siguientes valores:

- **Reactancia Subtransitoria (X''_d):** Esta determina la corriente de cortocircuito inmediatamente después de ocurrir la falla. Este valor dura unos pocos ciclos después de que ocurre la falla y se incrementa al siguiente valor en aproximadamente 0.1 en segundo.
- **Reactancia Transitoria (X'_d):** Esta dura aproximadamente dos segundos y va aumentando hasta alcanzar el valor definitivo.
- **Reactancia Sincrónica (X_d):** Determina el flujo de corriente de cortocircuito después de haber alcanzado una condición de estado estacionario.
- **Motores Sincrónicos:** Se comportan en forma similar a los generadores sincrónicos. Como su devanado de campo permanece excitado, el motor sincrónico se comporta como un generador suministrando corriente de cortocircuito durante varios ciclos después de que ocurre el cortocircuito.



➤ **Motores de Inducción:** Aportan corriente de cortocircuito cuando; después de ocurrir una falla, el motor continua en movimiento debido a la inercia de la carga y del rotor y se comporta como un generador.

3.2.2.2 Causas de los Cortocircuitos.

➤ **Deterioro del Aislamiento:** Es producida por sobretensiones, recalentamiento, por acción de agentes químicos, envejecimiento, etc.

➤ **Maniobras Incorrectas:** Aperturas de interruptores indebidos, energizar líneas puestas a tierra, etc.

➤ **Causas Accidentales:** unión de los conductores por acción del viento, arboles que hacen contactos con las líneas energizadas, caídas de postes con líneas energizada, etc.

➤ **Causas intencionales:** Explosiones provocadas en subestaciones, ruptura intencional de aisladores, contacto intencional de líneas energizadas.

3.2.2.3 Protección Adecuada Contra Cortocircuitos.

Se debe determinar con exactitud la corriente de cortocircuito que se puede presentar, para así poder seleccionar con minuciosidad los dispositivos de protección de cortocircuito.

Tener presente el incremento en la carga de la planta y el hecho de que la capacidad de cortocircuito de los dispositivos interruptores dependen de la magnitud del sistema de alimentación.

Se debe verificar todos los esfuerzos de los circuitos tales como las barras de distribución. Estos esfuerzos son proporcionales al cuadrado de la corriente de cortocircuito.



3.2.3 Perturbaciones.

Es una determinada condición que permite continuar la operación del sistema, sin afectarla; pero puede dañar ciertos equipos si se prolonga más allá de cierto tiempo.

Tanto las fallas como las perturbaciones deben ser detectadas y despejadas por las protecciones, ya que de ocurrir una falla en un componente del sistema de potencia significa, por lo general, una perturbación para los otros equipos que permanecen acoplados. Al aislar el equipo fallado se elimina simultáneamente la perturbación, con lo cual el servicio continua operando normalmente.

3.2.3.1 Sobrecargas.

Un equipo o línea se encuentra sobrecargado, cuando su corriente es superior a la nominal. Las sobrecargas son corrientes permanentes o breves, según sea el caso. Las principales causas son las siguientes:

- Los cortocircuitos que no se aíslen oportunamente.
- Los picos de los consumos o de la transferencia de potencia en líneas de interconexión, que pueden corresponder a sobretensiones superiores a 20 o 30% durante largo tiempo.
- Sobrecorrientes originadas por desconexiones de circuitos en paralelo, que pueden prolongarse hasta la reposición del circuito desconectado.

3.2.3.2 Sobretensiones.

Las sobretensiones en un sistema de potencia son perjudiciales por lo siguiente:

- Someten a los aislantes a esfuerzos que lo envejecen y pueden llegar a destruirlos.



- En casos de duración prolongada traen como consecuencia daños en los equipos de los usuarios, así como también para los equipos de generación y transformación.

3.2.3.3 Oscilaciones.

Las causas más comunes de oscilaciones son las conexiones y desconexiones de circuitos en el sistema, al producirse variaciones de potencia. Esto se debe a que los alternadores no toman instantáneamente el ángulo correspondiente a la carga, sino después de cierto número de oscilaciones amortiguadas, pudiendo en algunos casos perder su sincronismo.

3.2.3.4 Desequilibrio.

Cuando se producen desequilibrios es preciso determinar su causa, ya que estos pueden traer consecuencias graves para el funcionamiento de las maquinas u otros equipos. Por lo tanto, aunque no provocan manifestaciones violentas sus consecuencias no deben ser despreciables, ya que producen vibraciones y calentamiento anormales en motores, alternadores y transformadores.

3.2.4 Fundamentos de las Componentes Simétricas.

Las componentes simétricas sirven para transformar un sistema de vectores desbalanceados a un sistema de "n" vectores balanceados, este proceso se conoce también como las transformaciones nodales el cual por ser en esencia matemático tiene muchas aplicaciones, y es particularmente útil para los estudios de redes eléctricas desbalanceadas. Los "n" vectores de cada conjunto de componentes son iguales en magnitud y los ángulos entre ellos son iguales entre ellos también. El método es aplicable para "n" vectores desbalanceados, pero se utilizara para sistemas trifásicos. (Ver figura 3.4)

Los tres vectores desbalanceados se pueden descomponer en tres sistemas balanceados de vectores parar su solución. Estos tres sistemas son los siguientes:



- Componentes de secuencia positiva que consiste en tres factores de igual magnitud defasado uno del otro 120 grados y teniendo la misma secuencia de fase que el sistema original de vectores.
- Componentes de secuencia negativa que consiste en tres fasores de igual magnitud defasado uno de otro 120 grados con una secuencia de fase opuesta a la del sistema de original.
- Componentes de secuencia cero que consiste en tres fasores de igual magnitud con defasamiento de cero grados entre ellos.

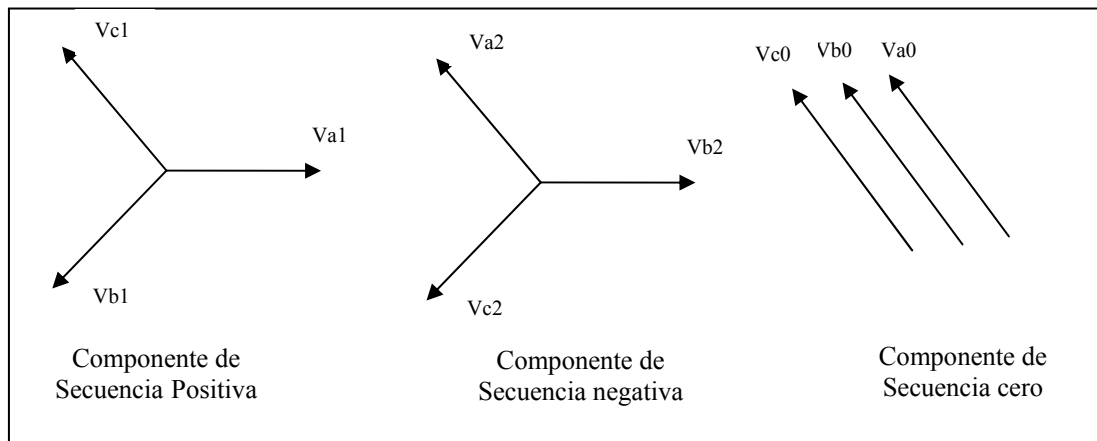


Figura 3.4 Componentes Simétricas.

3.2.5 Diagrama de Impedancias.

- Diagrama de impedancia secuencia positiva.

Se construye reemplazando cada elemento del sistema mostrado en el diagrama unifilar por sus impedancias de secuencia positiva ya referidas a una base común y representado, a las fuentes de voltaje con sus valores en por unidad referidos también a una base de tensión común. **(Ver figura 3.6)**

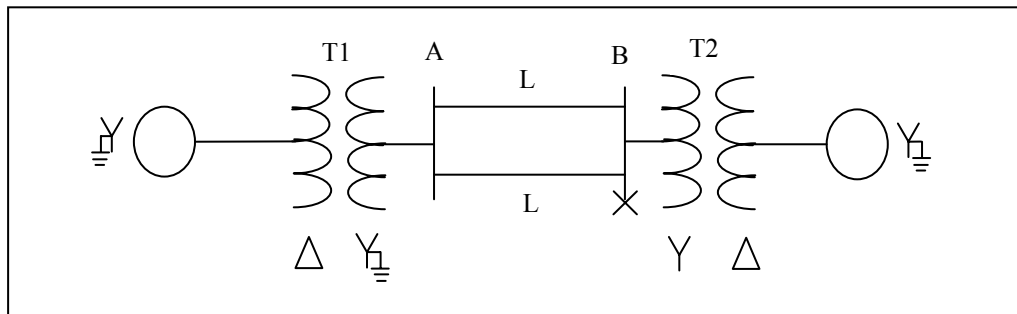


Figura 3.5 Diagrama del Sistema.

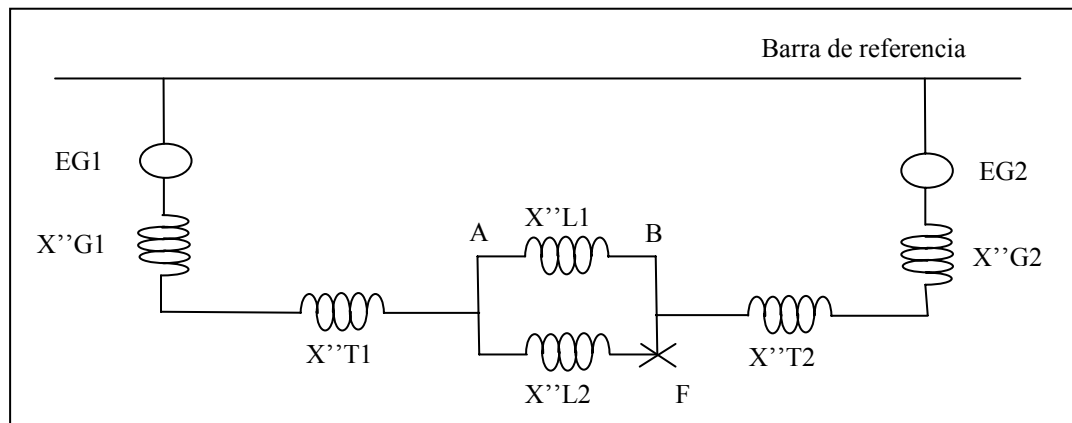


Figura 3.6 Diagrama de Secuencia Positiva.

➤ Diagrama de impedancia secuencia negativa.

El diagrama de secuencia negativa para un sistema se elabora de la misma forma que el de secuencia positiva con la diferencia, de no llevar fuentes de voltaje como en el de secuencia positiva, (**ver figura 3.7**). Es bastante común que en los estudios de cortocircuito de fase a tierra se haga solo el de secuencia positiva y las reactancias se tomen igual para el de secuencia negativa en la fórmula del cálculo.

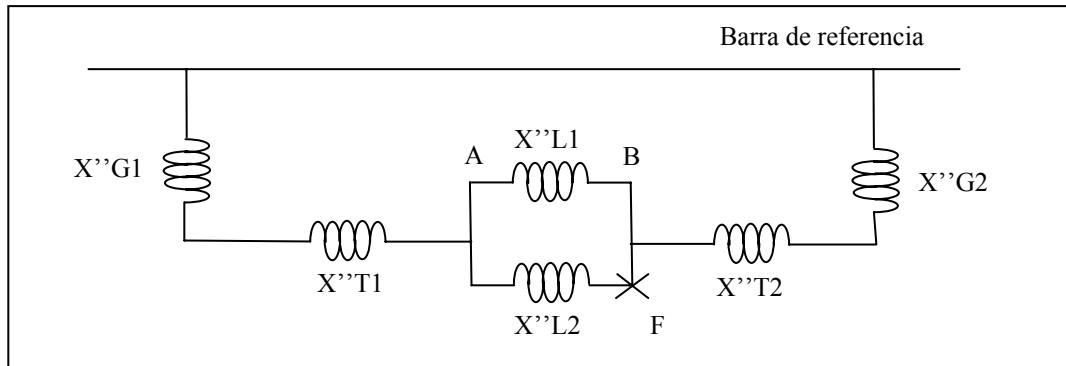


Figura 3.7 Diagrama de Secuencia Negativa.

➤ Diagrama de impedancias secuencia cero.

El diagrama de impedancias de secuencia cero requiere de otras consideraciones adicionales a las hechas para la secuencia positiva y negativa, ya que las corrientes de secuencia cero que circulan a través de estas impedancias, lo hacen a tierra por lo que influyen de forma determinante como se encuentran conectados los neutros de los distintos elementos a tierra.

Para la elaboración del diagrama de impedancias de secuencias cero hay que tomar en cuenta la forma en cómo están conectados los neutros a tierra de generadores y transformadores. (Ver figura 3.8)

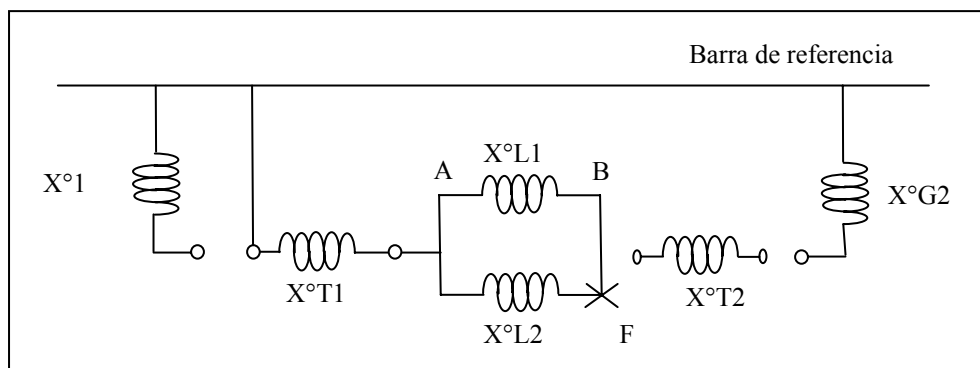


Figura 3.8 Diagrama de Secuencia Cero.



3.3 Metodología del Cálculo.

Para el desarrollo de este estudio los niveles de cortocircuito aportados por la empresa de suministro eléctrico fueron: trifásico (106 MVA) y monofásico (47 MVA).

El estudio de cortocircuito se realizó con la ayuda del módulo “short-circuit analysis” de la herramienta ETAP 5.03. Este simulador permite obtener los niveles de corrientes de cortocircuito mediante la norma americana ANSI y la norma europea IEC, para este estudio utilizamos la norma IEC.

También se calcularon los niveles de cortocircuito de manera teórica utilizando el método de los MVA, el cual consiste en calcular los equivalentes en MVA de todas las cargas pertenecientes al sistema eléctrico de El Jobal, para posteriormente determinar los niveles de cortocircuito aplicando un conjunto de ecuaciones que se explicaran a continuación.

3.3.1 Cálculos de Cortocircuito.

Para realizar estos cálculos como se dijo anteriormente se aplicó el método de los MVA, teniendo presente que para calcular los equivalentes en MVA de cada motor se tomó la reactancia subtransitoria de 20%.

Para el cálculo del equivalente en MVA de cada motor se utilizó la siguiente ecuación:

$$MVA(equipo) = \frac{\sqrt{3} \times U \times In}{X''d} \quad (\text{Ec. 3.5})$$

Donde:

U : Voltaje de operación.

In : Corriente nominal.

$X''d$: Reactancia subtransitoria.



Para el caso de los transformadores se utilizó la expresión:

$$MVA(TX) = \frac{S}{\%Z_{cc}} \quad (\text{Ec. 3.2})$$

Donde:

S : Potencia aparente del equipo.

$\%Z_{cc}$: Impedancia de cortocircuito.

Y por último para los MVA de la línea se utilizó:

$$MVA(\text{línea}) = \frac{U^2}{ZL \times L} \quad (\text{Ec. 3.3})$$

Donde:

U : Voltaje de operación.

ZL : Impedancia de línea.

L : Longitud de la línea.

Una vez calculados todos los equivalentes en MVA del sistema los cuales se ilustran en la **tabla 3.1**; se procedió a elaborar dos diagramas uno representando como están distribuidas las máquinas y equipos que conforman el sistema eléctrico de El Jobal y otro igual pero representando los equivalentes en MVA de cada equipo o maquinaria. (Ver **figura 3.9 y 3.10**).



Tabla 3.1 MVA de los Equipos y Líneas Conectados al Sistema Eléctrico de El Jobal.

MVA DE LAS LINEAS Y EQUIPOS DEL SISTEMA ELECTRICO EL JOBAL			
EQUIPOS	MVA	EQUIPOS	MVA
LINEA 1	275.0274 MVA	TX 12BFT03	10.8621 MVA
LINEA 2	641.7307 MVA	TX BL-8.05	10 MVA
LINEA 3	481.2980 MVA	BARRA (N1)	0.6624 MVA
LINEA 4	1659.6483 MVA	BARRA (N2)	5.3370 MVA
ST 7.07	10 MVA	BARRA (N3)	4.4557 MVA
ST 7.09	10 MVA	BARRA (N4)	0.6624 MVA
RC-7.10	16 MVA	BARRA (N5)	3.8182 MVA
RC-7.13	16 MVA	BARRA (N6)	10.3199 MVA
TX 10BFT01	32.7869 MVA	BARRA (B1)	3.0117 MVA
TX 10BFT02	32.7869 MVA	BARRA (B2)	2.2318 MVA
TX 10BFT03	16.6667 MVA	BARRA (B3)	2.2611 MVA
TX 10BFT04	16.6667 MVA	BARRA (B4)	3.0117 MVA
TX 10BFT05	16.6667 MVA	BARRA (M1)	1.7021 MVA
TX 10BFT06	16.6667 MVA	BARRA (M2)	4.9482 MVA
TX 12BFT01	23.8095 MVA	BARRA (M3)	3.7527 MVA
TX 12BFT02	23.8095 MVA	BARRA (M4)	0.0382 MVA

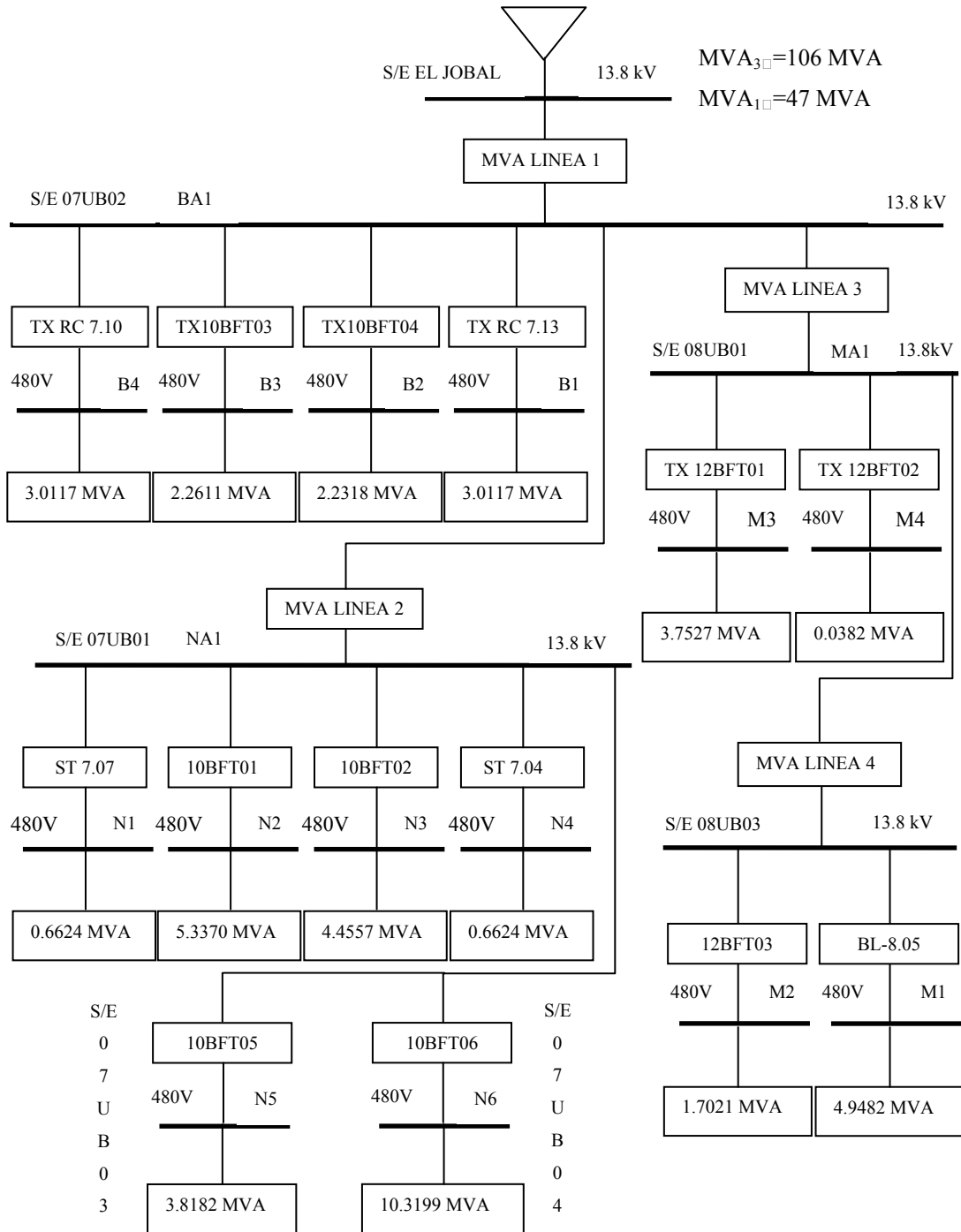


Figura 3.9 Diagrama de Bloque del Sistema Eléctrico de El Jobal.

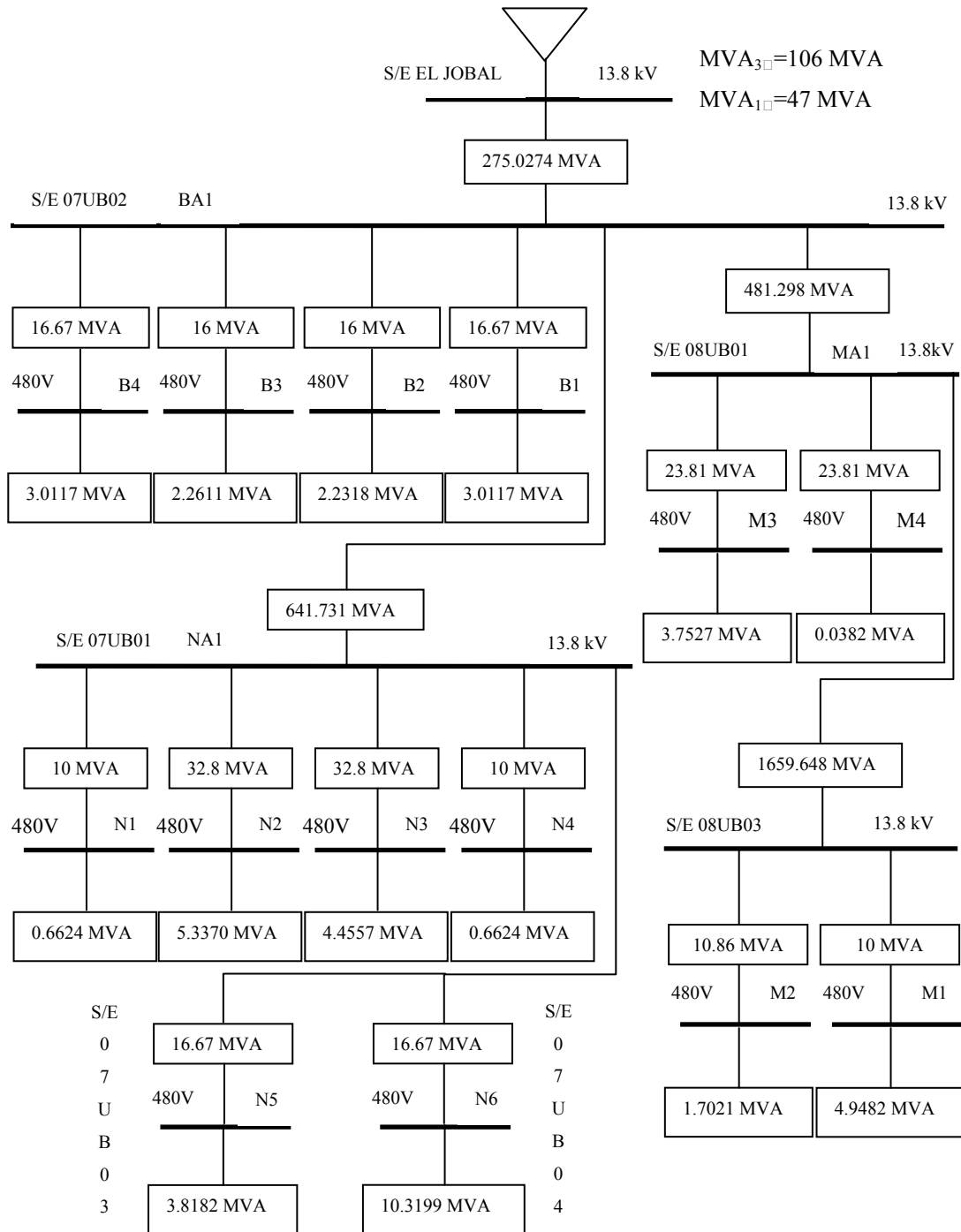
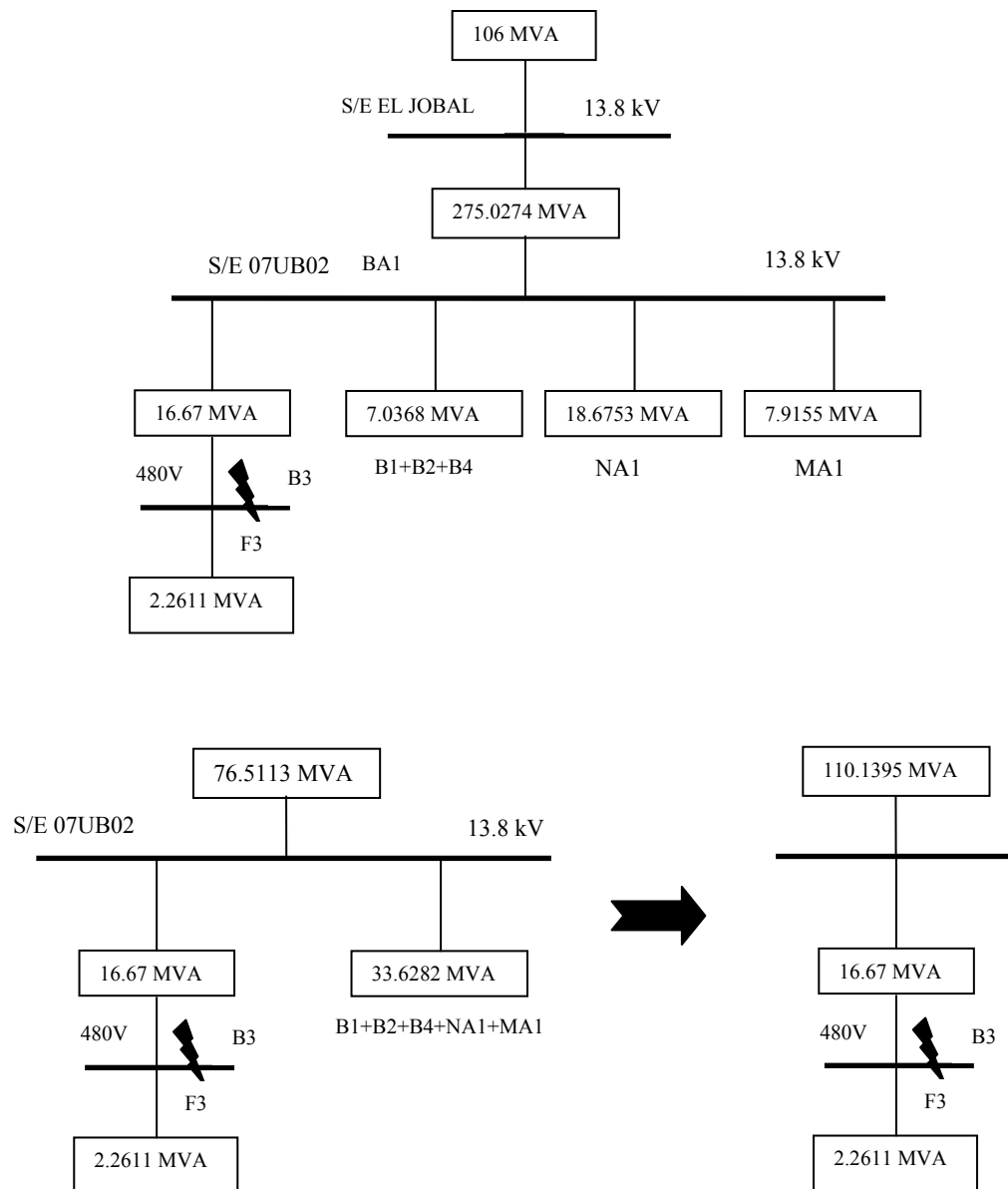


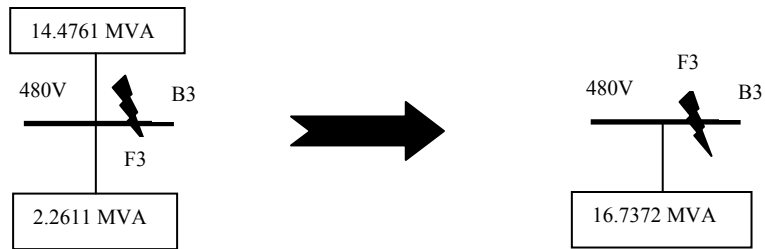
Figura 3.10 Diagrama de Bloque en MVA del Sistema Eléctrico de El Jobal.



Una vez realizada la conversión de todo el sistema eléctrico a su equivalente en MVA se procedió a calcular los niveles de corriente de cortocircuito en todas las barras a nivel de 13.8 kV y 480 V ubicadas en las distintas subestaciones de dicho sistema.

Para una falla trifásica (3ϕ) en la barra B3 de la subestación 07UB02, se tiene que:

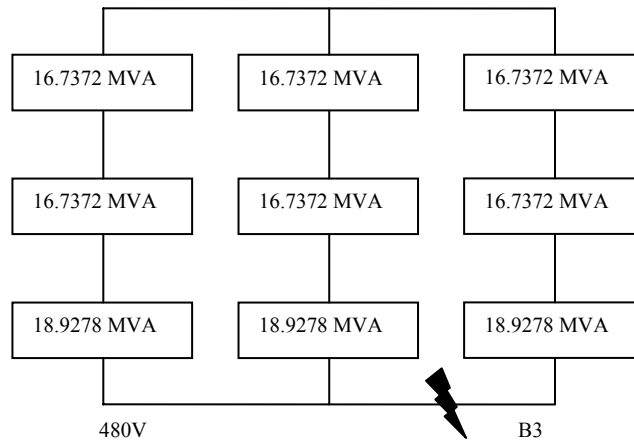
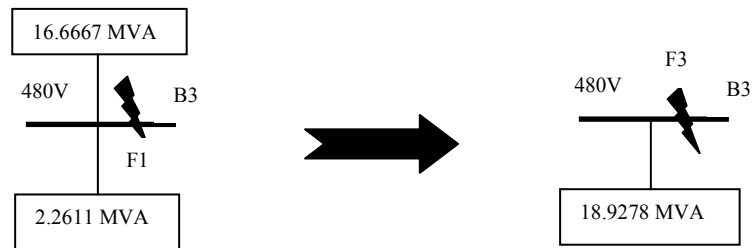




$$I_{cc_{3\phi}}(B3) = \frac{MVA}{\sqrt{3} \times 0.48kV} = \frac{16.7372MVA}{\sqrt{3} \times 0.48kV} \quad (\text{Ec. 3.4})$$

$$I_{cc_{3\phi}}(B3) = 21.7317kA$$

Para evaluar una falla monofásica (1 ϕ) en la barra B3 de la subestación 07UB02, se tiene que:





$$MVA_{1\phi}(B3) = 3 \times (16.7372 // 16.7372 // 18.9278) = 17.4088 MVA$$

$$I_{cc_{1\phi}}(B3) = \frac{17.4088 MVA}{\sqrt{3} \times 0.48 kV} = 21.9395 kA \quad (\text{Ec. 3.5})$$

De esta manera se calcularon las corrientes de cortocircuito en todas las barras a nivel de 13.8 kV y 480 V pertenecientes a las distintas subestaciones que conforman el sistema eléctrico de El Jobal.

3.4 Resultados.

A continuación se presentaran los resultados de los niveles de cortocircuito calculados teóricamente y obtenidos mediante el software ETAP 5.03 en las subestaciones del sistema eléctrico del área el Jobal a nivel de 13.8 kV y 480 Voltios. (Ver tablas 3.2; 3.3; 3.4; 3.5; 3.6; 3.7; 3.8)

Tabla 3.2 Niveles de Cortocircuito de la S/E 07UB01.

SUBESTACION 07UB01 13.8 kV/480V					
BARRA	I _{cc} 3□ TEORICO	I _{cc} 1□ TEORICO	I _{cc} 3□ ETAP	I _{cc} 1□ ETAP	NIVEL DE TENSION
NA1	3.9 kA	3.12 kA	3.83 kA	2.94 kA	13.8 kV
N1	11.32 kA	11.42 kA	11.59 kA	11.61 kA	480 V
N2	36.12 kA	36.09 kA	35.87 kA	35.84 kA	480 V
N3	34.3 kA	35.25 kA	34.52 kA	35.61 kA	480 V
N4	11.72 kA	12.01 kA	11.51 kA	11.43 kA	480 V



Tabla 3.3 Niveles de Cortocircuito de la S/E 07UB02.

SUBESTACION 07UB02 13.8 Kv/480v					
BARRA	Icc 3□ TEORICO	Icc 1□ TEORICO	Icc 3□ ETAP	Icc 1□ ETAP	NIVEL DE TENSION
BA1	4.05kA	3.95 kA	3.94 kA	3.36 kA	13.8 kV
B1	17.22 kA	19.17 kA	16.5 kA	20.08 kA	480 V
B2	21.05 kA	21.91 kA	22.63 kA	22.65 kA	480 V
B3	21.731 kA	21.94 kA	22.89 kA	22.80 kA	480 V
B4	20.42 kA	21.17 kA	20.76 kA	19.73 kA	480 V

Tabla 3.4 Niveles de Cortocircuito de la S/E 07UB03.

SUBESTACION 07UB03 13.8 Kv/480v					
BARRA	Icc 3□ TEORICO	Icc 1□ TEORICO	Icc 3□ ETAP	Icc 1□ ETAP	NIVEL DE DETENSION
N5	24.70 kA	23.93 kA	25.1 kA	24.09 kA	480 V

Tabla 3.5 Niveles de Cortocircuito de la S/E 07UB04.

SUBESTACION 07UB04 13.8 Kv/480v					
BARRA	Icc 3□ TEORICO	Icc 1□ TEORICO	Icc 3□ ETAP	Icc 1□ ETAP	NIVEL DE TENSION
N6	24.13 kA	23.61 kA	24.1 kA	23.95 kA	480 V

Tabla 3.6 Niveles de Cortocircuito de la S/E 08UB01.

SUBESTACION 08UB01 13.8 Kv/480v					
BARRA	Icc 3□ TEORICO	Icc 1□ TEORICO	Icc 3□ ETAP	Icc 1□ ETAP	NIVEL DE TENSION
MU1	3.62 kA	3.17 kA	3.6 kA	2.77 kA	13.8 kV
M2	17.73 kA	17.32 kA	17.91 kA	17.88 kA	480 V
M3	27.19 kA	26.03 kA	27.83 kA	25.57 kA	480 V

**Tabla 3.7 Niveles de Cortocircuito de la S/E 08UB03.**

SUBESTACION 08UB03 13.8 Kv/480v					
BARRA	Icc 3 \square TEORICO	Icc 1 \square TEORICO	Icc 3 \square ETAP	Icc 1 \square ETAP	NIVEL DE TENSION
M4	22.88 kA	24.13 kA	22.18 kA	23.81 kA	480 V

Tabla 3.8 Niveles de Cortocircuito de la BL-8.05.

SUBESTACION BL-8.05 13.8 Kv/480v					
BARRA	Icc 3 \square TEORICO	Icc 1 \square TEORICO	Icc 3 \square ETAP	Icc 1 \square ETAP	NIVEL DE TENSION
M1	13.37 kA	13.17 kA	12.97 kA	12.19 kA	480 V

3.5 Comparación de Resultados.

El estudio arriba realizado contemplo el análisis de los niveles de cortocircuito trifásico y monofásico de las seis subestaciones del sistema eléctrico de potencia de El Jobal. Los resultados obtenidos permitirán a la empresa realizar una nueva coordinación de las protecciones de su sistema eléctrico y así garantizar la capacidad de interrupción de los equipos de protección que se encuentran en dicho sistema. Con estos resultados también se pudo observar que los niveles de cortocircuitos de las barras de 13,8 kV del sistema están muy cercanos a al nivel de falla que tiene la acometida de la empresa de suministro CORPOELEC (4.4). Los valores calculados son muy similares a los arrojados por la simulación demostrando que el software ofrece un buen nivel de confiabilidad.



CAPITULO IV

ESTUDIO DE FLUJO DE CARGA

4.1 Introducción.

Los estudios de flujo de carga, son sumamente importantes para evaluar el funcionamiento de los sistemas de potencia, su control y planificación para expansiones futuras. Un estudio de flujo de carga define principalmente las potencias activas y reactivas, la tensión, corriente y el factor de potencia en cada barra del sistema.

En este capítulo se proporciona la teoría necesaria para realizar los diferentes métodos de cálculo de flujo de carga, además se explica el uso de la herramienta computacional ETAP PowerStation 5.03 la cual se utilizo para ejecutar el estudio de flujo de carga en el sistema eléctrico del área El Jobal.

4.2 Conceptos Generales.

4.2.1 Flujo de Carga.

Consiste en determinar los voltajes en cada unas de las barras del sistema, así como también los flujos de energía en todas las ramas para unas determinadas condiciones. Este se realiza para verificar el funcionamiento de un sistema existente bajo condiciones normales o de fallas, para ver si dicho sistema es capaz de proporcionar la energía necesaria para las cargas adicionales planeadas, o verificar y comparar las nuevas alternativas para las sumas del sistema proporcionar la nueva carga o mejorar la actuación del sistema.



4.2.2 Objetivos del Estudio de Flujo de Carga.

Los objetivos fundamentales del estudio de flujo de carga son los siguientes:

- Confirmar que las tensiones en las barras estén dentro de un rango permitido o recomendado de tensión, de acuerdo con requerimientos particulares del Proyecto (Criterios de Diseño) o estándares y normas nacionales e internacionales.
- Capacidad de las Barras Principales (Amperios).
- Verificación de la máxima caída de tensión en los alimentadores.
- Tensión, corriente, potencia activa y reactiva, y factor de potencia en el sistema eléctrico.
- Determinar, si es necesario, requerimientos de compensación reactiva, para mejorar las tensiones o el factor de potencia.
- Recomendar el TAP de los transformadores de potencia para mantener estas tensiones dentro del rango.
- Determinar la carga de los transformadores de potencia y su margen de reserva, para expansiones futuras del sistema.
- Cálculo de las pérdidas técnicas.
- Verificar el factor de potencia de la interconexión de una Planta o sistema con el Sistema Eléctrico Nacional, u otro sistema.

4.2.3 Tipos de Barras.

Se ha hablado de que la inyección fundamental en la barra es su inyección de corriente. Cuando se habla de inyección nodal debe entenderse inyección nodal neta. La palabra neta significa generación local menos carga local. **(Ver figura 4.1)**



En la práctica la generación y las cargas de un sistema eléctrico se definen en MVA, MW y MVAR en lugar de amperios y voltios.

Atendiendo a la identificación de los consumos mediante unidades de potencia eléctrica, en la nomenclatura tradicional de los sistemas de potencia se distinguen tres tipos de nodos los cuales se definirán a continuación.

4.2.3.1 Barra PQ.

También llamadas barras de carga, son aquellas donde se especifican las Z inyecciones netas de potencia activa y reactiva P neta Q neta. Estas barras son las más abundantes en un sistema de potencia pudiendo comprender más de un 90% del conjunto de Barras. Por cierto, considerando que cargas reales y generaciones existen en muy pocas barras, es muy común que la inyección neta comprenda P y Q nulos.

Al ser P y Q datos, que quedan como incógnitas en estas barras las cantidades V (módulo de la tensión) y θ (ángulo de la tensión nodal), los cuales se miden con respecto a la referencia (puntos neutros) de tensiones.

4.2.3.2 Barra PV.

En estas barras se especifican como datos la inyección neta activa P y la magnitud (módulo) de la tensión nodal V , permaneciendo como incógnitas las dos restantes cantidades Q y θ .

Estas barras tradicionalmente están ligadas a puntos de generación activa, por lo cual también se conocen como barras de generación. Nótese que al especificar como dato el módulo V , significa que hay algún control de tensión actuando con precisión, que permite asegurar que el valor numérico predefinido se va a mantener por lo menos para el instante de tiempo al cual pertenecen el resto de los datos.



La manera típica de mantener un control de voltaje es mediante de la manipulación de la potencia reactiva inyectada, lo cual, en un generador sincrónico se hace ajustando adecuadamente la corriente de excitación.

4.2.3.3 Barra de Referencia.

La barra slack o barra de referencia, ha sido ya justificado por dos razones:

- Porque existen problemas de inestabilidad numérica en los cálculos digitales, causando problemas de redondeo que puedan conducir a la divergencia matemática.
- Porque en los sistemas de potencia es imposible conocer antes del resultado del flujo de carga, las pérdidas de potencias complejas en el Sistema de transmisión, por lo cual se seleccionara una barra de generación para suministrar el total de dichas pérdidas, permaneciendo exclusivamente como datos del modulo V y el ángulo θ de dicho modulo.

Esa barra especial que ya tiene tensión asignada, aun antes de entrar a calcular la tensión de todos sus congéneres, es el llamada slack. Nótese que con tomar θ nulo para la barra slack se resuelve un problema, permaneciendo en discusión el valor del modulo V .

La “panacea” universal de asignarle a V 1 p.u debe ser vista con cuidado. Ciertamente 1 p.u como valor nominal clásico es muy útil si no se tienen más datos, o se está trabajando con problemas de planificación a largo plazo. Pero en problemas de operación de líneas, la tensión de referencia en modulo debe provenir de una medición muy precisa. De lo contrario tomar como dato 1 p.u, puede conducir a tomar decisiones erróneas, en lo referente a la desviación predefinida de límites operacionales.

No debe confundirse la barra de referencia con la barra absoluta de tensiones. Para situaciones de régimen permanente, donde todos los equipos se suponen



balanceados y las cargas perfectamente simétricas, los puntos neutros del sistema, tendrán la misma tensión de tierra, la cual se asume en cero absoluto. La tensión de referencia se mide con respecto a ese valor absoluto. Tomar para el ángulo de referencia cero radianes es una comodidad internacionalmente aceptada. Igualmente se podría tomar cinco grados o menos cinco grados, pero ello solo conduce a una relativa mayor dificultad para interpretar los resultados, en lo que a flujo de potencia y desviaciones angulares se refiere.

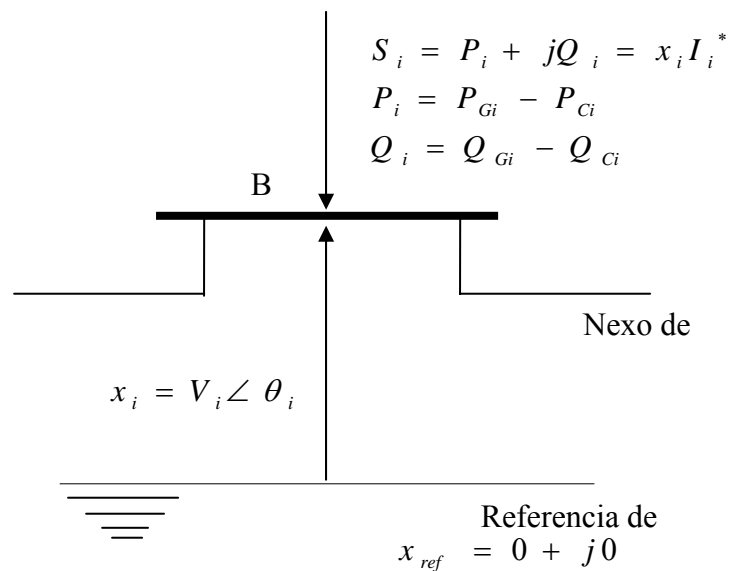


Figura 4.1 Tipos de barras.

4.2.4 Métodos Para el Estudio de Flujo de Carga.

Para desarrollar el estudio de flujo de carga existen distintos métodos, entre los cuales tenemos: el método de Gauss-Seidel, el método de Newton-Rhapson y el método de Newton Rhapson desacoplado con jacobianos constantes.



4.2.4.1 Método de Gauss-Seidel.

Destaca por su simplicidad, pero se ve aquejado por el elevado número de iteraciones requeridas. Esta dificultad trata de ser prevenida, por una variante llamada método de la matriz de impedancia nodal.

El método de Gauss-Seidel está conformado por dos métodos esenciales, los cuales son el método directo e indirecto. El método indirecto se caracteriza por ser relativamente insensible a las tensiones iniciales estimadas, su poco requerimiento de memoria (la matriz Y es muy dispersa debido a lo radial del sistema de distribución en estudio) y su simple programación.

El método Gauss-Seidel directo es más confiable que el previamente descrito, además, aunque las tensiones presentan convergencia de oscilaciones mayores que el método indirecto, el proceso global converge mucho más rápido. También es menos dependiente del tamaño del sistema, esto debido a que la matriz de impedancia nodal (matriz Z) es completa y provee de un buen acoplamiento matemático entre las tensiones de las barras, es decir, una mejora en el valor de una tensión afecta inmediatamente el cálculo de las próximas tensiones.

4.2.4.1.1 Características del Método de Gauss-Seidel.

1. Su aplicación al problema de flujo de carga, carece de sustentación matemática.
2. En la práctica converge apropiadamente, aproximándose el número de iteraciones requeridas al número de nodos involucrados.
3. Aun cuando el número de iteraciones sea elevado, cada iteración es muy rápida, por la cual los tiempos globales de procesamiento son aceptables.
4. Su simplicidad matemática es notoria, no requiriéndose la inversión de matrices en lo absoluto, por lo cual su programación digital es muy rápida.



5. No requiere grandes espacios de memoria computacional, pues solo almacena la matriz de admitancia nodal Y , la cual a su vez puede optimizar significativamente como ya se ha discutido.

4.2.4.2 Método de Gauss-Seidel con Factor de Aceleración (α).

La experiencia con el método de Gauss-Seidel para la solución del problema de flujo de carga ha demostrado que se puede reducir, considerablemente, el número de iteraciones requeridas si la corrección de voltaje de cada barra se multiplica por una constante que incremente la cantidad de corrección para que el voltaje sea más cercano al valor al que se está aproximando. El multiplicador que lleva a cabo esta convergencia mejorada se llama factor de aceleración (α). La diferencia entre el valor de voltaje que recientemente se ha calculado y el mejor que previamente se evaluó en la barra, se multiplica por el factor de aceleración apropiado (α) para obtener una mejor corrección que se añadirá al valor previo.

4.2.4.3 Método de Newton-Raphson.

Es un método fundamentado sobre sólidas bases matemáticas, que vino a popularizarse en la década de los años setenta, cuando la disponibilidad de los computadores digitales y las técnicas de manejo matricial, adquieren auge.

La mayoría de las investigaciones en soluciones técnicas de flujo de carga se han centrado en los métodos de Newton-Raphson. Se han desarrollado variaciones de este método para superar las debilidades del método original, sobre todo la habilidad de converger de una estimación de voltaje inicial bajo.

Existen dos tipos de análisis que tienen como base el método de Newton-Raphson, estos son el método de Newton-Raphson desacoplado y el método de Newton-Raphson desacoplado con jacobianos constantes.



4.2.4.4 Método de Newton-Raphson Desacoplado.

Trata de reducir el tiempo de procesamiento del tradicional newton-Raphson, pero perdiendo confiabilidad en su tasa de convergencia.

4.2.4.4.1 Características del Método de Newton-Raphson Desacoplado.

1. Su formulación es empírica.
2. La tasa de convergencia es menos confiable que el de Newton-Raphson completo.
3. Permite reducir el almacenamiento requerido por el Jacobianos completo a la mitad.
4. Al haber menos cálculos por iteración, cada iteración es más rápida que en el Newton-Raphson completo, pero el número de iteraciones puede incrementarse apreciablemente.
5. Al existir dos subjacobianos independientes, el método permite utilizar desplazamientos sucesivos para tratar de mejorar la convergencia, es decir, iterar de la siguiente manera:

$$\Delta \underline{\theta} = [J_{P \theta}(\underline{\theta}^r, \underline{V}^r)] \times [\Delta \underline{P}(\underline{\theta}^r, \underline{V}^r)]$$

$$\Delta \underline{V} = [J_{OV}(\underline{\theta}^{r+1}, \underline{V}^r)] \times [\Delta \underline{O}(\underline{\theta}^{r+1}, \underline{V}^r)]$$

$$\underline{V}^{r+1} = \underline{V}^r + \Delta \underline{V}$$

6. Utilizar jacobianos repetidos (sin recalcular) de una iteración para otra, empeora drásticamente la tasa de convergencia, como también sucede en el Newton-Raphson completo.
7. Todos los comentarios de Newton-Raphson completo respecto a las barras PV y de referencia, son aplicables aquí.



8. Para que se alcance convergencia, la misma debe producirse tanto entre $P\theta$, como entre QV , en una misma iteración.

4.2.4.5 Método de Newton-Raphson desacoplado con jacobianos Constantes.

Existen varios hitos en el método de newton-Raphson desacoplado, que hicieron que durante largos años muchísimos investigadores trataran de mejorar su baja confiabilidad de convergencia, asimilando al Newton-Raphson completo. Entre estos hitos destacan:

1. La drástica reducción en memoria computacional.
2. La posibilidad de emplear el poderoso esquema de desplazamientos sucesivos.
3. La "ilusión" de reducir los tiempos totales de procesamiento, dado menos cálculos algébricos que ejecutar.
4. La facilidad intrínseca en la programación digital.

Sin embargo, no fue hasta el año 1974, cuando los investigadores Stott y Alsac, trabajando en Inglaterra, lograron producir el algoritmo desacoplado que realmente supera las virtudes de Newton-Raphson completo.

Con la premisa de que la alta no-linealidad de las inyecciones de potencia activa y reactiva, era la causante de la pobre confiabilidad exhibida por el Newton-Raphson desacoplado expuesto, estos dos investigadores se propusieron de manera empírica el simplificar dichas ecuaciones, para finalmente arribar al método que se describe a continuación, y que ellos decidieron identificar como flujo de carga desacoplado rápido ("Fast decoupled load flow").

4.2.4.5.1 Características del Método.

1. Se basa en el principio de desacople.



2. Carece de fundamento matemático y por ende es empírico.
3. Permite el uso de esquemas de desplazamiento sucesivo.
4. Aun cuando el método trabaje con $\Delta P'$ y $\Delta Q'$, la convergencia deberá verificarse con ΔP y ΔQ .
5. Sus sub-jacobianos son independientes de X , y por ende se calculan y factorizan una sola vez, antes de entrar en el proceso iterativo. Este hecho es clave.
6. Naturalmente cada sub-jacobiano es tan disperso como lo es la matriz Y , por lo que se requieren formas compactas de almacenamiento.
7. La cuasingularidad de ambos sub-jacobianos B' y B'' viene reflejada desde la matriz Y , por lo cual se requiere al menos un nodo de referencia.
8. Los nodos PV y el nodo de referencia implican reducciones en la filas y columnas de B' y B'' en forma idéntica al Newton-Raphson completo.
9. En la práctica el método ha sido probado con infinidad de sistemas en todo el mundo, mostrando excelentes características de convergencia, par redes aéreas de alta tensión donde la reactancia X_{ik} tiende a ser mucho mayor que la reactancia serie R_{ik} . Esto limita enormemente el uso de este método en redes de media y baja tensión.

4.2.5 Herramientas Computacionales para el Estudio de Flujo de Carga.

Modernamente, el flujo de carga se reduce a un programa digital escrito en un lenguaje de alto nivel, como podrá ser: Basic, Fortran, Pascal, etc. Han quedado atrás los días donde los cálculos con ecuaciones del algebra compleja y la inversión de matrices, representaban dificultades desproporcionadas, que aún para sistemas de



moderadas dimensiones, implicaban laboriosas tareas para equipos de matemáticos y analistas, constituidos por varias personas.

Hoy en día han surgido otras herramientas útiles tanto para la industria como para los estudiantes para el estudio de flujo de potencia, estas herramientas son conocidas como simuladores; esta herramienta computacional, muestra de una manera aproximada el comportamiento de un sistema eléctrico, introduciendo con anterioridad una serie de datos.

Una de estas herramientas más sonadas hoy en día es ETAP PowerStation. El ETAP PowerStation es un programa computacional completamente gráfico utilizado para analizar transitorios eléctricos en sistemas de potencia. Para su ejecución se requiere de cualquiera de las siguientes plataformas operativas: Windows 95, 98, 2000 o NT, siendo esta última la más recomendada cuando se simulan sistemas de gran tamaño.

Los datos de los elementos pueden manipularse en cualquier manejador de bases de datos que cumpla con el estándar Microsoft ODBC. La estructura de archivos de ETAP PowerStation está constituida por dos tipos de archivo: uno correspondiente a una base de datos que incluye las tablas de datos de todos los elementos y otro que almacena los datos de información del usuario y de control del proyecto. Posee además archivos de librerías que almacenan datos de cables, motores, protecciones, entre otros.

Los tipos de análisis permitidos por este programa son:

- Cortocircuito.
- Flujos de carga balanceado y desbalanceado.
- Arranque de motores Análisis armónico.



- Estabilidad transitoria.
- Flujo de potencia óptimo.
- Flujo de carga DC Sistemas subterráneos.
- Compensación de reactivos.

La operación del programa se basa en dos modos: un modo de edición donde se construye el diagrama unifilar y se ingresan las propiedades de los elementos y un modo de estudio donde se dispone de todos los tipos de análisis permitidos por el programa.

4.3 Metodología Utilizada.

Dada la necesidad de la empresa de conocer el comportamiento del sistema eléctrico de potencia del área El Jobal y detectar anomalías antes distintas condiciones de operación, se realizó un estudio de flujo de carga.

Para el estudio de flujo de carga, se tomaran como patrón los límites de tolerancia en cuanto a niveles de tensión de acuerdo a la Norma ANSI C84.1-1995 (ver figura 1 en el anexo 3), la cual establece un límite de $\pm 5\%$ de la tensión establecida en condiciones normales de operación, y en condición de contingencia tendrá un rango permisible de $\pm 10\%$. (Ver tabla 4.1)

Esta parte del trabajo se realizó con la ayuda de la herramienta computacional ETAP 5.03 utilizando el módulo "load flow analysis". Esta herramienta permite realizar la corrida de flujo de carga por medio de tres métodos numéricos. El método que se utilizó fue el de Newton-Raphson.



A continuación se simularan una serie de escenarios que nos van a permitir observar el flujo de carga en condiciones normales y actuales del sistema eléctrico de potencia del Jobal, estos escenarios se ilustran en la **tabla 4.2**.

Tabla 4.1 Valores Según Normas ANSI C84.1-1995.

Tensión Nominal de la Barra (Voltios)	Condiciones Nominales		Condición de Contingencia	
	Limite Superior	Límite Inferior	Limite Superior	Límite Inferior
13800	14490/105%	13460/97.5%	14520/105.8%	13110/95%
480	504/105%	456/95%	508/105.8%	440/91.7%

Tabla 4.2 Escenarios Para el Estudio de Flujo de Carga.

Escenario	Denominación	Descripción	Niveles de Tensión
Escenario #1	Normal	El sistema opera en su condición normal, bajo su demanda total.	Entrada 115 kV Salida 14.5 kV
Escenario #2	Situación actual del sistema	El sistema opera con niveles de tensión por debajo del ideal.	Entrada 113 kV Salida 14.5 kV
Escenario #3	Situación actual del sistema	El sistema opera con niveles de tensión por encima de lo ideal.	Entrada 119 kV Salida 14.5 kV

4.3.1 Resultados.

A continuación se presentaran los resultados arrojados por el estudio de flujo de carga en el sistema eléctrico de potencia del área de producción El Jobal para los distintos escenarios que se plantearon anteriormente. Lo más notorio durante la corrida de estos tres escenarios fue que los transformadores de la subestación el Jobal



y 078UB04 respectivamente están sobredimensionados con respecto a su capacidad, pero pudiendo soportar esa sobrecarga gracias al sistema de ventilación forzada. (Ver figura 2 y 3 del anexo 3)

4.3.1.1 Escenario#1 El Sistema Opera en Condiciones Nominales a Nivel de Tensión.

Este escenario se caracterizo por analizar la carga existente en cada una de las subestaciones que conforman el sistema eléctrico del Jobal, las cuales son alimentadas por un transformador de 10 MVA perteneciente a la subestación El Jobal.

En las figuras 4,5,6 del anexo 3 se representan cada una de las subestaciones del sistema eléctrico del Jobal con la simulación de flujo de carga en condiciones normales, en los resultados obtenidos se puede observar que bajo estas condiciones el sistema opera de manera satisfactoria, manteniendo los niveles de tensión dentro de los límites establecidos por la norma ANSI C84.1-1995, siendo su valor más bajo 97.71% en la barra M1 de 480 voltios en la cargadora de gabarras.(ver tablas 4.3,4.4,4.5).

Tabla 4.3 Resultados del Flujo de Carga en S/E 07UB02.

	Barras	Voltaje	Voltaje	P	Q
		KV	%	Entregado (MW)	Entregado (MVAR)
S/E 07UB02	Barra BA_1	14.052	101.82	Tx10BFT03=	Tx10BFT03=
	BarraBA_1*			0.413	0.196
	Barra B2	0.482	100.42	Tx10BFT04=	Tx10BFT04=
	Barra B3	0.482	100.42	0.938	0.537
	Barra B4	0.475	98.99	0.413	0.196
				0.525	0.341



Tabla 4.4 Resultados del Flujo de Carga en S/E 07UB01-07UB03-07UB04.

S/E	Barras	Voltaje	Voltaje	P	Q
		KV	%	Entregado (kW)	Entregado (KVAR)
07UB01	Barra NA_1	13.97	101.21	Tx10BFT01= 2.442	Tx10BFT01= 1.667
	Barra NA_1*			Tx10BFT02= 1.118	Tx10BFT02= 0.78
	Barra N1	0.469	97.66	0.310	0.245
	Barra N2	0.487	101.37	0.849	0.592
	Barra N3	0.487	101.37	0.849	0.592
	Barra N4	0.484	100.92	0.269	0.188
S/E 07UB03	Barra N5	0.484	100.92	0.640	0.431
S/E 07UB04	Barra N6	0.487	101.37	0.643	0.399

Tabla 4.5 Resultados de IFlujo de Carga en S/E 08UB01-08UB03-BL-8.05.

S/E	Barras	Voltaje	Voltaje	P	Q
		KV	%	Entregado (kW)	Entregado (KVAR)
08UB01	Barra MU_1	13.94	101.21	Tx12BFT02= 0.617	Tx12BFT02= 0.356
	Barra MU_1*			Tx12BFT01= 0.682	Tx12BFT01= 0.420
	Barra M3	0.48	99.92	0.324	0.200
	Barra M4	0.48	99.92	0.324	0.200
S/E 08UB03	Barra M2	0.49	101.98	0.293	0.156
BL-8.05	Barra M1	0.468	97.57	0.358	0.220



4.3.1.2 Escenario#2 El Sistema Opera con un Nivel de Tensión por Debajo de lo Ideal.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar cómo se comporta el sistema eléctrico del Jobal cuando existe una variación de tensión a nivel de 115 KV del sistema de transmisión sur, dicha variación reduce el nivel de voltaje a 113 KV.

En las **figuras 7, 8, 9 del anexo 3** se representan las 6 (seis) subestaciones del sistema eléctrico del Jobal operando bajo estas condiciones y se pudo observar que aunque los niveles de tensión disminuyeron, el sistema puede operar con dichos niveles, siendo las barras N1 y M1 pertenecientes a las subestaciones 07UB01 y cargadora de gabarras respectivamente las que presentan los niveles de tensión más bajos, los cuales son muy cercanos al límite inferior de lo aceptado por la norma ANSI C84.1-1995 (**ver tablas 4.6,4.7,4.8**) pero aun dentro del rango de aceptado por la norma, en este caso se debe estar alerta ante unas posible sobrecarga en los transformador que alimentan estas barras.

Tabla 4.6 Resultados del Flujo de Carga en S/E 07UB02.

S/E	Barras	Voltaje KV	Voltaje %	P	Q
				Entregado (MW)	Entregado (MVAR)
07UB02	Barra BA_1	13.911	100.8	Tx10BFT03= 0.413	Tx10BFT03= 0.196
	Barra BA_1*			Tx10BFT04= 0.938	Tx10BFT04= 0.538
	Barra B2	0.477	99.39	0.413	0.196
	Barra B3	0.477	99.39	0.413	0.196
	Barra B4	0.47	97.94	0.525	0.342



Tabla 4.7 Resultados del Flujo de Carga en S/E 07UB01-07UB03-07UB04.

	Barras	Voltaje KV	Voltaje %	P Entregado (kW)	Q Entregado (KVAR)
S/E 07UB01	Barra NA_1*	13.826	100.19	Tx10BFT01= 2.436	Tx10BFT01= 1.603
	Barra NA_1			Tx10BFT02= 1.118	Tx10BFT02= 0.78
	Barra N1	0.464	96.67	0.304	0.240
	Barra N2	0.481	100.3	0.849	0.592
	Barra N3	0.481	100.3	0.849	0.592
	Barra N4	0.479	99.84	0.269	0.188
S/E 07UB03	Barra N5	0.479	99.81	0.640	0.431
S/E 07UB04	Barra N6	0.481	100.29	0.643	0.340

Tabla 4.8 Resultados del Flujo de Carga en S/E 08UB01-08UB03-BL-8.05.

	Barras	Voltaje KV	Voltaje %	P Entregado (kW)	Q Entregado (KVAR)
S/E 08UB01	Barra MU_1	13.798	99.99	Tx12BFT02= 0.617	Tx12BFT02= 0.356
	Barra MU_1*			Tx12BFT01= 0.682	Tx12BFT01= 0.420
	Barra M3	0.475	98.88	0.324	0.200
	Barra M4	0.475	98.88	0.324	0.200
S/E 08UB03	Barra M2	0.484	100.91	0.293	0.156
BL-8.05	Barra M1	0.463	96.5	0.358	0.220



4.3.1.3 Escenario#3 El Sistema Opera con un Nivel de Tensión por Encima de lo Ideal.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar el comportamiento del sistema eléctrico del Jobal cuando existe una variación de tensión a nivel de 115 KV del sistema de transmisión sur y dicha variación eleva el nivel de voltaje a 119 KV.

En las **figuras 10, 11, 12 del anexo 3** se representan las 6 (seis) subestaciones del sistema eléctrico del Jobal operando bajo estas condiciones y se logró constatar que aunque los niveles de tensión se elevaron, estos no sobrepasaron los rangos establecidos por la norma ANSI C84.1-1995, permitiendo que el sistema eléctrico puede seguir operando con dichos niveles, las barras N1 y M1 pertenecientes a las subestaciones 07UB01 y cargadora de gabarras respectivamente siguen siendo las que presentan los niveles de tensión más bajos del sistema pero los cuales siguen dentro de los rangos aceptados por la norma (**ver tablas 4.9,4.10,4.11**).

Tabla 4.9 Resultados del Flujo de Carga en S/E 07UB02.

	Barras	Voltaje	Voltaje	P	Q
		KV	%	Entregado (MW)	Entregado (MVAR)
S/E 07UB02	Barra BA_1	14.033	101.69	Tx10BFT03= 0.413	Tx10BFT03= 0.196
	Barra BA_1*			Tx10BFT04= 0.934	Tx10BFT04= 0.537
	Barra B2	0.481	100.28	0.413	0.196
	Barra B3	0.481	100.28	0.413	0.196
	Barra B4	0.474	98.85	0.521	0.341



Tabla 4.10 Resultados del Flujo de Carga en S/E 07UB01-07UB03-07UB04.

S/E	Barras	Voltaje	Voltaje	P	Q
		KV	%	Entregado (kW)	Entregado (KVAR)
07UB01	Barra NA_1*	13.984	101.07	Tx10BFT01=	Tx10BFT01=
	Barra NA_1			2.436	1.603
	Barra N1	0.468	97.53	Tx10BFT02=	Tx10BFT02=
	Barra N2	0.486	101.23	1.118	0.78
	Barra N3	0.486	101.23	0.304	0.240
	Barra N4	0.484	100.77	0.849	0.592
S/E 07UB03	Barra N5	0.484	100.74	0.849	0.592
S/E 07UB04	Barra N6	0.486	101.22	0.269	0.188
				0.640	0.431
				0.643	0.340

Tabla 4.11 Resultados del Flujo de Carga en S/E 08UB01-08UB03-BL-8.05.

S/E	Barras	Voltaje	Voltaje	P	Q
		KV	%	Entregado (kW)	Entregado (KVAR)
08UB01	Barra MU_1	13.92	100.87	Tx12BFT02=	Tx12BFT02=
	Barra MU_1*			0.617	0.356
	Barra M3	0.479	99.78	Tx12BFT01=	Tx12BFT01=
	Barra M4	0.479	99.78	0.682	0.420
S/E 08UB03	Barra M2	0.485	101.83	0.324	0.200
BL-8.05	Barra M1	0.468	97.42	0.324	0.200
				0.293	0.156
				0.358	0.220



CAPITULO V

ESTUDIO DE COMPENSACION DE REACTIVOS

5.1 Introduccion.

En la actualidad los costos de operación de las industrias se incrementan continuamente. La energía, un recurso fundamental para el progreso y la expansión industrial y esta no escapa a la tendencia del incremento de su costo. Esta situación ha llevado a la industria eléctrica a definir políticas que conlleven a un uso más racional y eficiente de la energía eléctrica.

Una de las medidas al alcance del industria para conocer el grado de eficiencia con el cual está utilizando dicha energía es el llamado factor de potencia, el cual ha sido tomado muy en cuenta dentro de los programas tendientes a la mejor utilización de la electricidad.

En este capitulo se explicara como mejorar el factor de potencia del area el jobal con la compensacion de reactivos, este estudio se realizo con la ayuda de la herramienta computacional etap 5.03 asi como los respectivos calculos teoricos que dicho estudio amerita para posteriormente comparar los resultados.

5.2Conceptos Generales.

5.2.1 Factor de Potencia.

Se define como el cociente de la relación de la potencia activa entre la potencia aparente. (Ver ecuación 5.1)

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

(Ec. 5.1)



Comúnmente, el factor de potencia es un término utilizado para describir la cantidad de energía eléctrica que se ha convertido en trabajo, El valor ideal del factor de potencia es 1, esto indica que toda la energía consumida por los aparatos ha sido transformada en trabajo; por el contrario, un factor de potencia menor a la unidad significa un mayor consumo de energía necesaria para producir un trabajo útil. Es aconsejable que en una instalación eléctrica el factor de potencia sea alto y algunas empresas de servicio electroenergético exigen valores de 0,8 y más.

Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo a causa de la presencia principalmente de equipos de refrigeración, motores, etc.

Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de potencia activa (KW) se sume el de una potencia llamada reactiva (KVAR), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de dichos equipos y motores. Esta potencia reactiva ha sido tradicionalmente suministrada por las empresas de electricidad, aunque puede ser suministrada por las propias industrias.

Al ser suministradas por las empresas de electricidad deberá ser producida y transportada por las redes, ocasionando necesidades de inversión en capacidades mayores de los equipos y redes de transmisión y distribución.

5.2.2 Tipos de Potencia.

Existen distintos tipos de potencias, las cuales son: **(ver figura 5.1)**

5.2.2.1 La Potencia Efectiva o Real.

Es la que en el proceso de transformación de la energía eléctrica se aprovecha como trabajo, su unidad es WATT y su símbolo es la letra P.



5.2.2.2 La Potencia Reactiva.

Es la encargada de generar el campo magnético que requieren para su funcionamiento los equipos inductivos como los motores y transformadores su unidad es VAR y su símbolo es la letra Q.

5.2.2.3 La Potencia Aparente.

Es la suma geométrica de las potencias efectiva y reactiva. (Ver ecuacion5.2)

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

(Ec. 5.2)

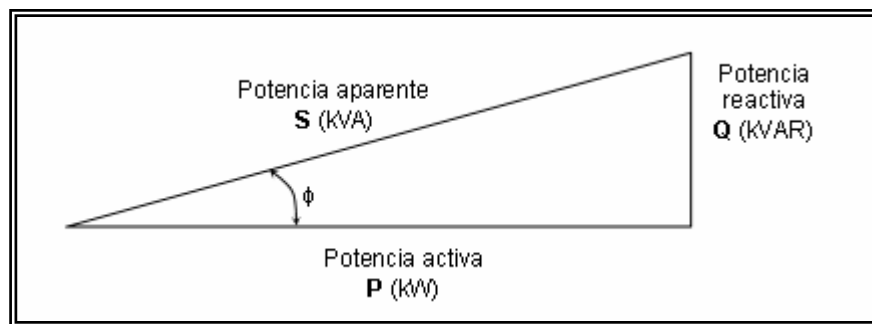


Figura 5.1 triángulo de Potencias eléctricas

5.2.3 Causas de un Bajo Factor de Potencia.

La potencia reactiva, la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable los requerimientos de potencia reactiva también se hacen significativos, lo cual produce una disminución exagerada del factor de potencia. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de:

- Un gran número de motores



- Presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado
- Una sub-utilización de la capacidad instalada en equipos electromecánicos, por una mala planificación y operación en el sistema eléctrico de la industria.
- Un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

5.2.4 Problemas Técnico-Económicos Generados por Tener un Bajo Factor de Potencia.

- Mayor consumo de corriente.
- Aumento de las pérdidas en conductores.
- Sobrecarga de transformadores, generadores y líneas de distribución.
- Incremento de las caídas de voltaje.
- Incremento de la facturación eléctrica por mayor consumo de corriente.
- Penalización de hasta un 120 % del costo de la facturación.

5.2.5 Beneficios Técnico-Económicos Generados por Mejorar el Factor de Potencia.

- Disminución de las pérdidas en conductores.
- Reducción de las caídas de tensión.
- Aumento de la disponibilidad de potencia de transformadores, líneas y generadores.
- Incremento de la vida útil de las instalaciones.
- Reducción de los costos por facturación eléctrica.



- Eliminación del cargo por bajo factor de potencia.
- Bonificación de hasta un 2.5 % de la facturación cuando se tenga factor de potencia mayor a 0.9.

5.2.6 Compensación de Reactivos.

La compensación de potencia reactiva es usada en la industria para mantener un voltaje a un valor aproximadamente constante, para incrementar la transmisión de potencia activa y mejorar el factor de potencia de una planta.

5.2.7 Métodos de Compensación de Energía Reactiva.

Los sistemas a utilizar para la compensación del factor de potencia podrán ser alguno de los siguientes:

- Condensadores fijos: instalados por cada receptor o grupo de receptores que funcionen por medio de un solo interruptor, es decir, que funcionen simultáneamente.
- Batería de condensadores, con regulación automática, para la totalidad de la instalación. En este caso la instalación de compensación ha de estar dispuesta para que, de forma automática, asegure que la variación del factor de potencia no sea mayor de un +/- 10% del valor medio obtenido en un prolongado período de funcionamiento.
- Cuando existan necesidades de potencias mecánicas, de mediana o gran importancia, para mover servicios industriales de base, por ejemplo refrigeración; aire comprimido; etc., que deban operar durante la mayoría de las horas de demanda importante del usuario, se podrán utilizar además, motores sincrónicos con el fin de poder obtener una buena regulación en la compensación de energía reactiva.



5.2.8 Formas de Compensación de energía reactiva.

Existen distintas formas de compensar energía reactiva en un sistema de potencia o red eléctrica, estas se explicaran a continuación.

5.2.8.1 Compensación Individual.

La compensación individual se refiere a que cada consumidor de potencia inductiva se le asigna un capacitor que suministre potencia reactiva para su compensación. La compensación individual es empleada principalmente en equipos que tienen una operación continua y cuyo consumo inductivo es representativo. **(Ver figura 5.2)**

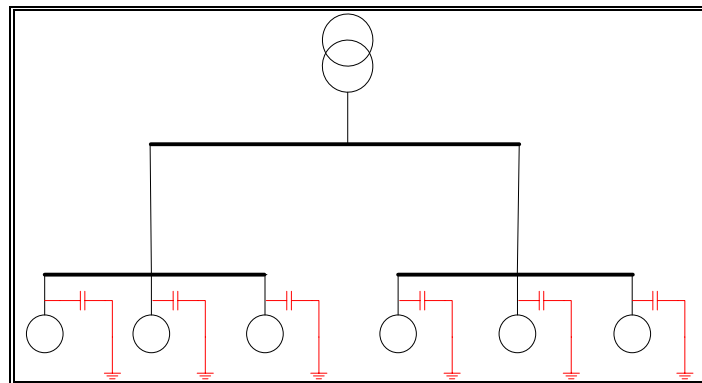


Figura 5.2 Compensación Individual.

5.2.8.1.1 Ventajas de la Compensación Individual.

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva
- Optimiza toda la instalación eléctrica. La corriente reactiva I_r se abastece en el mismo lugar de su consumo.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).



5.2.8.1.2 Observaciones de la Compensación Individual.

- La corriente reactiva está presente en los cables de la instalación.
- las pérdidas por efecto Joule en los cables se suprimen totalmente.

5.2.8.2 Compensación en grupo.

Consiste en la instalación de un grupo de condensadores en cada sección de la instalación eléctrica. En caso de tener una instalación eléctrica dividida en secciones, se compensara cada sección por separado. (Ver figura 5.3)

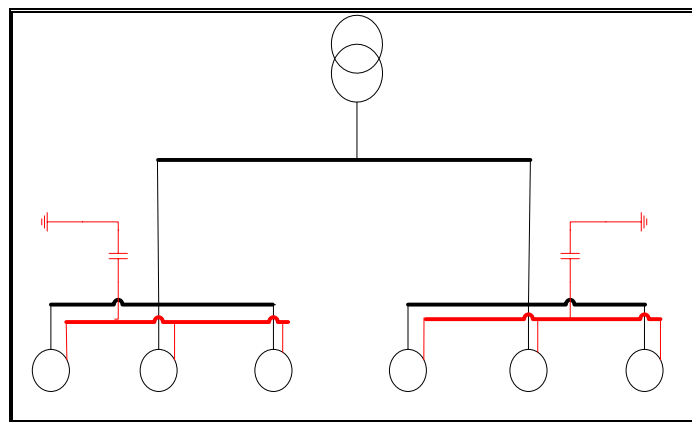


Figura 5.3 Compensación Grupal.

5.2.8.2.1 Ventajas de la Compensación en Grupo.

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva
- Optimiza una parte de la instalación eléctrica, La corriente reactiva I_r no se transporta entre los niveles 1 y 2.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).



5.2.8.2.2 Observaciones de la Compensación en Grupo.

- La corriente reactiva (I_r) está presente en las instalación desde el nivel 2 hasta los receptores.
- las pérdidas por efecto Joule en los cables se disminuyen.

5.2.8.3 Compensación central.

Este tipo de compensación ofrece una solución generalizada para corregir el factor de potencia ya que la potencia total del banco de capacitores se instala en la acometida, cerca de los tableros de distribución de energía, los cuales, suministran la potencia reactiva demandada por diversos equipos con diferentes potencias y tiempos de operación. (Ver figura 5.4)

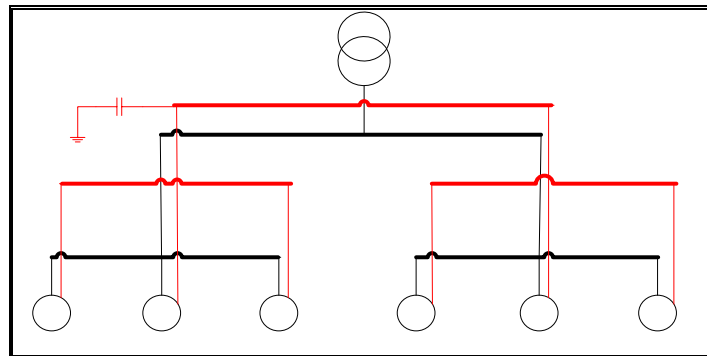


Figura 5.4 Compensación Central.

5.2.8.3.1 Ventajas de la Compensación Central.

- Suprime las penalizaciones por un consumo excesivo de energía reactiva
- Ajusta la potencia aparente (S en KVA) a la necesidad real de la instalación.
- Descarga el centro de transformación (potencia disponible en kW).



5.2.8.3.2 Observaciones de la Compensación Central.

- La corriente reactiva (I_r) está presente en las instalación desde el nivel 1 hasta los receptores.
- las perdidas por efecto Joule en los cables no quedan disminuyen.

5.2.8.4 Compensación Mixta.

La compensación mixta o combinada de potencia reactiva, se refiere a la combinación de dos o más métodos para corregir el factor de potencia.

5.2.8.5 Requerimientos Para la Compensación de Energía Reactiva Mediante el uso de Condensadores.

Cuando se instalen condensadores, en todos los casos, se deberán respetar las siguientes disposiciones generales:

1. Todo condensador que se instale para corregir el factor de potencia deberá cumplir con las normas IEC 831, IEC 871 o IEC 931, según sea la tensión del servicio a los que se le aplique el condensador, o el tipo de éste último.
2. La ubicación de condensadores deberá reunir las siguientes condiciones:
 - 2.1 El lugar será seco, bien ventilado y con una temperatura ambiente máxima de 40 °C y alejado de zona de inflamables.
 - 2.2 El condensador estará libre de efectos de conducción y/o radiación directa de calor de instalaciones o aparatos vecinos.
3. Cuando la caja exterior de los condensadores sea metálica, deberá ser adecuadamente puesta a tierra.



4. Cerca de todo condensador o batería de condensadores, según los casos, se colocará en lugar bien visible una leyenda indeleble indicando que antes de tocar un condensador desconectado hay que cortocircuitar y poner a tierra sus terminales.
5. Todo condensador estará equipado con resistencias de descarga permanente conectadas que absorban la carga acumulada, de tal modo que, después de menos a 75 V en 3 minutos, para condensadores de hasta 660 V, y en menos de 10 minutos, para los condensadores de más de 660 V.
6. Todo el equipo que se utilice con un condensador, es decir conductores, barras, interruptores, fusibles, etc., estará dimensionado para admitir permanentemente, sin sobrecalentamiento, una corriente de magnitud por lo menos igual a 1,35 veces la corriente nominal del condensador.

5.3 Metodología del Cálculo.

Dada la problemática que presenta actualmente el sistema eléctrico de potencia del Jobal debido al bajo factor de potencia que esta área posee a causa del excesivo consumo de energía reactiva que generan los motores y equipos que allí operan, surge la necesidad de realizar un estudio de compensación de reactivos para mejorar el factor de potencia.

Los cálculos necesarios para realizar este estudio, se efectuaron de manera teórica y con la ayuda de la herramienta computacional ETAP 5.03. Para calcular de manera teórica la potencia reactiva necesaria que el sistema eléctrico del Jobal, se utilizaron las facturas con las lecturas de los contadores electrónicos entregadas por la compañía de suministro eléctrico elecentro en las cuales se indican el consumo de potencia activa, reactiva, aparente y la variación del factor de potencia de dicho sistema durante el semestre que va desde el mes de julio hasta diciembre que es



cuando dicha área se encuentra en proceso de producción trabajando las 24 horas del día, los 7 días de la semana.

Posteriormente con la ayuda de la herramienta computacional ETAP 5.03, utilizando el modulo OCP “Optimal Capacitor Placement” se procedió a determinar el valor, la cantidad y ubicación optima de los bancos de capacitores necesarios para compensar el sistema eléctrico El Jobal en los niveles de tensión de 13.8 kV y 480 voltios según el criterio de este simulador.

5.3.1 Cálculos.

Para calcular la potencia reactiva necesaria para mejorar el factor de potencia así como compensar los reactivos consumidos por las maquinas y equipos conectados al sistema eléctrico de potencia del área El Jobal, como se dijo anteriormente se utilizaron las facturas con las lecturas de los contadores electrónicos enviadas por la compañía de suministro eléctrico (**ver tabla 5.1**).

Tabla 5.1 Lectura de Contadores Electrónicos en el Último Semestre del Año 2008.

PROMEDIO DE CONSUMO DE EL JOBAL							
El Jobal	KWH	KVARH	KVAH	KW	KVAR	KVA	FP
Julio	692.508,8	426.545,3	813.332,3	2.057	1.047	2.308	0,89
Agosto	275.999,9	165.599,9	321.868,4	1.957	1.127	2.258	0,87
Septiembre	652.363,4	421.527,1	776.700,1	1.756	1.254	2.158	0,81
Octubre	501.818,0	481.745,3	695.629,1	1.054	1.405	1.756	0,60
Noviembre	446.618,0	536.945,3	698.411,0	1.054	1.405	1.756	0,60
Diciembre	461.672,6	557.018,0	723.471,2	1.104	1.366	1.756	0,63
TOTAL	3.030.980,72	2.589.380,88	3.986.444,21	8.983	7.674	11.814	0,76

Con estas lecturas de los contadores electrónicos se procedió a determinar el valor de la potencia reactiva Q_c que necesita el sistema eléctrico del Jobal para ser compensado, para esto se utilizo la **ecuación 5.3** la cual dice que los KVAR necesarios para compensar un sistema es el resultado de la diferencia entre las



potencias reactivas Q actual y Q corregida. Donde la potencia Q actual se calcula con el factor de potencia más bajo censado durante el semestre y la potencia Q corregida se calcula con el factor de potencia deseado (**ver ecuación 5.4**).

$$\Delta Q = Q_{\text{actual}} - Q_{\text{corregido}} \quad (\text{Ec. 5.3})$$

$$Q_c = \frac{\text{KWH}_{\text{MAX}}}{T * \text{PF}} \text{sen}(\arccos(\text{PF})) \quad (\text{Ec. 5.4})$$

Donde:

KWH_{MAX} : Kilowatios máximos entre los 6 meses.

PF: Factor de Potencia.

T: tiempo de operación promedio en un mes (730 horas).

$$Q_{\text{actual}} = \frac{692.508,8\text{KWH}}{730\text{H} * 0,60} \text{sen}(\arccos(0,60)) = 1264,86\text{KVAR}$$

$$Q_{\text{corregido}} = \frac{692.508,8\text{KWH}}{730\text{H} * 0,95} \text{sen}(\arccos(0,95)) = 311,80\text{KVAR}$$

$$\Delta Q_c = 1264,86 - 311,80 = 953,05\text{KVAR}$$

Normalizando hasta el valor del banco de capacitores más cercanos tenemos que el valor del banco de condensadores será:

$$\Delta Q_c = 1000 \text{ KVAR}$$



5.4 Resultados.

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los cálculos teóricos de la compensación de reactivos así como los arrojados por la simulación; a demás de indicar el lugar recomendado por el simulador para la ubicación optima de dichos bancos en el sistema de distribución El Jobal. **(Ver tabla 5.2 y figura 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 del anexo 4)**

5.5 Ubicación Óptima de los Bancos.

La ubicación optima de los bancos de capacitores se recomendara de dos formas, la primera que es a petición de la empresa, la cual recomienda colocar el banco de capacitor de 1000 KVAR al inicio del sistema de distribución del Jobal en el poste que se encuentra al lado de caseta de vigilancia, ya que es un lugar de fácil acceso al momento de revisar o realizar algún mantenimiento a dicho banco y esta ubicación garantiza mejorar el factor de potencia al inicio de dicho sistema eléctrico.

La segunda recomendación para la ubicación de los bancos de capacitores viene dada por compensación realizada por el software ETAP 5.03, dicho programa realiza una compensación en los puntos que este considera más alto el consumo de reactivos. El software recomendando colocar bancos de capacitores de distintas capacidades en las barras M1, M4, N1, N3, N4 y la barra que se encuentra en la salida del transformador que nivela la tensión en la volcadora de vagones.



Tabla 5.2 Resultados de los Cálculos de Compensación de Reactivos en el Sistema Eléctrico de El Jobal.

CALCULO TEORICO			
Resultado	KVAR	Tamaño del Banco	Ubicación
Real	953.05	1000 KVAR	Al inicio del sistema de distribución El Jobal.
Normalizado	1000		
CALCULO ETAP 5.03			
Resultado	KVAR	Tamaño del Banco	Ubicación
Real	328.78	3X100 KVAR	Barra M1 perteneciente a la cargadora de gabarras BL-8.05 en el muelle del Jobal a nivel de 480 voltios.
Normalizado	300		
Real	111.76	1X100 KVAR	Barra M4 perteneciente a la S/E 08UB03 ubicada en el muelle del Jobal a nivel de 480 voltios.
Normalizado	100		
Real	114.96	1X100 KVAR	Barra N1 perteneciente a la S/E 07UB01 ubicada en el apilador ST-7.07 a nivel de 480 voltios.
Normalizado	100		
Real	324.09	3X100 KVAR	Barra N3 perteneciente a la S/E 07UB01 esta alimenta los motores de la cinta transportadora 7.05-7.12-7.15-7.18.
Normalizado	300		
Real	325.19	3X100 KVAR	Barra N4 perteneciente a la S/E 07UB01 ubicada en el apilador ST-7.09 a nivel de 480 voltios.
Normalizado	300		
Real	104.48	1X100 KVAR	Bus Tx regulador perteneciente a la S/E 07UB04 ubicada en la volcadora de vagones a nivel de 480 voltios.
Normalizado	100		



5.6 Comparación de Resultados.

Los resultados arrojados por este estudio dejan ver que la compensación de reactivos del sistema eléctrico del Jobal bien sea por los cálculos realizados teóricamente o por indicación del simulador, el valor de los KVAR requeridos es muy similar en ambos casos, dando por entendido que ese es el valor necesario que dicho sistema necesita para ser compensado. Queda de parte de la empresa realizar un estudio técnico-económico para determinar qué tipo de compensación utilizar. Ya que la compensación central o global al inicio del sistema solo se mejorará el factor de potencia evitando de esta manera la penalización por parte de la industria eléctrica pero aun se mantendrán circulando los reactivos por toda el circuito afectando la calidad de energía. En caso contrario realizando una compensación como la recomendada por el software ETAP 5.03 a nivel de 480 V se garantizará la corrección del factor de potencia así como la disminución de los reactivos en dicho sistema mejorando así la calidad de la energía consumida por este. También se demuestra una vez más la eficiencia y confiabilidad del software en la emulación de sistemas eléctricos de potencia.



CAPITULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones.

1. El sistema eléctrico de potencia del Jobal presenta una serie de anomalías en el servicio, por lo que se requiere realizar una inspección más detallada de todos sus componentes.
2. El sistema eléctrico del Jobal se encuentra en una situación crítica, ya que de fallar el transformador activo de la subestación El Jobal, este circuito se quedara fuera de servicio en su totalidad.
3. Se determinaron los niveles de cortocircuito, con el fin de que la empresa coordine nuevamente las protecciones de dicho sistema.
4. Los niveles de cortocircuitos de las barras de 13,8 kV del sistema están muy cercanos a al nivel de falla que tiene la acometida de la empresa de suministro CORPOELEC.
5. El estudio de flujo de carga nos deja ver que en todos los escenarios simulados las barras N1 y M1 son las más afectadas ya que presentan mayor caída de tensión casi al punto de llegar a límite establecido por la norma ANSI C84.1-1995.
6. Con el estudio de flujo de carga se pudo observar que los transformadores pertenecientes a las subestaciones El Jobal y 07UB04 respectivamente, están sobredimensionados en relación a la capacidad instalada.
7. La compensación de reactivos con banco centralizado mejorara el factor de potencia del sistema eléctrico del Jobal mas no reducirá consumo de reactivos por el mismo.



8. La compensación de reactivos parcializada a nivel de 480 voltios que recomienda el software ETAP 5.03 es la que mayores beneficios aportara al sistema eléctrico del Jobal ya que esta mejorara el factor de potencia y compensara los reactivos consumidos por el circuito, mejorando así la calidad de la energía consumida por este.
9. El software ETAP es una herramienta de gran utilidad para las empresas que poseen sistemas eléctricos amplios, ya que les permitirá conocer el comportamiento de este ante cualquier eventualidad y las medidas que se pueden tomar para mejorarlo.

6.2 Recomendaciones.

1. Se recomienda realizar mediciones de resistividad del suelo en las áreas donde se encuentran ubicadas las subestaciones, para verificar el sistema de aterramiento.
2. Reemplazar en la subestación El Jobal el transformador de potencia de 10 MVA que se encuentra dañado, para hacer más confiable la continuidad del servicio eléctrico.
3. Realizar nuevamente la coordinación y ajuste de protecciones de acuerdo a los niveles de cortocircuito determinados en este proyecto.
4. Realizar una inspección detallada a las Barras M1 y N1 para determinar porque son las que presenta mayor caída de tensión.
5. Se recomienda a la empresa realizar un estudio técnico-económico para determinar cuál es el tipo de compensación más factible para de dicho sistema.
6. Se recomienda a la empresa obtener la licencia del software ETAP en su versión más actualizada y realizar la simulación de sus sistema eléctrico completo pero de manera más detallada.



BIBLIOGRAFIA

- [1] A. Salazar, “**Evaluación y Rediseño del Sistema Eléctrico de Bauxiven**”. Tesis de grado, Departamento de electricidad, Universidad de Oriente, Venezuela. (Julio de 1994)
- [2] R. Lira, “**Estudio de las Perturbaciones de Voltaje en el Sistema de Alimentación de 4160 Voltios por los Motores de Inducción Ubicados en el Área de Trituración de las Minas de CVG Bauxilum en los Pijiguaos Estado Bolívar**”. Tesis de grado, Departamento de electricidad, Universidad de Oriente, Venezuela. (Noviembre de 2007)
- [3] L. Gómez, “**Estudio del Sistema Eléctrico de Potencia, Mediante Métodos Normalizados y uso de Herramientas Computacionales, en el Área de Trituración de CVG Bauxilum**”. Tesis de grado, Departamento de electricidad, UNEXPO, Venezuela. (Diciembre de 2007)
- [4] M. Rodríguez, “**Análisis de Sistemas de Potencia**”, editorial EDILUZ. (Octubre de 1992)
- [5] J. Bermúdez, “**Análisis de Flujo de Carga en Sistemas Eléctricos de Potencia**”. (VERSION B) Publicado en la Universidad Simón Bolívar, Departamento de Conversión y Transporte de Energía. (Enero 1994)
- [6] J. Pérez Retamales, “**Flujo de Potencia Óptimo con Programación Cuadrática Secuencial**”. Tesis para optar al grado de Magister en gerencia de operaciones. Departamento de ingeniería industrial. Universidad de Chile. (Octubre de 2001)



- [7] W. Stevenson Jr, “**Análisis de Sistemas de Potencia**”, editorial McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE MEXICO, S.A de C.V. (1996)
- [8] FERVISA Ingeniería S.A de C.V, “**Estudio de Corto Circuito**”[FERVISA,http://www.fervisa.com/pdf/sEST./20/CORTOC.pdf](http://www.fervisa.com/pdf/sEST./20/CORTOC.pdf) (3 de junio de 2008)
- [9] J. Hernández, “**Calculo de Corriente de Corto Circuito**” El prisma, portal para Investigadores y Profesionales. <http://www.elprisma/Cálculode Corriente de Corto Circuito/Apuntes de Ingeniería Eléctrica y Electrónica.htm> (3 de Junio de 2.008)
- [10] Telergia “**Factor de Potencia, conocimientos básicos importantes para tener en cuenta en la carga de un Site/Radiobase de Telecomunicaciones y para el optimo funcionamiento de la planta eléctrica Grupo Electrónico**”
<http://www.telergia/Factor de Potencia, conocimientos básicos importantes para tener en cuenta en la carga de un Site/Radiobase de Telecomunicaciones y para el optimo funcionamiento de la planta eléctrica Grupo Electrónico.htm> (3 de Junio de 2008)
- [11] G. Acosta, “**Análisis y Mejoramiento del Sistema de Compensación Estática de Reactivos (SVS) de la planta de laminación en caliente (SIDOR)**”. Tesis de grado, Departamento de electricidad, Universidad de Oriente, Venezuela. (Junio de 1995)
- [12] E. Reyes “**Estudio de Cortocircuito y Coordinación de Protecciones en las Subestaciones: Guanta I, Guaraguao, Chuparin, Paraíso, Lechería, Cuartel, Barcelona**”. Tesis de Grado Departamento de Electricidad (Octubre 2004).
- [13] IEEE Std 399-1997 [1997]. “**Recommended Practice for Industrial and Commercial Power Systems Analysis**”. Estados Unidos de América.



- [14] E. Pérez, “**Alternativas de Ahorro Energético en el Sistema Eléctrico Bauxilum, los Pijiguaos- Edo. Bolívar**” Tesis de grado, Departamento de electricidad, La Universidad del Zulia, Venezuela. (2002)
- [15] José García, “**Instalaciones Eléctricas en Media y Baja Tensión**” editorial Paraninfo. (1999)
- [16] R. Espinosa, “**Sistemas de Distribución**”. Editorial Limusa. (1990)
- [17] R. Serway, “**Electricidad y Magnetismo**”, Editorial. Thompson Learning Ibero, Segunda Edición, España (2005).
- [18] International Electrotechnical Commission. Technical Committee 77, Working Group 6, Classification of Electromagnetic Environments. International Electrotechnical Commission. Geneva. (Switzerland).
- [19] “**Manual y Catalogo del Electricista**”, Schneider Electric.
- [20] Y. Crespo, “**Estudio de Factibilidad Técnica para la Instalación de Generación Distribuida Mediante Grupo Electrónico Guascor en la Subestación El Rincón Estado Anzoátegui**”. Tesis de grado, Departamento de electricidad, Universidad de Oriente, Venezuela. (Mayo del 2008).

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

TÍTULO	Evaluación del Sistema Eléctrico de Potencia del Área de Producción El Jobal de CVG BAUXILUM Los Pijiguaos, Municipio Cedeño-Estado Bolívar.
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
Díaz H. José J.	CVLAC: 16.054.914 E MAIL: josejdiazh9@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

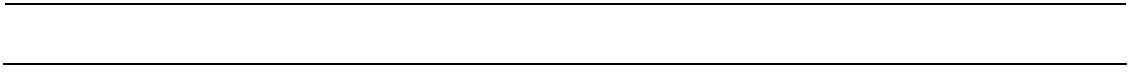
PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Evaluación

Cortocircuito

Flujo de Carga

Compensación



METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencia Aplicadas	Ingeniería Eléctrica

RESUMEN (ABSTRACT):

El principio fundamental de todo sistema eléctrico es brindar un suministro eléctrico permanente, con la menor cantidad de interrupciones, el cual cumpla con las siguientes características: continuidad, flexibilidad y confiabilidad.

Dentro de este trabajo se evaluará el sistema eléctrico de potencia del área de producción El Jobal en CVG BAUXILUM- MINA en los Pijiguaos.

El trabajo a desarrollar dentro de la empresa tiene como objetivo realizar los estudios de cortocircuito, flujo de carga y compensación de reactivos en el circuito de producción del área El Jobal.

La finalidad de este trabajo es que la empresa conozca la situación actual d dicho sistema eléctrico y pueda utilizar estos resultados para desarrollar proyectos a futuro en los cuales se puedan adoptar mejoras en los procesos de producción, así como minimizar las variaciones de voltaje y mejorar las condiciones operativas del sistema eléctrico de la misma.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
Ing. Edwin E. Perez	CVLAC:	11.918.316			
	E_MAIL	Edwin.perez@Bauxilim.com			
	E_MAIL				
	E_MAIL				
Ing. Luis J. Suarez	ROL	CA	AS	TU X	JU
	CVLAC:	11.144.624			
	E_MAIL	lsuarez@anz.udo.edu.ve			
	E_MAIL				
Ing. Hernán Parra	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	4.362.464			
	E_MAIL	hparra@anz.udo.edu.ve			
	E_MAIL				
Ing. Santiago Escalante	ROL	CA	AS	TU	JU X
	CVLAC:	3.198.012			
	E_MAIL	Sescalante@anz.udo.edu.ve			
	E_MAIL				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2009 AÑO	03 MES	30 DÍA
-------------	-----------	-----------

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS: Evaluación del Sistema Eléctrico El Jobal.Doc	Application/Microsoft Word

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u
v w x y z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: CVG Bauxilum Los Pijiguaos, Edo. Bolívar (OPCIONAL)

TEMPORAL: Nueve Meses (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Electricista

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre-Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Electricidad

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente / Núcleo Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo al artículo N° 44 del Reglamento de Trabajo de Grado:
"Los trabajos de Grado son exclusivamente propiedad de la
Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados para otros fines
con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, el cual lo
participará al Consejo Universitario".

José Díaz

AUTOR

Prof. Luis Suárez

TUTOR

Prof. Hernán Parra

JURADO

Prof. Santiago Escalante

JURADO

Prof. Verena Mercado

POR LA SUBCOMISION DE TESIS