

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



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DEL SISTEMA
ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE CONVERSIÓN PROFUNDA EN LA
REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

**REALIZADO POR:
SILVANA ELENA DE ARMAS CAMINO.**

Trabajo presentado ante la Universidad de Oriente como requisito parcial para optar
por el título de:

INGENIERO ELECTRICISTA

Puerto La Cruz, enero de 2009.

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



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DEL
SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE CONVERSIÓN
PROFUNDA EN LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

ASESORES

Ing. Luis Suarez
Asesor Académico (UDO)

Ing. Edgar Marcano
Asesor Industrial (PDVSA)

Puerto La Cruz, enero de 2009.

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



**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DEL
SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE CONVERSIÓN
PROFUNDA EN LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”**

JURADO

Ing. Luis Suárez
Asesor Académico

Ing. Santiago Escalante
Jurado Principal

Ing. Hernán Parra
Jurado Principal

Puerto La Cruz, enero de 2009.

RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”

DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a las personas que más amo, que a lo largo de mi vida han guiado todos mis pasos, me han hecho cada día una mejor persona y me han apoyado para que pueda alcanzar todas las metas que me he propuesto, con especial cariño:

A mis padres José Manuel De Armas y Luisa Camino.

A mis hermanos José Manuel y Daniela.

A mis abuelos maternos Carmen Guilarte y Silverio Camino.

A mis abuelos paternos Porfiria Clavier y José Daniel De Armas.

A mis tios.

A Javier.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente a Dios todopoderoso, por guiarme siempre.

A mis padres quienes son mi ejemplo a seguir, y a mis hermanos, gracias por estar ahí siempre para ayudarme y apoyarme en todo lo que necesite.

A mis abuelos maternos, paternos y mis tíos por todos los consejos que de una u otra forma influyeron en mi y en mi educación.

A Javier por todo el amor que me has dado, por tu comprensión y apoyo.

A mis amigos y compañeros de estudio José Luis Lira, Rosybel González, José Daniel Gil y Albert Requena por luchar conmigo a lo largo de mi carrera.

A mis asesores los profesores Edgar Marcano y Luis Suárez, por su paciencia y la ayuda que me brindaron para la realización de este trabajo.

A todos los profesores del departamento de electricidad, que fueron quienes contribuyeron en mi formación como profesional.

A todo el personal del proyecto “Mejoras a la Confiabilidad del sistema eléctrico RPLC y San Roque” especialmente a los ingenieros Maylin Rodríguez, Lenin Natera y Edgar Marcano, por recibirme en la empresa y ayudarme cuando más lo necesité.

Al proyecto “Conversión Profunda” en la Refinería Puerto La Cruz por darme la oportunidad de realizar la pasantía de grado en PDVSA.

CONTENIDO GENERAL

RESOLUCIÓN.....	IV
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTOS.....	VI
CONTENIDO GENERAL.....	VII
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	XII
CAPITULO I	
DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA.....	13
1.1. Descripción de la Empresa.....	13
1.1.1. Refinería Puerto La Cruz.....	14
1.1.2. Orígenes.....	14
1.1.3. Actividad.....	17
1.1.4. Misión y Visión de la Refinería Puerto La Cruz.....	17
1.1.5. Estructura organizativa.....	17
1.1.6. Evolución del Sistema Eléctrico de la Refinería Puerto La Cruz.....	18
1.1.7. Proyecto de Conversión Profunda.....	20
1.2. Planteamiento del Problema.....	21
1.3. Objetivos planteados en la solución del problema.....	22
1.3.1. Objetivo principal.....	22
1.3.2. Objetivos específicos.....	22
CAPÍTULO II	
DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE CONVERSIÓN PROFUNDA.....	24
2.1. Descripción del Proceso de Conversión Profunda.....	24
2.1.1. Unidades De Procesos.....	26
2.1.1.1. Plantas Principales.....	26

2.1.1.2. Plantas Auxiliares.....	26
2.1.1.3. Plantas Ambientales.....	26
2.1.1.4. Unidad De Preparación Catalítica.....	26
2.2. Sistema Eléctrico de Conversión Profunda	27
2.2.1. Barra MS-SWG/MCC-401 (13,8 kV).....	29
2.2.2. Barra MS-SWG/MCC-402 (13.8 kV).....	30
2.2.3. Barra MS-SWG/MCC-501 (34,5 kV).....	32
2.2.4. Barra MS-SWG/MCC-502 (34,5 kV).....	40
2.2.5. Carga eléctrica máxima estimada.	46
2.2.6. Sistema de distribución asociado a Conversión Profunda.	47
 CAPÍTULO III	
ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA.....	54
3.1. Modelo Matemático.....	55
3.2. Tipos de Barras.....	57
3.2.1. Barra Slack.....	57
3.2.2. Barra PV o de Voltaje Controlado.....	58
3.2.3. Barra PQ o de Carga.	58
3.3. Métodos para la solución del Flujo de Potencia.....	59
3.3.1. Método de Newton Raphson.....	60
3.3.1.1. Aplicación del método de Newton-Raphson a sistemas de potencia.....	62
3.4. Estudio de Flujo de Carga de Conversión Profunda.....	64
3.4.1. Escenario 1: Condiciones Normales de Operación.....	66
3.4.1.1. Escenario 1-A: Con tap central en las subestaciones de procesos y “utility” de Conversión Profunda.....	67
3.4.1.1.1. Resumen de los Resultados Obtenidos.....	68
3.4.1.2. Escenario 1-B: Con cambiador de tomas corregido para las Subestaciones Eléctricas de Procesos y sus circuitos “Utility y Offsite”.	78
3.4.1.2.1. Resumen de Resultados Obtenidos.	83

3.4.2. Escenario 2: Contingencia #1. Pérdida de la interconexión con Guanta II.....	93
3.4.3. Escenario 3: Contingencia #2. Pérdida de ambos generadores de la Planta Alberto Lovera.	103
3.4.4. Escenario 4: Contingencia #3. Pérdida de un generador PAL y de un interconector de la subestación Guanta II.	114

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO	128
4.1. Tipos de Cortocircuito.	129
4.2. Fuentes que contribuyen a la corriente de falla.	130
4.2.1. Empresa de suministro eléctrico.	131
4.2.2. Generadores sincrónicos.	131
4.2.2.1. Reactancia subtransitoria (X_d'').	133
4.2.2.2. Reactancia transitoria (X_d')	133
4.2.2.3. Reactancia sincrónica (X_d)	133
4.2.3. Motores sincrónicos.	134
4.2.4. Motores de inducción.	134
4.3. Corriente de cortocircuito.	135
4.4. Cálculo de la corriente de cortocircuito.	138
4.4.1. Método de cálculo de cortocircuito empleado por el ETAP [12].	138
4.5. Estudio de Cortocircuito.	141
4.5.1. Escenario planteado para el estudio de cortocircuito.	141
4.5.1.1. Resumen de resultados obtenidos.	142
4.5.1.2. Observaciones.	146
4.5.2. Escenario planteado: Caso particular.	147
4.5.2.1. Resumen de resultados obtenidos.	147
4.5.2.2. Observaciones.	148

CAPÍTULO V

ESTUDIO DEL ARRANQUE DE GRANDES MOTORES	150
--	------------

5.1. Motor sincrónico.....	151
5.2. Arranque de los motores sincrónicos.....	151
5.3. Método de arranque de motores sincrónicos.	152
5.3.1. Variadores de frecuencia.....	153
5.3.2. Arrancadores Suaves.....	156
5.4. Estudio del arranque de los motores de Conversión Profunda.	158
5.4.1. Metodología empleada.....	159
5.4.2. Escenario planteado. Arranque del motor G-7801B.....	160
5.4.3. Resumen de los resultados del arranque del motor G-7801B.....	160
5.4.4. Observaciones.	164
CONCLUSIONES.....	165
RECOMENDACIONES.....	167
BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA.....	169

RESUMEN

Este trabajo consistió en la realización de los estudios de flujo de carga, cortocircuito y arranque de grandes motores del sistema eléctrico de Conversión Profunda, ya que estos proporcionan gran parte de la información necesaria para conocer el comportamiento estacionario de dicho sistema.

Fue indispensable la construcción del diagrama unifilar en el software computacional ETAP 5.5.6 con su correspondiente base de datos, la cual comprende los datos de los transformadores, líneas de transmisión, alimentadores, generadores, motores y de las diferentes subestaciones consideradas del Sistema Eléctrico Nacional. Posteriormente se llevaron a cabo las simulaciones de flujo de carga, cortocircuito y arranque de los grandes motores, estudios que suministraron los niveles de voltaje, potencia, corrientes trifásicas de cortocircuito y caída de tensión en las diferentes barras que componen el sistema eléctrico de Conversión Profunda. Tales estudios permitieron emitir conclusiones y recomendaciones a seguir para mejorar las condiciones de operación del sistema.

INTRODUCCIÓN

Todo sistema eléctrico de potencia debe ser diseñado de manera que pueda garantizar el suministro de energía necesaria y que permita el funcionamiento adecuado según las necesidades del consumidor. La Refinería Puerto La Cruz es una de las plantas más importantes en el país, ya que constituye una de las principales fuentes de economía y desarrollo, por lo tanto, se considera que debe ser operada constantemente.

Próximamente la RPLC contará con una nueva planta de procesamiento de crudo pesado y extrapesado que se ha denominado “Conversión Profunda”, esta generará un gran impacto desde el punto de vista económico y social, así como también de electricidad, debido a que traerá consigo un incremento en la demanda que se maneja siendo esta de unos 220 MW. En los actuales momentos se está llevando a cabo la ingeniería básica del proyecto, en la cual se han definido las cargas que conformarán el sistema eléctrico de la nueva planta, sin embargo, el diseño del mismo abarca también la realización de los estudios necesarios para tener una visión del comportamiento que éste tendrá cuando se encuentre en funcionamiento y los efectos que podrá tener sobre el sistema eléctrico actual.

Para efectos de este trabajo, dichos estudios consisten en la elaboración de los análisis de flujo de carga, cortocircuito y arranque de motores de gran potencia, para lo que será indispensable construir el diagrama unifilar en el software ETAP 5.5.6 con su base de datos correspondiente, tomando en cuenta la interconexión con VALCOR y la Refinería Puerto La Cruz, así como también con el Sistema Eléctrico Nacional y la nueva planta de generación Alberto Lovera para de esta manera conseguir resultados más realísticos.

CAPITULO I

DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Empresa.

Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), fundada el 29 de agosto de 1975, es una de las corporaciones energéticas más importantes del mundo, expandida en todo el territorio nacional, teniendo facilidad de acceso al Mar Caribe y a su vez está conectada por medio de oleoductos a los campos de la producción de petróleo crudo del oriente del país. Se encarga del desarrollo de la industria petrolera, petroquímica y carbonífera; además de planificar, coordinar y controlar las actividades operativas de sus divisiones, tanto en Venezuela como en el exterior. PDVSA, lleva a cabo actividades en materia de exploración y producción para el desarrollo del petróleo y del gas, bitúmen y crudo pesado de la faja del Orinoco, producción y manufactura de orimulsión, así como también explotación y manufactura del carbón. Ocupa una destacada posición entre los refinadores del mundo y su red de manufactura abarca Venezuela, el Caribe, Estados Unidos y Europa.

Petróleos de Venezuela es la tercera empresa refinadora a nivel mundial, y opera de manera directa y a través de asociaciones en más de 20 refinerías del mundo, entre las cuales destacan los complejos ubicados en Venezuela, Curazao, Estados Unidos, Alemania y El Reino Unido. En muchos de estos complejos PDVSA ha invertido importantes recursos para cumplir con regulaciones ambientales cada vez más exigentes y con la creciente demanda de productos livianos.

1.1.1. Refinería Puerto La Cruz.

La refinería Puerto La Cruz es uno de los centros de procesamientos de crudo más importantes de PDVSA e integra un circuito de manufactura del petróleo extraído en los campos de los estados Monagas y Anzoátegui.

Geográficamente, esta planta abarca tres áreas operacionales: Puerto La Cruz, El Chaure y San Roque, ubicadas en el norte y centro del estado de Anzoátegui, con una capacidad total de procesamiento de crudos de 200 mil barriles por día, de los cuales se obtienen 73 mil barriles de gasolina y nafta, 12 mil barriles de kerosene-jet, 43 mil barriles de gasoil y 73 mil barriles de residual, insumos y requeridos para la mezcla de combustibles comercializados en los mercados interno y de exportación. La **figura 1.1** muestra su ubicación geográfica.

1.1.2. Orígenes.

La actual Refinería de Puerto La Cruz comprende lo que fue inicialmente la Venezuelan Gulf Company, teniendo el respaldo de los grandes consorcios Menegrande Oil Company y la Texas Petroleum Company en el año 1938. Diez años mas tarde en 1948, luego de una serie de procesos de transformación y ampliación de las instalaciones existentes, comienzan las construcciones de lo que hoy es la Refinería Puerto La Cruz.

En 1950, se inician las operaciones de refinación para la RPLC con una unidad de Destilación Atmosférica N°1 (DA-1), con la capacidad de procesar 44 MBD, la unidad de Polimerización de Gasolina y la Planta de Tratamiento para productos blancos (gasolina y kerosene).



Figura 1.1. Ubicación Geográfica de la Refinería Puerto La Cruz.

Durante los años 1955-1962, se instalan en la refinería nuevas unidades orientadas a incrementar la capacidad de procesar crudos pesados y aumentar el volumen de producción de gasolina de alto octanaje. Estas unidades fueron:

- La unidad de destilación Atmosférica N°2 (DA-2) 1957 con una capacidad de 65 MBD.
- La unidad de Destilación Catalítica (1957) con una capacidad de 9.0 MBD.
- La unidad de alquilación (1962) con capacidad de 2,4 MBD.

A causa del Decreto de Nacionalización Petrolera, la Refinería el Chaure pasa a formar parte del grupo de empresas BARIVEN. La actual refinería el Chaure en el

año 1978, es absorbida por MENEVEN convirtiéndose en la unidad de Destilación Atmosférica 3 (DA-3) de la RPLC.

Para finales de 1981, se logra aumentar la capacidad de estabilización de gasolina de 7.5 a 20 MBD, mediante la instalación de una nueva torre estabilizadora.

En el año 2004, entró en funcionamiento el proyecto VALCOR (Valorización de Corriente de Refinación), el cual permite mediante diversos procesos químicos aprovechar los subproductos de la refinación que antes se vendían como desechos a otras refinerías.

Se estima que para el año 2012 esté listo el llamado proyecto “Conversión Profunda” que va a consistir en una ampliación de la Refinería Puerto La Cruz. El proyecto de Conversión Profunda es producto de la tecnología venezolana desarrollada por PDVSA INTEVEP denominada, HDHPlus® para el tratamiento, conversión y valorización de los crudos pesados y extrapesados, como los existentes en nuestra Faja Petrolífera del Orinoco, dando grandes pasos para incrementar la independencia tecnológica y aumentar la calidad, rendimiento y número de productos en la refinería de Puerto La Cruz, entre ellos el asfalto que en la actualidad es traído vía marítima del Complejo Refinador Paraguaná y de Bajo Grande Zulia. Por la parte de generación eléctrica se va a contar con la instalación y puesta en marcha de la Planta de Generación “Alberto Lovera” este proyecto va a ser realizado por CADAPE conjuntamente con PDVSA, que va a contar con la puesta en marcha de 2 turbogeneradores de 150 MW cada uno, esto le va a entregar mas potencia a la Refinería y de esta manera darle mas confiabilidad.

1.1.3. Actividad.

Actualmente la RPLC se encarga de procesar el petróleo crudo para obtener, mediante una serie de tratamientos, productos comercializables tales como gasolina, GLP, Diesel, y Kerosene con el fin de abastecer la demanda requerida por el mercado de Oriente otras zonas ubicadas en el resto del país y el mercado de exportación de productos como residual destilado y nafta.

1.1.4. Misión y Visión de la Refinería Puerto La Cruz.

Misión: esta refinería se propone como misión maximizar el valor agregado al negocio, a través de la transformación del petróleo y otros insumos en productos de alta calidad, de manera segura, confiable y rentable para la satisfacción de sus clientes, armonía con la comunidad y el ambiente, con su más importante recurso altamente capacitado y motivado. Por lo que la RPLC pretende ser una refinería modelo conocida por su seguridad, calidad, rentabilidad, eficiente disciplina, trabajo en equipo y búsqueda de normas cada vez más altas.

Visión: conformar una refinería de clase mundial, reconocida por su seguridad, calidad, eficiencia y trabajo en equipo con el objeto de consolidar un patrimonio de orgullo nacional para las futuras generaciones de relevo.

1.1.5. Estructura organizativa.

La organización de la RPLC se muestra en la **figura 1.2** según su jerarquía.

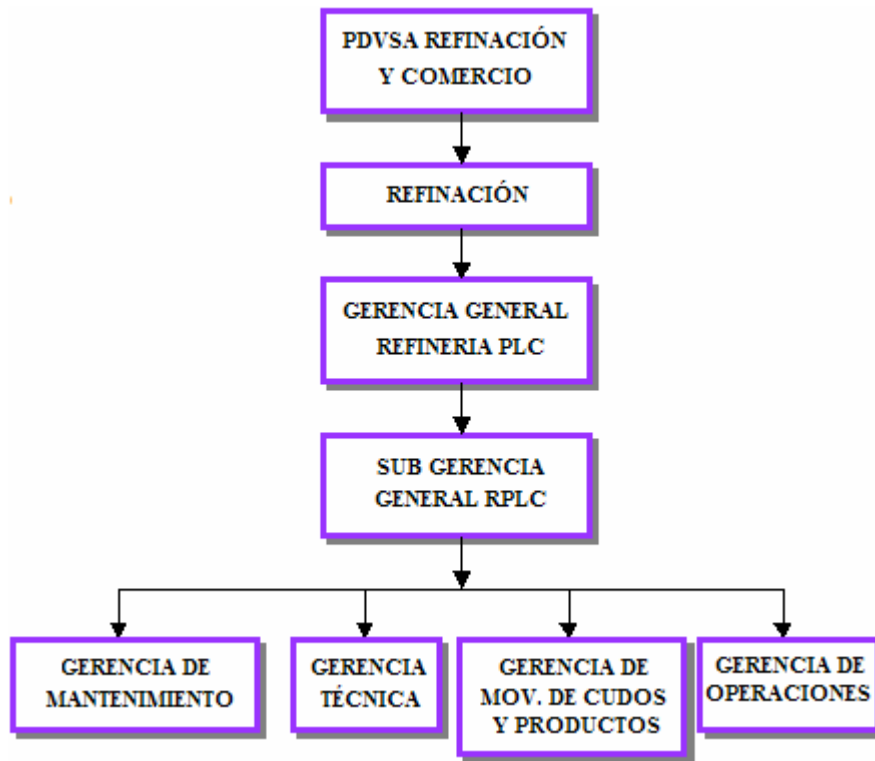


Figura 1.2. Estructura Organizativa de Refinería Puerto La Cruz.

1.1.6. Evolución del Sistema Eléctrico de la Refinería Puerto La Cruz.

En el año de 1950 inicia la Refinería Puerto La Cruz sus operaciones con una capacidad eléctrica instalada de 6 MW, constituido por tres unidades turbogeneradoras a vapor de 2 MW a 2,4 kV cada una, para ese entonces las cargas más fuertes constituidas por motores de inducción exigían arranque a tensión reducida para mantener el sistema estable.

Posteriormente entre los años de 1953 y 1962, motivado a la implementación de nuevas plantas de procesos se optó por incrementar la generación para ello se

instalaron dos nuevas unidades turbogeneradoras a gas en la planta del Chaure, con capacidad de 5 MW a 4,16 kV.

A comienzos de 1982 el sistema es reforzado nuevamente con un turbogenerador a gas (TG-6) 15,7 MW a 13,8 kV dada la creciente demanda por el incremento en los niveles de producción y la expansión de la refinería en ese momento.

En 1986 se ejecuta el proyecto ASER (Adecuación del Sistema Eléctrico de la Refinería) con el objeto de incrementar los niveles de generación aumentando significativamente la confiabilidad operacional del sistema eléctrico. Entre los alcances de este proyecto estaban:

- Instalación de dos turbogeneradores a gas TG-7 y TG-8 de 20 MW a 13,8 kV cada uno.
- Construcción de subestaciones radiales y con primario o secundario selectivo de forma compactas con transformadores PADMOUNTED
- Modificación del sistema de distribución desde 4,16 kV y 2,4 kV a 13.8 kV y 34,5 kV para las redes de distribución interna y para la alimentación de los CCM así mismo se procedió con la construcción de tres patios de celda de potencia: Patio de Celda R.P.L.C, OSAMCO y El Chaure.

La alimentación de toda la refinería posee como principal respaldo una interconexión desde la subestación Guanta II (CADAFE) a través de dos líneas aéreas a 230 kV la cual es transformada a los niveles (230/34,5/13,8)kV en las subestaciones VALCOR A y B para finalmente interconectarla con la barra principal de planta eléctrica.

El esquema normal del sistema eléctrico comprende la operación de dos turbogeneradores TG-6 y TG-7 dejando el TG-8 como reserva al mismo tiempo que se mantiene el enlace cerrado de las subestaciones A y B de VALCOR Cada uno de los Alimentadores en 230 kV, está capacitado para asumir la carga total en cualquier contingencia.

Con el proyecto Conversión Profunda se piensa hacer una modificación a las interconexiones existentes, debido a que de por sí, el Sistema Eléctrico Nacional (S.E.N) presenta una confiabilidad inaceptable para efectos de la refinería. La nueva interconexión se hará a través de una S/E encapsulada en SF6 a 230 kV, que integrará a la Planta de Generación Alberto Lovera (aún en construcción) con capacidad de generación de 300 MW, el S.E.N en doble terna (Guanta II) a 230 kV, el sistema RPLC-VALCOR y a Conversión Profunda.

1.1.7. Proyecto de Conversión Profunda.

Debido a la alta viscosidad que presentan los crudos pesados y extrapesados, es muy difícil explotarlos y refinarlos, por lo que se está llevando a cabo la planificación del proyecto de Conversión Profunda, en este se implementará una nueva tecnología 100% VENEZOLANA, denominada HDH Plus®, la cual consiste en un proceso de alta conversión (90-95%) de crudos pesados y residuos de refinería vía hidroconversión. Esta tecnología produce un elevado rendimiento en líquidos (115%) hacia productos de alta calidad y es muy flexible para procesar diferentes cargas con alto contenido de azufre y metales. Adicionalmente, minimiza notablemente el manejo de sólidos y subproductos en la refinería y adicionalmente es totalmente amigable con el ambiente.

Con el proyecto de Conversión Profunda se espera producir mayor rendimiento en gasolina, destilados medios y fuel oil productos de alto valor comercial y mucho menos residuales.

1.2. Planteamiento del Problema.

CADAFE diseñó la planta de generación “Alberto Lovera” con el propósito inicial de mejorar la confiabilidad del suministro de energía eléctrica hacia los sectores urbanos. La planta contará con dos generadores de 150 MW cada uno, lo que significa una generación total de 300 MW.

En PDVSA se está llevando a cabo el proyecto denominado “Conversión Profunda”, el cual se encuentra actualmente en su etapa de planificación. Este proyecto consiste en la ampliación de la refinería de Puerto La Cruz y está diseñado para llevar a cabo procesos que permitan el tratamiento de los crudos pesados y extrapesados, a través de una nueva tecnología llamada HDH Plus/SHP. Desde el punto de vista eléctrico, tales procesos requieren de una generación de cerca de 200 MW que solo son posibles de obtener con el suministro por parte de la empresa de energía eléctrica (CADAFE) debido a que los turbogeneradores de la RPLC por si solos no cubren la demanda requerida por el proyecto de CP, entre cuyas cargas se encuentran grandes motores. Se planea que Conversión profunda tendrá una alimentación proveniente del Sistema Eléctrico Nacional (Guanta II), a través de una subestación encapsulada en SF6, sin embargo, con motivo de mejorar la confiabilidad del sistema en Conversión Profunda, Refinería y VALCOR, parte del suministro provendrá de los generadores de la planta Alberto Lovera.

En condiciones ideales ambos generadores estarían en funcionamiento, de manera de suplir tanto la carga de Conversión Profunda como la carga de los sectores urbanos, pero en todo sistema eléctrico pueden ocurrir fallas que produzcan un

desbalance de las cargas, y por lo tanto, cambien las condiciones de operación del sistema. No se sabe con certeza en que se vería afectado el sistema ante estas contingencias, es debido a esto, que este trabajo se basará en el estudio del comportamiento estacionario del Sistema Eléctrico del proyecto Conversión Profunda en la Refinería Puerto La Cruz considerando su interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional simplificado y la planta de generación Alberto Lovera. Para lograr este objetivo, se realizará mediante la utilización de un software computacional (ETAP) un análisis de flujo de carga y de los niveles de cortocircuito, llevando a cabo varios escenarios; así como también se analizará el impacto del arranque de grandes motores desde el punto de vista de caída de tensión en el sistema de CP-RPLC, de manera que sirva de guía para definir los mejores esquemas operacionales.

1.3. Objetivos planteados en la solución del problema.

1.3.1. Objetivo principal.

Analizar el Comportamiento Estacionario del Sistema Eléctrico de la Planta de Conversión Profunda en la Refinería Puerto la Cruz considerando su interconexión con el Sistema Eléctrico Nacional y la planta de generación “Alberto Lovera”.

1.3.2. Objetivos específicos.

1. Describir la base de datos del sistema eléctrico del “Proyecto Conversión Profunda” según software ETAP.
2. Integrar la base de datos del sistema eléctrico de Conversión profunda con Planta Alberto Lovera, Sistema Eléctrico Nacional Simplificado, Valcor y Refinería Puerto la Cruz.
3. Estudiar el flujo de carga del sistema eléctrico del proyecto Conversión Profunda mediante el ETAP para diferentes escenarios operacionales.

4. Determinar los niveles de cortocircuito del sistema eléctrico de Conversión Profunda mediante el ETAP para los escenarios más críticos.
5. Analizar el comportamiento del sistema eléctrico de Conversión profunda ante el arranque de grandes motores mediante el ETAP.

CAPÍTULO II

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE CONVERSIÓN PROFUNDA

El proyecto de Conversión Profunda tiene como objetivo general adecuar la Refinería Puerto La Cruz para procesar crudo pesado y extrapesado para producir productos livianos con calidad de exportación y mejorar el margen de refinación, en armonía con el ambiente y el entorno social de la instalación. Con este proceso se hará posible la producción de Gasolina, Jet A-1, Diesel y Asfalto de Calidad de Exportación y en mayor proporción que en los actuales momentos.

La planta de Conversión Profunda será construida en el área de Macotal justo al lado de la Refinería Puerto La Cruz, y contempla la construcción de una unidad de Conversión Profunda basada en la tecnología venezolana HDH Plus/SHP y una unidad de destilación al vacío de 117 MBD, así como también la remodelación de las unidades DA-1 y DA-2 para el procesamiento de 80 y 90 MBD de Crudo pesado Merey, respectivamente.

En este capítulo se hará una breve descripción del proceso de Conversión Profunda, de manera que sirva de base para conocer las unidades que la conformarán y los circuitos a los cuales éstas pertenecen, describiendo a su vez la base de datos necesaria para la realización de los estudios según software ETAP.

2.1. Descripción del Proceso de Conversión Profunda.

El crudo Merey (pesado) entra a la unidad de **destilación atmosférica** de donde se extraen los hidrocarburos presentes en forma natural, sin afectar la estructura molecular de los componentes. El residuo atmosférico o crudo reducido procedente

de la columna de destilación atmosférica, se bombea a la unidad de **destilación al vacío** de donde se obtiene el residuo que es posteriormente enviado a la unidad **HDH Plus/SHP**.

En el proceso de HDH Plus/SHP se trata de poner en contacto el residuo de vacío con un catalizador e hidrógeno, para pasar a dos reactores fluidizados con una alta presión parcial de hidrógeno en los que se verifica la conversión de esta corriente en productos craqueados. La corriente de livianos pasa a una sección de hidrotratamiento e hidrocrqueo integrada en el mismo lazo de alta presión, en donde se reduce sustancialmente la presencia de contaminantes adecuando la calidad de los productos a los mercados más exigentes. El diagrama de bloques de la **figura 2.1** describe en forma resumida el proceso de Conversión Profunda.

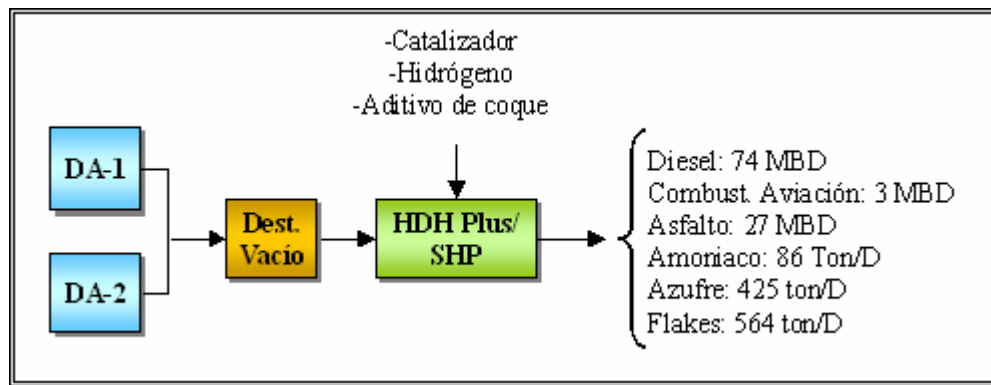


Figura 2.1. Diagrama de bloques del proceso de Conversión Profunda en la Refinería Puerto La Cruz.

Además de las unidades principales mencionadas anteriormente (Destilación al vacío, HDH Plus y SHP), la planta de conversión profunda contará con las siguientes unidades: 8 plantas auxiliares, 6 plantas ambientales y 7 plantas de servicios industriales. Para efectos de este proyecto solo se hará énfasis en aquellas

que estén directamente relacionadas con el sistema eléctrico en estudio, las cuales se mencionan a continuación:

2.1.1. Unidades De Procesos.

2.1.1.1. Plantas Principales.

1. Unidad de destilación al vacío (**VDU**): esta es la correspondiente al circuito SS74.
2. Unidad de **HDH Plus**: correspondiente al circuito SS76.
3. Unidad de **SHP**: correspondiente al circuito SS77.

2.1.1.2. Plantas Auxiliares.

1. Unidad de producción de hidrógeno (**HPU**): pertenece al circuito SS83.
2. Unidad de **compresión de hidrógeno**: está conectada a dos de las barras de la Subestación principal.
3. Unidad de recuperación de hidrógeno (**HRU**): corresponde al circuito SS87.
4. Unidad de recuperación de gases (**GRU**): correspondiente al circuito SS88.

2.1.1.3. Plantas Ambientales.

1. Unidad de recuperación de azufre (**SRU**): su circuito eléctrico es el SS86.
2. Unidad de regeneración de aminas (**HAR**): pertenece al circuito SS85.

2.1.1.4. Unidad De Preparación Catalítica.

Esta unidad corresponde al circuito SS70.

Además contará con **unidades de servicios o “utilities”** que contendrán centros de control de motores los cuales alimentarán bombas, ventiladores, compresores de aire, sopladores, circuitos de emergencia y cargas estáticas. Estos circuitos son: SS90-1, SS98-1A, SS98-1B, SS98-2A y SS98-1B.

2.2. Sistema Eléctrico de Conversión Profunda

El sistema eléctrico de la planta de Conversión Profunda estará conformado por 5 barras principales, en 230 kV; 34,5 kV y 13,8 kV cada una de ellas caracterizada por 2 secciones de barra A y B interconectadas entre sí a través de un interruptor el cual permanecerá normalmente cerrado en la barra **MS-SWG-601** y para el resto de las barras normalmente abierto.

La barra **MS-SWG-601** estará a un nivel de tensión de 230 kV y tendrá cuatro derivaciones por cada sección de barra, que serán llevadas a las cuatro barras principales restantes **MS-SWG/MCC-401**, **MS-SWG/MCC-402**, **MS-SWG/MCC-501** y **MS-SWG/MCC-502** por medio de transformadores a los niveles de tensión de 13,8 kV y 34,5 kV respectivamente, tal como se muestra en la **figura 2.2**.

En la **tabla 2.1** se encuentran las características técnicas de los transformadores mostrados en la **figura 2.2**. Y en el **Anexo A** se muestran los diagramas unifilares detallados del sistema eléctrico de Conversión Profunda.

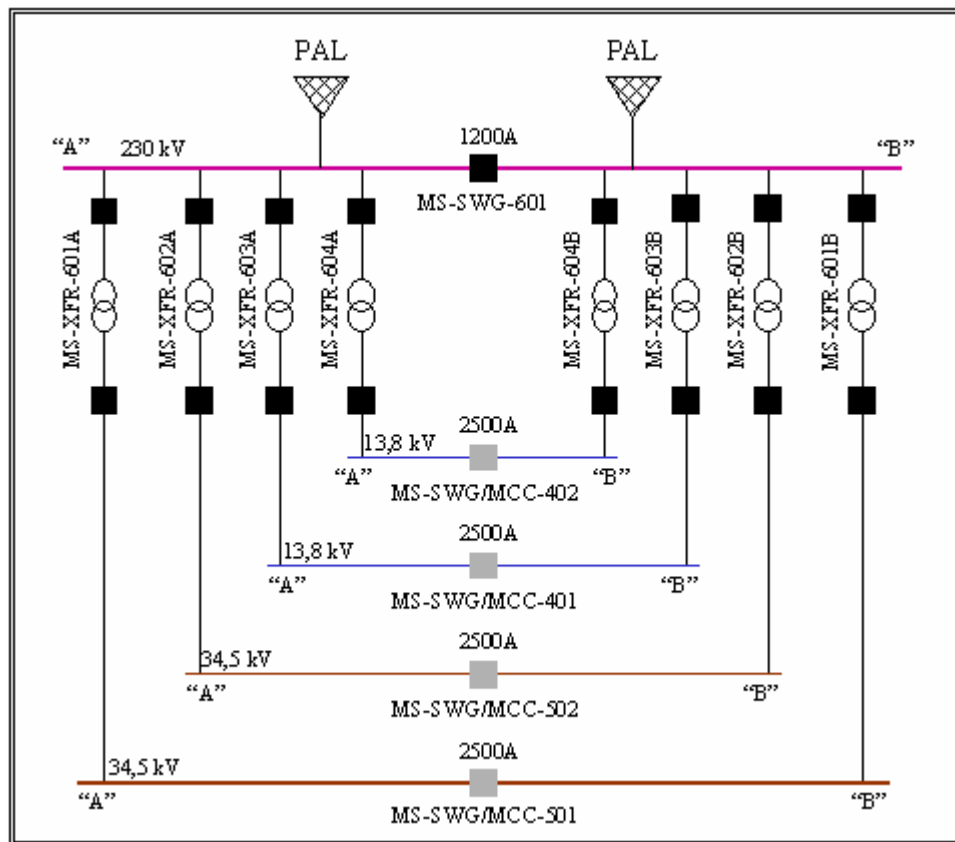


Figura 2.2. Diagrama unifilar de barras principales de Conversión Profunda.

Tabla 2.1. Datos de los transformadores conectados a las barras principales.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
MS-XFR-601 A	230 kV	90/120/150	10,5%	MS-SWG-601 A	Y-Y	Resistor
	34,5 kV	OA/FA/FOA		MS-SWG/MCC-501 A		400 A- 10 seg
MS-XFR-601 B	230 kV	90/120/150	10,5%	MS-SWG-601 B	Y-Y	Resistor
	34,5 kV	OA/FA/FOA		MS-SWG/MCC501 B		400 A- 10 seg

Continuación de la Tabla 2.1...

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
MS-XFR-602 A	230 kV	90/120/150	10,5%	MS-SWG-601 B	Y-Y	Resistor
	34,5 kV	OA/FA/FOA		MS-SWG/MCC-502 A		400 A- 10 seg
MS-XFR-602 B	230 kV	90/120/150	10,5%	MS-SWG-601 B	Y-Y	Resistor
	34,5 kV	OA/FA/FOA		MS-SWG/MCC-502 B		400 A- 10 seg
MS-XFR-603 A	230 kV	50/60	10,5%	MS-SWG-601 B	Y-Y	Resistor
	13,8 kV	OA/FA		MS-SWG/MCC-401 A		400 A- 10 seg
MS-XFR-603 B	230 kV	50/60	10,5%	MS-SWG-601 B	Y-Y	Resistor
	13,8 kV	OA/FA		MS-SWG/MCC-401 B		400 A- 10 seg
MS-XFR-604 A	230 kV	50/60	10,5%	MS-SWG-601 B	Y-Y	Resistor
	13,8 kV	OA/FA		MS-SWG/MCC-402 A		400 A- 10 seg
MS-XFR-604 B	230 kV	50/60	10,5%	MS-SWG-601 B	Y-Y	Resistor
	13,8 kV	OA/FA		MS-SWG/MCC-402 B		400 A- 10 seg

2.2.1. Barra MS-SWG/MCC-401 (13,8 kV).

Esta barra constará de dos secciones “A” y “B” interconectadas por medio de un interruptor de 2500 A normalmente abierto. A la barra “A” estarán conectados dos compresores de hidrógeno identificados como G-7801E y G-7801C, y a la barra “B” el compresor G-7801A, todos con una capacidad de 13.175 KW (17.667,97 hp). La **figura 2.3** ilustra la posición de estos motores en la barra.

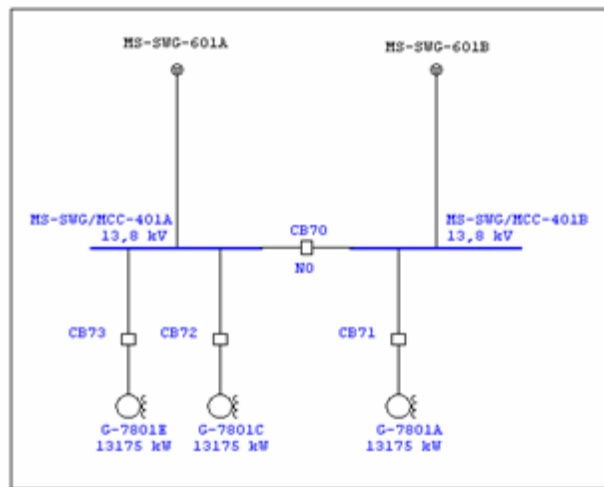


Figura 2.3. Motores conectados a la barra MS-SWG/MCC-401.

2.2.2. Barra MS-SWG/MCC-402 (13.8 kV).

Al igual que la barra MS-SWG/MCC-401 esta barra constará también de dos secciones de barra interconectadas por medio de un interruptor de 2500A, a las cuales estarán conectados tres compresores de hidrógeno, dos de ellos (G-7801B y G-8702) a la barra “A” con capacidades de 13.175 KW y 6.000 KW (8.046,13 hp) respectivamente, y el otro (G-7801D) a la barra “B” con una capacidad de 13.175 KW. La **figura 2.4** muestra el diagrama unifilar perteneciente a esta barra.

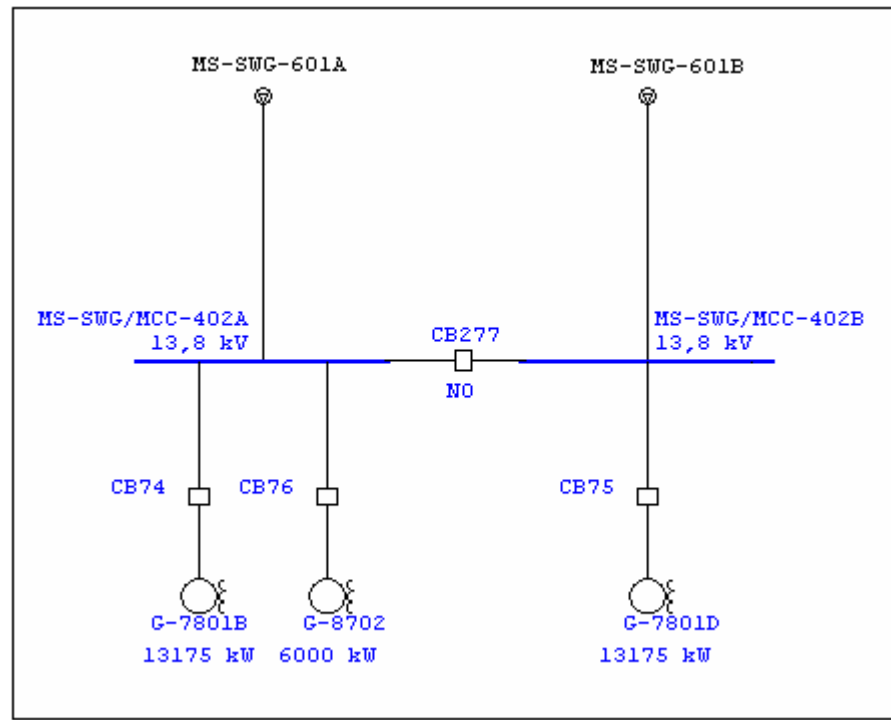


Figura 2.4. Motores conectados a la barra MS-SWG/MCC-402.

Los datos de los motores conectados a las barras MS-SWG/MCC-401 y MS-SWG/MCC-402 se muestran a continuación en la **tabla 2.2**.

Tabla 2.2. Datos de los motores sincrónicos conectados a las barras MS-SWG/MCC-401 y MS-SWG/MCC-402.

ID	Tipo	Barra	Potencia		Nivel de tensión	N° de polos	%Iarr	Frecuencia
			KW	HP				FP
G-7801E	Sincrónico	MS-SWG/ MCC-401 A	13175	17668	13,8 kV	20	350 %	60 Hz
Compresor de hidrógeno								85%

Continuación de la Tabla 2.2...

ID	Tipo	Barra	Potencia		Nivel de tensión	N° de polos	%Iarr	Frecuencia
			KW	HP				
G-7801C	Sincrónico	MS-SWG/ MCC-401 A	13175	17668	13,8 kV	20	350 %	60 Hz
Compresor de hidrógeno						360		85%
G-7801 A	Sincrónico	MS-SWG/ MCC-401 B	13175	17668	13,8 kV	20	350 %	60 Hz
Compresor de hidrógeno						360		85%
G-7801B	Sincrónico	MS-SWG/ MCC-402 A	13175	17668	13,8 kV	20	350 %	60
Compresor de hidrógeno						360		85%
G-8702	Sincrónico	MS-SWG/ MCC-402 A	6000	8046	13,8 kV	20	600 %	60
Compresor de gas						360		85 %
G-7801D	Sincrónico	MS-SWG/ MCC-402 B	13175	17668	13,8 kV	20	350 %	60
Compresor de hidrógeno						360		85 %

2.2.3. Barra MS-SWG/MCC-501 (34,5 kV).

Esta barra cumple un papel importante en el sistema, ya que, a ella estarán conectadas las tres plantas principales de Conversión Profunda (Destilación al Vacío, HDH Plus y SHP) y en éstas es donde realmente se cumplirá el proceso de conversión del crudo pesado y extrapesado en productos con calidad de exportación. Las subestaciones correspondientes a estas plantas son las SS74, SS76 y SS77 respectivamente.

A partir de esta barra también existirán derivaciones hacia las subestaciones SS88, SS87 y SS70, que corresponden a las unidades de recuperación de gases (GRU), recuperación de hidrógeno (HRU) y preparación catalítica respectivamente.

En las **tablas 2.3, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8** se encuentran los datos de los transformadores conectados a las subestaciones mencionadas anteriormente, y en la **tabla 2.9** están los datos de los alimentadores de 34,5 kV que se derivan de la barra MS-SWG/MCC-501.

Tabla 2.3. Datos de los transformadores de la subestación SS70 de Preparación Catalítica.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS70-XFR-501 A	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS70-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS70-XFR-501 B	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS70-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg
SS70-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS70-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS70-MCC-201 A		----
SS70-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS70-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS70-MCC-201 B		----
SS70-XFR-302 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS70-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS70-MCC-202 A		----
SS70-XFR-302 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS70-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS70-MCC-202 B		----

**Tabla 2.4. Datos de los transformadores de la subestación SS74 de
Destilación al vacío.**

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS74-XFR-501 A	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS74-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS74-XFR-501 B	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS74-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg
SS74-XFR-502 A	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS74-SWG/MCC-302 A		400 A- 10 seg
SS74-XFR-502 B	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS74-SWG/MCC-302 B		400 A- 10 seg
SS74-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS74-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS74-MCC-201 A		----
SS74-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS74-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS74-MCC-201 B		----
SS74-XFR-302 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS74-SWG/MCC-302 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS74-MCC-202 A		----
SS74-XFR-302 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS74-SWG/MCC-302 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS74-MCC-202 B		----

Tabla 2.5. Datos de los transformadores de la subestación SS76 de HDH Plus.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS76-XFR-501 A	34,5 kV	15/20	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS76-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS76-XFR-501 B	34,5 kV	15/20	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS76-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg
SS76-XFR-502 A	34,5 kV	15/20	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS74-SWG/MCC-302 A		400 A- 10 seg
SS76-XFR-502 B	34,5 kV	15/20	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS74-SWG/MCC-302 B		400 A- 10 seg
SS76-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-201 A		----
SS76-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-201 B		----
SS76-XFR-302 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-202 A		----
SS76-XFR-302 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-202 B		----
SS76-XFR-303 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-302 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-203 A		----
SS76-XFR-303 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-302 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-203 B		----
SS76-XFR-304 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-302 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-204 A		----
SS76-XFR-304 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS76-SWG/MCC-302 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS76-MCC-204 B		----

Tabla 2.6. Datos de los transformadores de la subestación SS77 SHP.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS77-XFR-501 A	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS77-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS77-XFR-501 B	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS77-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg
SS77-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS77-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS77-MCC-201 A		-----
SS77-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS77-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS77-MCC-201 B		-----
SS77-XFR-302 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS77-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS77-MCC-202 A		-----
SS77-XFR-302 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS77-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS77-MCC-202 B		-----
SS77-XFR-303 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS77-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS77-MCC-203 A		-----
SS77-XFR-303 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS77-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS77-MCC-203 B		-----

**Tabla 2.7. Datos de los transformadores de la subestación SS87 de
Recuperación de Hidrógeno.**

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS87-XFR-501 A	34,5 kV	5/6,25	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS87-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS87-XFR-501 B	34,5 kV	5/6,25	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS77-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg
SS87-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS87-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS87-MCC-201 A		----
SS87-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS87-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS87-MCC-201 B		----
SS87-XFR-302 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS87-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS87-MCC-202 A		----
SS87-XFR-302 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS87-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS87-MCC-202 B		----
SS87-XFR-303 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS87-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS87-MCC-203 A		----
SS87-XFR-303 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS87-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS87-MCC-203 B		----

Tabla 2.8. Datos de los transformadores de la subestación SS88 de Recuperación de gases.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS88-XFR-501 A	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 A	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS88-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS88-XFR-501 B	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-501 B	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS88-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg
SS88-XFR-301 A	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS88-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS88-MCC-201 A		----
SS88-XFR-301 B	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS88-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS88-MCC-201 B		----
SS88-XFR-302 A	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS88-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS88-MCC-202 A		----
SS88-XFR-302 B	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS88-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS88-MCC-202 B		----

Tabla 2.9. Datos de los alimentadores en 34,5 kV desde la barra MS-SWG/MCC-501.

Código de cable	Desde barra	Tensión de red	N° de fases	Calibre (AWG)
	Hasta transformador	Potencia nominal	Cond/fase	Longitud (m)
P-SS70-XFR-501 A	MS-SWG/MCC-501 A	34500 V	3	4/0
	SS70-XFR-501 A	12,5 MVA	1	850
P-SS70-XFR-501B	MS-SWG/MCC-501B	34500 V	3	4/0
	SS70-XFR-501B	12,5 MVA	1	580

Continuación de la Tabla 2.9...

Código de cable	Desde barra	Tensión de red	Nº de fases	Calibre (AWG)
	Hasta transformador	Potencia nominal	Cond/fase	Longitud (m)
P-SS74-XFR-501 A	MS-SWG/MCC-501 A	34500 V	3	4/0
	SS74-XFR-501 A	12,5 MVA	1	1300
P-SS74-XFR-501B	MS-SWG/MCC-501B	34500 V	3	4/0
	SS74-XFR-501B	12,5 MVA	1	1300
P-SS74-XFR-502 A	MS-SWG/MCC-501 A	34500 V	3	4/0
	SS74-XFR-502 A	12,5 MVA	1	1300
P-SS74-XFR-502B	MS-SWG/MCC-501B	34500 V	3	4/0
	SS74-XFR-502B	12,5 MVA	1	1300
P-SS76-XFR-501A	MS-SWG/MCC-501A	34500 V	3	4/0
	SS76-XFR-501A	20 MVA	1	450
P-SS76-XFR-501B	MS-SWG/MCC-501B	34500 V	3	4/0
	SS76-XFR-501B	20 MVA	1	450
P-SS77-XFR-501A	MS-SWG/MCC-501A	34500 V	3	4/0
	SS77-XFR-501A	12,5 MVA	1	1200
P-SS77-XFR-501B	MS-SWG/MCC-501B	34500 V	3	4/0
	SS77-XFR-501B	12,5 MVA	1	1200
P-SS87-XFR-501A	MS-SWG/MCC-501A	34500 V	3	4/0
	SS87-XFR-501A	6,25 MVA	1	200
P-SS87-XFR-501A	MS-SWG/MCC-501A	34500 V	3	4/0
	SS87-XFR-501A	6,25 MVA	1	200
P-SS88-XFR-501A	MS-SWG/MCC-501A	34500 V	3	4/0
	SS88-XFR-501A	12,5 MVA	1	1250
P-SS88-XFR-501A	MS-SWG/MCC-501A	34500 V	3	4/0
	SS88-XFR-501A	12,5 MVA	1	1250

2.2.4. Barra MS-SWG/MCC-502 (34,5 kV).

De esta barra se derivarán los circuitos pertenecientes a las unidades ambientales de regeneración de aminas (HAR) y de recuperación de azufre (SRU), es decir, a las subestaciones SS85 y SS86, de ésta última saldrán al nivel de 4,16 kV cuatro alimentadores hacia el circuito SS83 que será el que proveerá de energía a la planta auxiliar de producción de hidrógeno (HPU).

A esta barra también estarán conectadas las unidades pertenecientes a los circuitos de utilidad (SS90-1, SS90-2 y SS89) y “offsite” (SS98-1A, SS98-1B, SS98-2A, SS98-2B y SS95) del sistema de Conversión Profunda.

Los datos mostrados desde la **Tabla 2.10** hasta la **Tabla 2.17** corresponden a los de los transformadores presentes en cada una de las subestaciones mencionadas anteriormente, y la **Tabla 2.18** contiene los datos de los alimentadores que conectan a la barra MS-SWG/MCC-502 con las unidades SS85 y SS86.

Tabla 2.10. Datos de los transformadores presentes en la unidad SS85 (Recuperación de aminas).

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS85-XFR-501 A	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	----		SS85-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS85-XFR-501 B	34,5 kV	10/12,5	7%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	----		SS85-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg

Continuación de la Tabla 2.10...

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS85-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS85-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS85-MCC-201 A		----
SS85-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS85-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS85-MCC-201 B		----
SS85-XFR-302 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS85-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS85-MCC-202 A		----
SS85-XFR-302 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS85-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS85-MCC-202 B		----

Tabla 2.11. Datos de los transformadores de la unidad SS86 de Recuperación de azufre.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS86-XFR-501 A	34,5 kV	15/20	7%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS86-SWG/MCC-301 A		400 A- 10 seg
SS86-XFR-501 B	34,5 kV	15/20	7%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ-Y	Resistor
	4,16 kV	-----		SS86-SWG/MCC-301 B		400 A- 10 seg
SS86-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS86-SWG/MCC-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS86-MCC-201 A		----
SS86-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS86-SWG/MCC-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS86-MCC-201 B		----

Tabla 2.12. Datos de los transformadores presentes en la subestación SS83-1 y SS83-2 (Planta de recuperación de Hidrogeno).

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS83-1-XFR-301 A	4,16 kV	15/20	5,75%	SS83-1-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Resistor
	0,48 kV	-----		SS83-1-MCC-201 A		400 A- 10 seg
SS83-1-XFR-301 B	4,16 kV	15/20	5,75%	SS83-1-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Resistor
	0,48 kV	-----		SS83-1-MCC-201 B		400 A- 10 seg
SS83-2-XFR-301 A	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS83-2-SWG/MCC-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS83-2-MCC-201 A		-----
SS83-2-XFR-301 B	4,16 kV	2/2,3	5,75%	SS83-2-SWG/MCC-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	-----		SS83-2-MCC-201 B		-----

Tabla 2.13. Datos de los transformadores de la subestación SS90-1.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS90-1-XFR-501 A	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS90-1-SWG-301 A		400 A- 10 seg
SS90-1-XFR-501 B	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS90-1-SWG-301 B		400 A- 10 seg
SS90-1-XFR-301 A	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS90-1-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS90-1-SWG-201 A		-----
SS90-1-XFR-301 B	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS90-1-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS90-1-SWG-201 B		-----

Continuación de la Tabla 2.13...

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS90-1-XFR-302 E	4,16 kV	0,3	5,75%	SS90-1-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS90-1-MCC-201 E		----
SS90-1-XFR-303 E	4,16 kV	0,3	5,75%	SS90-1-SWG-301 E	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS90-1-SWG-201 E		----
SS90-2-XFR-301 A	4,16 kV	1	5,75%	SS90-1-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS90-2-SWG-201 A		----
SS90-2-XFR-301 B	4,16 kV	1	5,75%	SS90-1-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS90-2-SWG-201 B		----
SS90-1-XFR-502 A	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS90-1-SWG-302 A		400 A- 10 seg
SS90-1-XFR-502 B	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS90-1-SWG-302 B		400 A- 10 seg
SS90-1-XFR-303 A	4,16 kV	1,5	5,75%	SS90-1-SWG-302 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS90-1-SWG-202 A		----
SS90-1-XFR-303 B	4,16 kV	1,5	5,75%	SS90-1-SWG-302 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS90-1-SWG-202 B		----
SS89-XFR-301 A	4,16 kV	1,5	5,75%	SS90-1-SWG-302 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS89-SWG-201 A		----
SS89-XFR-301 B	4,16 kV	1,5	5,75%	SS90-1-SWG-302 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS89-SWG-201 B		----
SS89-XFR-302 E	4,16 kV	0,3	5,75%	SS90-1-SWG-302 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS89-MCC-201 E		----
SS89-XFR-303 E	4,16 kV	0,3	5,75%	SS90-1-SWG-302 E	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS89-MCC-201 E		----

Tabla 2.14. Datos de los transformadores de la subestación SS98-1A.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS98-1A-XFR-501 A	34,5 kV	2,5/3,125	5,5%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-1A-SWG-301 A		400 A- 10 seg
SS98-1A-XFR-501 B	34,5 kV	2,5/3,125	5,5%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-1A-SWG-301 B		400 A- 10 seg
SS98-1A-XFR-301 A	4,16 kV	1,5	5,75	SS98-1A-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN	%	SS98-1A-SWG-201 A		----
SS98-1A-XFR-301 B	4,16 kV	1,5	5,75	SS98-1A-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN	%	SS98-1A-SWG-201 B		----

Tabla 2.15. Datos de los transformadores de la subestación SS98-1B.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS98-1B-XFR-501 A	34,5 kV	5/6,25	5,5%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-1B-SWG-301 A		400 A- 10 seg
SS98-1B-XFR-501 B	34,5 kV	5/6,25	5,5%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-1B-SWG-301 B		400 A- 10 seg
SS98-1B-XFR-301 A	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS98-1B-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS98-1B-MCC-201 A		----
SS98-1B-XFR-301 B	4,16 kV	1/1,5	5,75%	SS98-1B-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS98-1B-SWG-201 B		----
SS98-1C-XFR-301 A	4,16 kV	1	5,75%	SS98-1B-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS98-1C-SWG-201 A		----
SS98-1C-XFR-301 B	4,16 kV	1	5,75%	SS98-1B-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS98-1C-SWG-201 B		----

Tabla 2.16. Datos de los transformadores de la subestación SS98-2A.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS98-2A-XFR-501 A	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-2A-SWG-301 A		400 A- 10 seg
SS98-2A-XFR-501 B	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-2A-SWG-301 B		400 A- 10 seg
SS98-2A-XFR-301 A	4,16 kV	1,5/1,725	5,75%	SS98-2A-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS98-2A-SWG-201 A		----
SS98-2A-XFR-301 B	4,16 kV	1,5/1,725	5,75%	SS98-2A-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS98-2A-SWG-201 B		----
SS95-XFR-301 A	4,16 kV	1,5	5,75%	SS95-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS95-SWG-201 A		----
SS95-XFR-301 B	4,16 kV	1,5	5,75%	SS95-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS95-SWG-201 B		----
SS95-XFR-302 A	4,16 kV	1,5	5,75%	SS95-SWG-301 A	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS95-SWG-202 A		----
SS95-XFR-302 B	4,16 kV	1,5	5,75%	SS95-SWG-301 B	Δ -Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN		SS95-SWG-202 B		----

Tabla 2.17. Datos de los transformadores presentes en la subestación SS98-2B.

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS98-2B-XFR-501 A	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 A	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-2B-SWG-301 A		400 A- 10 seg
SS98-2B-XFR-501 B	34,5 kV	15/20	5,5%	MS-SWG/MCC-502 B	Δ -Y	Resistor
	4,16 kV	ONAN/ONAF		SS98-2B-SWG-301 B		400 A- 10 seg

Continuación de la Tabla 2.17...

ID	Alta	Potencia MVA	%Z	Desde	Conexión	Conexión a tierra
	Baja	Enfriamiento		Hasta		Amp
SS98-2B-XFR-301 A	4,16 kV	1,5/1,725	5,75%	SS98-2B-SWG-301 A	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS98-2B-SWG-201 A		----
SS98-2B-XFR-301 B	4,16 kV	1,5/1,725	5,75%	SS98-2B-SWG-301 B	Δ-Y	Sólido
	0,48 kV	ONAN/ONAF		SS98-2B-SWG-201 B		----

Tabla 2.18. Datos de los alimentadores en 34,5 kV desde la barra MS-SWG/MCC-502 hasta las unidades SS85 y SS86.

Código de cable	Desde barra	Tensión de red	Nº de fases	Calibre (AWG)
	Hasta transformador	Potencia nominal	Cond/fase	Longitud (m)
P-SS85-XFR-501A	MS-SWG/MCC-502A	34500 V	3	4/0
	SS85-XFR-501A	12,5 MVA	1	1050
P-SS85-XFR-501B	MS-SWG/MCC-502B	34500 V	3	4/0
	SS85-XFR-501B	12,5 MVA	1	1050
P-SS86-XFR-501A	MS-SWG/MCC-502A	34500 V	3	4/0
	SS86-XFR-501A	12,5 MVA	1	1250
P-SS86-XFR-501B	MS-SWG/MCC-502B	34500 V	3	500
	SS86-XFR-501B	12,5 MVA	1	1250

2.2.5. Carga eléctrica máxima estimada.

Conversión Profunda estará conformada en su mayoría por centros de control de motores de alta, media y baja potencia cuya finalidad será alimentar cargas como bombas, ventiladores y compresores. Así como también circuitos auxiliares de alto

voltaje. Estas cargas conformarán una capacidad máxima instalada de aproximadamente 220 MW.

2.2.6. Sistema de distribución asociado a Conversión Profunda.

Con motivo de incrementar la confiabilidad y disponibilidad de energía eléctrica de la región Oriental y de proveer la demanda de los nuevos desarrollos de la Refinería Puerto La Cruz (actualmente Conversión Profunda), se construirá una subestación encapsulada en SF6 (GIS) a un nivel de 230 kV, la cual permitirá la interconexión entre la planta de generación “Alberto Lovera” (PAL), Guanta II, VALCOR-RPLC y Conversión Profunda por medio de líneas de transmisión y cables. Las interconexiones a través de la S/E GIS se observan en la **figura 2.5**.

Para el estudio se consideró una simplificación del Sistema Eléctrico Nacional partiendo de la subestación Guanta II; ya que, a través de ésta el sistema eléctrico en estudio obtiene parte de la alimentación; hasta las subestaciones San Gerónimo, El Tigre I y El Furrrial, desde las que fue colocada la barra infinita o fuente de suministro tal como se muestra en la **figura 2.6**.

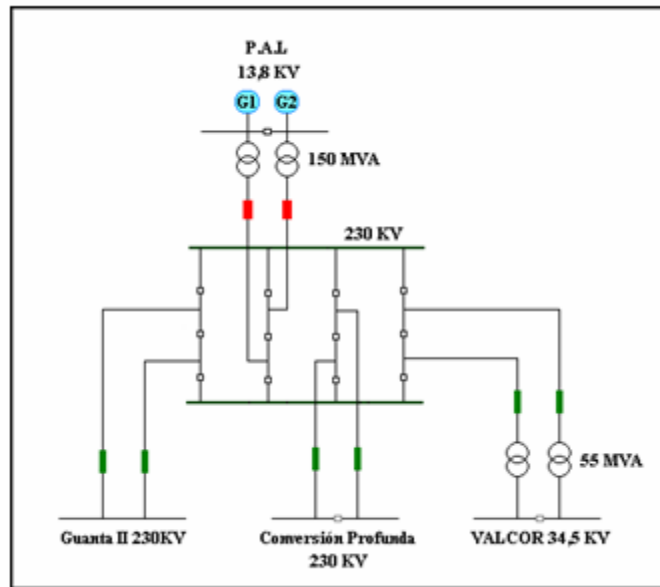


Figura 2.5. Sistema de distribución a través de la S/E GIS.

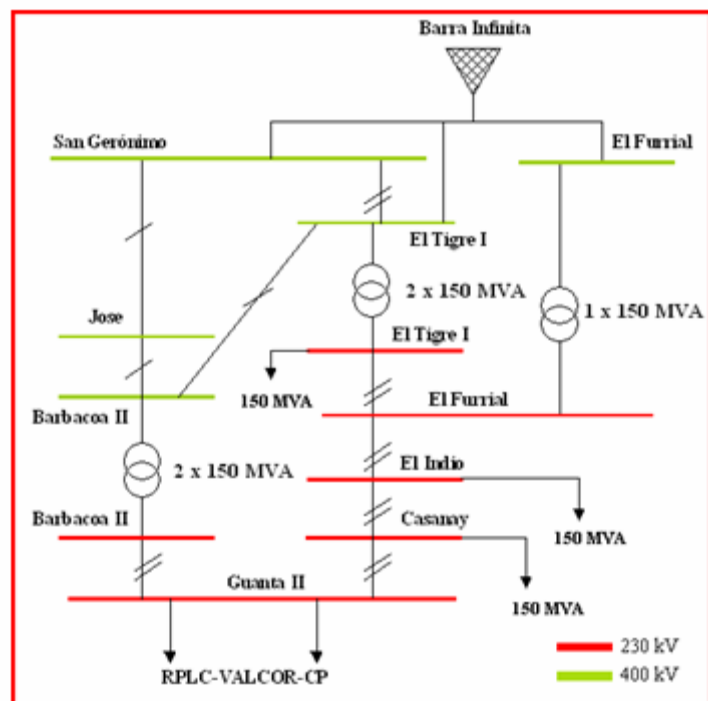


Figura 2.6. Sistema Eléctrico Nacional simplificado.

Los datos de las subestaciones, autotransformadores y de la barra infinita se indican en las **tablas 2.18, 2.19 y 2.20** respectivamente, y los de las líneas de transmisión y cables presentes en todo el sistema de distribución se muestran en la **tabla 2.21**; los cuales fueron suministrados por la empresa de energía eléctrica CADAFE.

La planta de generación “Alberto Lovera” estará conformada por dos turbogeneradores de 150 MW cada uno, sumando un total de 300 MW, éstos operarán con un sistema dual, utilizando gas natural como fuente primaria y diesel como combustible alternativo con la finalidad de suministrar energía a los sectores urbanos y a los circuitos de Conversión Profunda, ésta última con una carga máxima de aproximadamente 220 MW. La **tabla 2.22** muestra en forma resumida las características técnicas de éstos generadores.

En el caso de VALCOR-RPLC solo se tomó en cuenta un esquema simplificado de su sistema eléctrico el cual contempla la totalidad de carga conectada actualmente (**39 MW**) en una barra seccionada por medio de un interruptor normalmente abierto. Además se simuló considerando la nueva conexión con la subestación GIS.

Tabla 2.19. Tensiones de las subestaciones del S.E.N.

Nombre de la S/E	Tensión (kV)	
	Nominal	Operación
Furrial	400	400
El Tigre II	400	398
Jose	400	400
San Gerónimo	400	412,92

Barbacoa II	400	400
Barbacoa II	230	230
Tigre I	230	231,679
El Indio	230	218,272

Continuación de la Tabla 2.19...

Nombre de la S/E	Tensión (kV)	
	Nominal	Operación
Casanay	230	217,70
Guanta II	230	218,5
El Furrial	230	230

Tabla 2.20. Datos de los transformadores del S.E.N.

DESDE S/E	HASTA S/E	POTENCIA (MVA)	TENSIÓN (KV)		%Z
			PRIMARIO	SECUNDARIO	
Barbacoa II 400	Barbacoa II 230	2 x 450	400,00	230,00	4,95
El Tigre I 400	El Tigre I 230	2 x 450	400,00	230,00	5,13
Furrial 400	Furrial 230	1 x 450	400,00	230,00	5,00

Tabla 2.21. Datos de la fuente de suministro.

Identificación S/E conectadas	Tensión KV	Cortocircuito trifásico			Cortocircuito monofásico			MODO
		MVAsc	KAsc	X/R	MVAsc	KAsc	X/R	Conexión
Guri A	400	2007	2,897	15,2	969	1,399	15,2	SWING
San Gerónimo								Estrella
El Tigre I								
El Furrial								

Tabla 2.22. Datos de las líneas de transmisión entre las subestaciones del sistema eléctrico en estudio.

Desde	Línea	Longitud (km)	Circuitos	Impedancia (ohm/km)						Corriente nominal (KA)
				Secuencia positiva			Secuencia cero			
				R	X	Y	R ₀	X ₀	Y ₀	
El Tigre I 400	L1	210	1	0,0331	0,3896	4,357	0,131	0,865	3,229	1,806
S. Gerónimo 400	L2		1	0,0309	0,3921	4,300	0,132	0,895	3,024	1,768
S. Gerónimo 400	L1	165	1	0,0290	0,3817	4,382	0,081	1,183	3,067	2,245
Jose 400										
Barbacoa II 400	L1	35	1	0,0305	0,3836	4,350	0,325	1,034	2,998	0,751
Jose 400										
El Tigre I 400	L1	145	1	0,0342	0,4149	4,252	0,326	1,213	1,938	0,765
Barbacoa II 400										
Barbacoa II 230	L1	32	2	0,0688	0,4748	3,535	0,402	1,406	3,762	2,005
Guanta II 230										
El Indio 230	L1	109	1	0,0629	0,4732	3,550	0,339	1,512	2,350	0,501
Casanay 230	L2		1							
Guanta II 230	L1	60	1	0,0569	0,5248	3,400	0,447	1,459	2,200	2,005
Casanay 230			1							
El Indio 230	L1	36	1	0,0629	0,4732	3,550	0,339	1,512	2,35	0,751
El Furrial 230	L2		1							
El Furrial 230	L1	134	1	0,0629	0,4732	3,550	0,339	1,512	2,35	0,751
El Tigre I 230	L2		1							
PAL (GIS)	L1	2	1	0,0339	0,4169	3,100	0,4715	1,2188	1,9	2,005
Conversión Profunda	L2		1							
PAL (GIS)	L1	1	1	0,0339	0,4169	3,100	0,4715	1,2188	1,9	2,005
VALCOR	L2		1							

Tabla 2.23. Características técnicas de los generadores de la planta de generación Alberto Lovera.

Nombre	Tipo	Voltaje	Fases	F.P	Xd''	Conexión a neutro
		Capacidad	F.L.A	Frecuencia	R.P.M	Amp
TG-1 (Turbogenerador 1)	Dual	13,8 kV	3	85%	17,5	Y-Resistor
	Gas/Diesel	150 MW	7383 Amp	60 Hz	3600	400 A- 10 seg
TG-2 (Turbogenerador 2)	Dual	13,8 kV	3	85%	17,5	Y-Resistor
	Gas/Diesel	150 MW	7383 Amp	60 Hz	3600	400 A- 10 seg

CAPÍTULO III

ANÁLISIS DE FLUJO DE CARGA

Bajo condiciones normales de funcionamiento, los sistemas eléctricos de transmisión operan en estado estable, y el cálculo básico que se requiere para determinar las características de este estado es llamado *flujo de carga*.

El objetivo del flujo de carga es determinar las características de estado estable de operación del sistema de generación y transmisión de potencia para un dado conjunto de cargas en las barras. La potencia activa es normalmente especificada de acuerdo a las prácticas de despacho económico y la magnitud de tensión del generador es normalmente mantenida a un nivel especificado por los reguladores automáticos actuando en la excitatriz de la máquina. Las cargas son normalmente especificadas por sus constantes de potencia activa y reactiva requeridas, asumiéndose invariables para pequeños cambios de tensión y frecuencia durante la operación normal del estado estable [1].

El análisis de flujo de potencia (flujo de carga) permite obtener la magnitud y ángulo de fase del voltaje en cada barra y las potencias real y reactiva que fluyen en cada línea de transmisión [2]. Estos cálculos se requieren para el análisis de estado estable así como para el comportamiento dinámico de los sistemas de potencia [3].

Estos estudios son fundamentales en el análisis y la programación del futuro desarrollo de sistemas de potencia eléctrica; ya que permiten determinar las nuevas condiciones de funcionamiento en caso de interconexión con otras redes, crecimiento de la carga, instalación de nuevas centrales generadoras, instalación de nuevas líneas de transmisión, entre otras; antes de que estas modificaciones se produzcan [4].

3.1. Modelo Matemático.

La ecuación de una red de n barras en términos de la matriz admitancia es:

$$\begin{bmatrix} \overline{I}_1 \\ \overline{I}_2 \\ \vdots \\ \overline{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{V}_1 \\ \overline{V}_2 \\ \vdots \\ \overline{V}_n \end{bmatrix} \quad \text{Ec-3.1}$$

Donde;

n es el número total de barras.

Y_{ii} es la admitancia propia de la barra i (suma de las admitancias que terminan en la barra i).

Y_{ij} es la admitancia mutua entre la barra i y j (negativo de la suma de todas las admitancias entre las barras i y j).

\overline{V}_i es el fasor del voltaje a tierra en la barra i .

\overline{I}_i es el fasor de corriente que fluye en la red a la barra i .

Se puede escribir la ecuación 3.1 como una sumatoria:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad \text{Ec-3.2}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Además en cada nodo debe cumplirse que la potencia compleja neta inyectada sea igual a la diferencia entre la potencia generada y la potencia consumida por la carga en dicho nodo, tal como se expresa en la ecuación 3.3 [5].

$$S_i = S_{G_i} - S_{C_i} = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad \text{Ec-3.3}$$

Al sustituir las ecuaciones 3.2 en la ecuación 3.3, se obtiene:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \left(\sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \right)^* \quad \text{Ec-3.4}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij}^* V_j^* \quad \text{Ec-3.5}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Al expresar la admitancia en términos de sus partes real e imaginaria $Y = G + jB$ la ecuación anterior se convierte en:

$$P_i + jQ_i = V_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij}) V_j^* \quad \text{Ec-3.6}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

La ecuación 3.6 no puede ser utilizada para trabajar con los métodos iterativos que se describirán mas adelante, debido a que las variables conjugadas impiden llevar a cabo derivadas complejas. Por lo tanto, se requiere separar las ecuaciones en 2n ecuaciones reales, expresando las tensiones en coordenadas polares $V \angle \theta$, quedando de la siguiente forma [5]:

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sen \theta_{ij}) \quad \text{Ec-3.7}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad \text{Ec-3.8}$$

$$i=1,2,\dots,n$$

De las ecuaciones 3.7 y 3.8 se puede apreciar que cada nodo aporta dos ecuaciones y cuatro incógnitas, por lo que se hace necesario especificar en cada nodo dos incógnitas para que las ecuaciones anteriores puedan tener una solución.

3.2. Tipos de Barras.

Cuatro cantidades potencialmente desconocidas que se asocian con cada barra i son P_i , Q_i , el ángulo del voltaje θ_i y la magnitud del voltaje $|V_i|$. La práctica general en los estudios de flujo de potencia es la de identificar tres tipos de barras en la red. En cada barra se especifican dos de las cuatro cantidades mencionadas anteriormente y se calculan las dos restantes. Las cantidades especificadas se seleccionan de acuerdo con el siguiente análisis [2]:

3.2.1. Barra Slack.

También llamada *barra de compensación* es aquella que se especifica por un voltaje constante en magnitud y ángulo. En este nodo, normalmente seleccionado como aquel en donde se encuentre conectado el generador de mayor capacidad en el sistema, proporciona las pérdidas de la red; por cuanto estas no se conocen hasta que se hayan calculado todas las potencias. El ángulo particular que se asigne al voltaje de la barra de compensación no es de importancia porque las diferencias voltaje – ángulo determinan los valores calculados de P_i y Q_i . La práctica común es seleccionar a $\theta_i = 0^\circ$ y a $|V_i| = 1.0$ p.u [2].

3.2.2. Barra PV o de Voltaje Controlado.

Cualquier barra del sistema en la que se mantiene constante la magnitud de voltaje se llama de *voltaje controlado*. En las barras en las que hay un generador conectado se puede controlar la generación de megawatts por medio del ajuste de la fuente de energía mecánica y la magnitud del voltaje al ajustar la excitación del generador. Por lo tanto, en cada barra con generador, se pueden especificar apropiadamente P_{gi} y $|V_i|$. Por razones obvias, a una barra de generación generalmente se le llama de voltaje controlado o barra PV. Ciertas barras sin generadores pueden tener la capacidad de controlar el voltaje; por ejemplo, barras con capacitancia y/o reactancias. Tales barras se conocen también como de voltaje controlado y la potencia real que generan es simplemente cero [2].

3.2.3. Barra PQ o de Carga.

En esta barra la potencia total inyectada $P_i + j Q_i$, es especificada. En un sistema de potencia corresponde a un centro de consumo de carga, como una unidad o una industria, donde la potencia demandada está determinada por los requerimientos de los consumidores. Tanto P_i como Q_i se suponen invariables con pequeñas alteraciones de la tensión en la barra.

Las magnitudes y los ángulos que no se especificaron en los datos de entrada del estudio de flujos de potencia se llaman *variables de estado* o *variables dependientes*, porque sus valores (que describen el estado del sistema) dependen de las cantidades especificadas en todas las barras. Por lo tanto, como se mencionó anteriormente, el problema de los flujos de carga consiste en determinar los valores para todas las variables de estado (incógnitas), resolviendo un número igual de

ecuaciones de flujos de potencia que se basan en las especificaciones de los datos de entrada [2].

3.3. Métodos para la solución del Flujo de Potencia.

El problema de Flujo de Carga es un problema matemático, consiste en la solución de un sistema de ecuaciones simultaneas con “N” ecuaciones e igual número de incógnitas. El desarrollo puede ser lineal o no lineal, dependiendo de su planteamiento.

Si los modelos implementados son lineales, la solución inequívocamente será la que corresponde a métodos lineales o directos tales como:

- Método de Gauss.
- Método de Gauss- Jordan
- Método de Jacobi
- Triangulación L
- Triangulacion LU
- Triangulación LDU

O métodos iterativos lineales tales como:

- El método de Gauss Seidel para la Solución del Problema de Flujo de Carga

Si los modelos implementados son NO LINEALES, la solución del problema radica en la evaluación de un sistema de ecuaciones simultáneas NO LINEALES, de igual número de ecuaciones “N” e incógnitas. La solución para este tipo de

planteamiento es definitivamente el método iterativo de Newton Raphson y sus variantes tales como se indica a continuación.

- El Método de Newton-Raphson.
- El Método Desacoplado de Newton- Raphson.
- Simplificaciones Tinney para la Solución del Problema
- El Método Desacoplado del Dr Brian Stott

Para la solución del problema de flujos de potencia se pueden crear igual cantidad de ecuaciones como incógnitas haya, sin embargo, para sistemas con gran número de barras este procedimiento se hace muy difícil, por lo que, se emplean soluciones digitales de flujo de potencia las cuales siguen un proceso iterativo al asignar valores estimados a los voltajes de barra desconocidos y calcular nuevos valores para nuevos voltajes de barra, a partir de los estimados en las otras barras y de las potencias real y reactivas especificadas.

Los métodos que pueden ser utilizados por el software ETAP son Gauss-Seidel, Newton Raphson y Desacoplado, sin embargo, se seleccionó el de Newton Raphson que será explicado a continuación:

3.3.1. Método de Newton Raphson.

El método de Newton-Raphson para la solución del problema de flujo de carga fue descrito por Van Nes en el año de 1961. Se comparó este método con el de Gauss-Seidel, y las pruebas realizadas demostraron que el método de Newton-Raphson converge en menor número de iteraciones, pero se necesita una capacidad adicional de memoria para el almacenamiento de la matriz jacobiana respecto a la

necesitada en el almacenamiento de la matriz admitancia nodal del método Gauss-Seidel [6].

El método de Newton-Raphson es un algoritmo iterativo utilizado para resolver sistemas de n ecuaciones no lineales con igual número de variables desconocidas. La expansión en serie de Taylor para una función $F(x)$ de dos o mas variables es la base de este método para resolver el problema de flujos de potencia. El método requiere que para comenzar se deben considerar aproximaciones iniciales de la solución, las cuales no son soluciones reales, por lo tanto, para llegar a las soluciones correctas se deben designar las correcciones ΔX^P [1,2].

Las soluciones para ΔX^P se encuentran al expandir la función en series de Taylor alrededor de la solución supuesta. Las derivadas parciales de orden mayor que las obtenidas de la expansión no se toman en cuenta, lo cual permite escribir las ecuaciones en forma matricial resultando una ecuación de la siguiente forma [5]:

$$F(x)^{(P-1)} = -J(x^{(P-1)})\Delta X^P \quad \text{Ec-3.9}$$

Donde P denota el ciclo de interacción. J llega a ser una matriz cuadrada cuyos elementos son las derivadas parciales de primer orden de la función $F(x)$ con respecto a cada uno de los elementos del vector x . La matriz J es llamada jacobiano de la función F , definida entonces por:

$$J = - \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial x_1} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial x_n} \end{bmatrix} \quad \text{Ec-3.10}$$

3.3.1.1. Aplicación del método de Newton-Raphson a sistemas de potencia.

Relaciones lineales son obtenidas para pequeñas variaciones de las variables θ y V formando el diferencial total de las expresiones 3.7 y 3.8.

Las ecuaciones para una barra PQ son:

$$\Delta P_i (P_i \text{ especificada da} - P_i \text{ calculada}) = \sum_{j=1}^n \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} \Delta \theta_j + \sum_{j=1}^N \frac{\partial P_i}{\partial V_j} \Delta V_j \quad \text{Ec-3.11}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

y

$$\Delta Q_i (Q_i \text{ especificada da} - Q_i \text{ calculada}) = \sum_{j=1}^N \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} \Delta \theta_j + \sum_{j=1}^N \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} \Delta V_j \quad \text{Ec-3.12}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

Para una barra PV solamente se usa la ecuación 3.11, ya que Q_i no es especificada (solamente se escriben ecuaciones en ΔP). Para las barras PQ se escriben ecuaciones en ΔP y ΔQ . Para la barra slack no hay ecuaciones.

En las barras PV y Slack la magnitud de la tensión para las ecuaciones 3.11 y 3.12 no son variables, son datos del problema, así como el ángulo en la barra slack.

En resumen, el conjunto completo de ecuaciones 3.11 y 3.12 comprende dos ecuaciones por cada barra PQ y una por cada barra PV. Las incógnitas son V y θ para cada barra PQ y para cada barra PV, θ y Q . En consecuencia, el sistema de ecuaciones formado tiene igual cantidad de ecuaciones que incógnitas.

El algoritmo de la ecuación 3.9, aplicado al sistema n – dimensional formado con las ecuaciones 3.11 y 3.12, queda establecido entonces como:

$$\begin{bmatrix} \Delta P_i \\ \Delta Q_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H & N \\ R & M \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \Delta \theta \\ \frac{\Delta V}{V} \end{bmatrix} \quad \text{Ec-3.13}$$

Donde,

ΔP vector de desbalance entre la Potencia activa especificada y la calculada para todas las barras PQ y PV.

ΔQ vector de desbalance entre la Potencia reactiva especificada y la calculada para todas las barras PQ.

$\Delta \theta$ vector de correcciones del ángulo de voltaje para todas las barras PQ y PV

ΔV vector de correcciones de magnitud de voltaje para todas las barras PQ

$\Delta V / V$ vector cuyas componentes provienen de la división de cada $\Delta V_i(x)$ por su correspondiente $V_i(x)$.

Los elementos de las submatrices H , N , R , M del jacobiano, para las barras i y j son:

Para $j \neq i$

$$H_{ij} = \frac{\partial P_i}{\partial \theta_j} = V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad \text{Ec-3.14}$$

$$N_{ij} = V_j \frac{\partial P_i}{\partial V_j} = V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad \text{Ec-3.15}$$

$$R_{ij} = \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_j} = -V_i V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad \text{Ec-3.16}$$

$$M_{ij} = V_j \frac{\partial Q_i}{\partial V_j} = V_i V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} - B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad \text{Ec-3.17}$$

y para $j = i$

$$H_{ii} = \frac{\partial P_i}{\partial \theta_i} = -Q_i - B_{ii}V_i^2 \quad \text{Ec-3.18}$$

$$N_{ii} = V_i \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = -P_i + G_{ii}V_i^2 \quad \text{Ec-3.19}$$

$$R_{ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial \theta_i} = P_i + G_{ii}V_i^2 \quad \text{Ec-3.20}$$

$$M_{ii} = V_i \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = Q_i - B_{ii}V_i^2 \quad \text{Ec-3.21}$$

3.4. Estudio de Flujo de Carga de Conversión Profunda.

La inclusión de la nueva planta de Conversión Profunda en la Refinería Puerto La Cruz representará un gran impacto debido a que será adicionado un nuevo sistema eléctrico, el cual deberá alimentar una carga de aproximadamente 220 MW.

Actualmente dicho sistema eléctrico está en una etapa de diseño, específicamente en ingeniería básica, por lo que es necesario realizar un estudio que permita calcular el impacto que éste tendrá, evaluando los niveles de tensión, las potencias generadas y las de carga dentro del mismo.

Para resolver el problema del flujo de carga, ha sido empleado el software computacional ETAP, el cual requiere la definición de los tipos de barras asignadas y del método a utilizar. Para este caso, se definió como “barra slack” a la barra infinita o fuente de suministro proveniente del Sistema Eléctrico Nacional de manera que controle el voltaje y el ángulo de fase, como “barra PV o de voltaje controlado” a las barras donde se encuentren conectados los generadores y/o compensadores y por

último, las “barras de carga o PQ” correspondientes al sistema eléctrico de Conversión Profunda. Por otra parte, el método iterativo seleccionado ha sido el método no lineal de Newton Raphson.

Cabe destacar que en el estudio realizado no fueron considerados los calibres de los alimentadores en los niveles de tensión 230 kV, 34,5 kV (solo en los circuitos “utility”), 13,8 kV y 4,16 kV debido a que no fueron suministrados por la empresa consultora, razón por la cual los resultados aquí mostrados son preliminares, tomando en cuenta que la impedancia de los cables más la longitud que estos tengan aumenta la caída de tensión en las barras. Además, no se conocen los factores de diversidad de todas las cargas, por lo que se ha supuesto que todas se encuentren en funcionamiento, siendo esta condición poco realista, sin embargo, de esta forma se puede garantizar que los resultados obtenidos son conservadores. Se tomó como referencia la capacidad en MVA de los transformadores de 4,16/0,48 kV en los circuitos de procesos, para simular las cargas en las barras al nivel de 480 V debido a que éstas últimas también se desconocen.

Para los análisis se han tomado en cuenta los niveles de tensión máximos y mínimos permitidos por la norma **ANSI C84.1-1989**, los cuales se muestran en la **tabla 3.1**.

Tabla 3.1. Voltajes nominales estándar y rangos de voltaje.

Voltaje nominal (KV)	Condiciones normales RANGO A				Contingencia RANGO B			
	Máximo		Mínimo		Máximo		Mínimo	
	KV	%ΔV	KV	%ΔV	KV	%ΔV	KV	%ΔV
0,48	0,504	5%	0,456	-5%	0,508	5,83%	0,440	-8,33%
4,16	4,37	5,05%	4,05	-2,64%	4,4	5,77%	3,95	-5,05%
13,8	14,49	5%	13,46	-2,46%	14,52	5,22%	13,11	-5%
34,5	36,23	5%	33,64	-2,5%	36,51	5,8%	32,78	-5%
230	242	5%	218,5	-5%				

Para el desarrollo de este estudio se han planteado diferentes escenarios que comprenden desde el funcionamiento del sistema en condiciones normales de operación hasta situaciones de contingencia; tal como se indica a continuación:

3.4.1. Escenario 1: Condiciones Normales de Operación.

- Dos generadores PAL conectados en 150 MW / 93 MVAR cada uno.
- Dos interconectores Guanta II / Barbacoas II.
- Doble interconexión con Conversión Profunda.
- Toda la carga conectada en Conversión Profunda. (220 MW)
- Toda la Carga VALCOR conectada (40 MW)

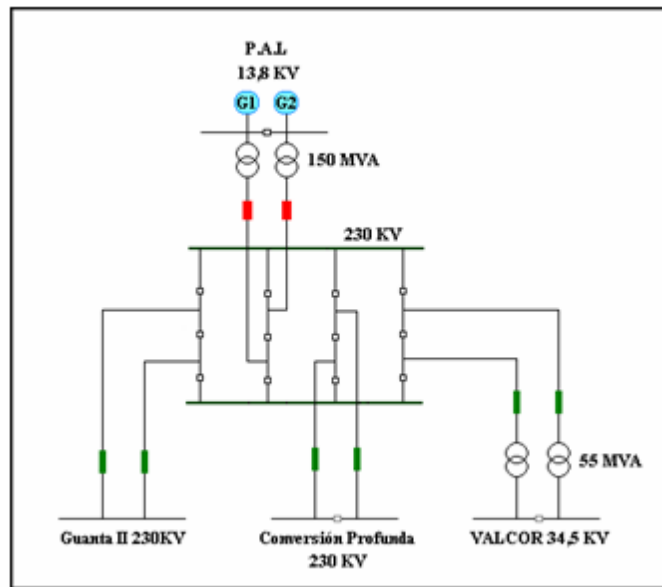


Figura 3.1. Diagrama unifilar del sistema eléctrico en estudio para el Escenario #1.

Conversión Profunda tendrá interconexión a través de la GIS con el Sistema Eléctrico Nacional y la Planta Alberto Lovera. Se tomó como **primera condición** el funcionamiento del sistema con el tap de los transformadores en toma central manual y como **segunda condición** un cambio en la posición de los taps de los transformadores para corregir niveles de tensión fuera de los límites. El cambiador de tomas de los transformadores de Barbacoa II, El Tigre I, El Furrrial y de P.A.L fueron colocados en modo automático.

3.4.1.1. Escenario 1-A: Con tap central en las subestaciones de procesos y “utility” de Conversión Profunda.

- Transformadores PAL (13,8 KV/230 kV): 1,875% del tap.
- Transformadores Barbacoa II (230 KV/400 kV): -2,5% del tap.
- Transformadores El Tigre I (230 KV/400 kV): 0% del tap.

- Transformador El Furrial (230 KV/400 kV): 0% del tap.
- Transformadores de VALCOR (230 KV/34,5 kV): -3,125% del tap.
- Transformadores Conversión Profunda: 0% del tap.

3.4.1.1.1. Resumen de los Resultados Obtenidos.

Los resultados obtenidos en esta primera condición se encuentran plasmados desde la **tabla 3.2** hasta la **tabla 3.18**, y muestran las potencias en cada una de las barras del sistema eléctrico de Conversión Profunda desde la barra principal de 230 kV hasta aguas abajo al nivel de 480 V.

Tabla 3.2. Resultados del Flujo de carga en las diferentes subestaciones del sistema (Escenario 1-A).

S/E		Tensión		Ángulo (Grados)	Potencia entregada		Potencia recibida		%ΔV
		kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
Planta Alberto Lovera	Gen 1	13,8	1	2,98	150	17,263	0,000	0,000	0%
	Gen 2	13,8	1	2,98	150	17,263	0,000	0,000	0%
Guanta II		230,503	1,002	-1,3	100,814	35,456	101,814	21,255	0,2%
Conversión Profunda		229,605	0,998	-1,2	0,000	0,000	218,51	62,098	-0,17%
VALCOR		34,526	1,001	-3,1	0,000	0,000	39,112	24,24	0,1%

Tabla 3.3. Resultados de flujo de carga en las barras principales de Conversión Profunda (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
MS-SWG-601 "A"	229,605	1,002	-0,6	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,2%
MS-SWG-601 "B"	229,605	1,002	-1,2	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,2%

MS-SWG/MCC-501 "A"	33,413	0,968	-3,7	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,2%
MS-SWG/MCC-501 "B"	33,403	0,968	-3,8	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,2%
MS-SWG/MCC-502 "A"	33,388	0,968	-3,7	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,2%
MS-SWG/MCC-502 "B"	33,371	0,967	-3,7	0,000	0,000	0,000	0,000	-3,3%
MS-SWG/MCC-401 "A"	14,194	1,029	-4,4	0,000	0,000	26,350	-16,330	2,9%
MS-SWG/MCC-401 "B"	13,993	1,014	-2,8	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,4%
MS-SWG/MCC-402 "A"	14,084	1,021	-3,5	0,000	0,000	19,175	-11,884	2,1%
MS-SWG/MCC-402 "B"	13,991	1,014	-2,8	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,4%

Tabla 3.4. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS70 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS70-SWG/MCC-301 "A"	3,938	0,947	-5,4	0,000	0,000	2,361	1,313	-5,3%
SS70-SWG/MCC-301 "B"	3,942	0,948	-5,4	0,000	0,000	2,245	1,243	-5,2%
SS70-MCC-201 "A"	0,445	0,927	-6,8	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,3%
SS70-MCC-201 "B"	0,445	0,927	-6,8	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,3%
SS70-MCC-202 "A"	0,445	0,927	-6,8	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,3%
SS70-MCC-202 "B"	0,445	0,927	-6,8	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,3%

Tabla 3.5. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS74 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS74-SWG/MCC-301 "A"	3,953	0,950	-5,2	0,000	0,000	2,537	1,379	-5,0%

SS74-SWG/MCC-301 "B"	3,945	0,948	-5,5	0,000	0,000	3,101	1,505	-5,2%
SS74-MCC-201 "A"	0,447	0,931	-6,5	0,000	0,000	0,827	0,513	-6,8%
SS74-MCC-201 "B"	0,446	0,929	-6,9	0,000	0,000	0,827	0,512	-7,1%
SS74-SWG/MCC-302 "A"	3,947	0,949	-5,3	0,000	0,000	2,798	1,522	-5,1%
SS74-SWG/MCC-302 "B"	3,948	0,949	-5,3	0,000	0,000	2,681	1,468	-5,1%
SS74-MCC-202 "A"	0,446	0,929	-6,7	0,000	0,000	0,827	0,512	-7,1%
SS74-MCC-202 "B"	0,446	0,929	-6,7	0,000	0,000	0,827	0,512	-7,1%

Tabla 3.6. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS76 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS76-SWG/MCC-301 "A"	3,931	0,945	-5,8	0,000	0,000	5,615	3,025	-5,5%
SS76-SWG/MCC-301 "B"	3,923	0,943	-6,0	0,000	0,000	6,129	3,283	-5,7%
SS76-MCC-201 "A"	0,444	0,925	-7,2	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,5%
SS76-MCC-201 "B"	0,443	0,923	-7,4	0,000	0,000	0,825	0,511	-7,7%
SS76-MCC-202 "A"	0,444	0,925	-7,2	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,5%
SS76-MCC-202 "B"	0,443	0,923	-7,4	0,000	0,000	0,825	0,511	-7,7%
SS76-SWG/MCC-302 "A"	3,931	0,945	-5,8	0,000	0,000	5,615	3,025	-5,5%
SS76-SWG/MCC-302 "B"	3,938	0,947	-5,6	0,000	0,000	4,935	2,660	-5,3%
SS76-MCC-203 "A"	0,444	0,925	-7,2	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,5%
SS76-MCC-203 "B"	0,445	0,927	-7,0	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,3%
SS76-MCC-204 "A"	0,444	0,925	-7,2	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,5%
SS76-MCC-204 "B"	0,445	0,927	-7,0	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,3%

Tabla 3.7. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS77 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS77-SWG/MCC-301 "A"	3,919	0,942	-5,7	0,000	0,000	2,041	1,161	-5,8%

SS77-SWG/MCC-301 "B"	3,904	0,938	-5,9	0,000	0,000	2,606	1,473	-6,2%
SS77-MCC-201 "A"	0,443	0,933	-7,1	0,000	0,000	0,825	0,511	-7,7%
SS77-MCC-201 "B"	0,442	0,921	-7,4	0,000	0,000	0,824	0,511	-7,9%
SS77-MCC-202 "A"	0,443	0,933	-7,1	0,000	0,000	0,825	0,511	-7,7%
SS77-MCC-202 "B"	0,442	0,921	-7,4	0,000	0,000	0,824	0,511	-7,9%
SS77-MCC-203 "A"	0,432	0,900	-8,5	0,000	0,000	0,818	0,507	-10%
SS77-MCC-203 "B"	0,430	0,896	-8,8	0,000	0,000	0,817	0,506	-10,4%

Tabla 3.8. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS83 (Escenario 1-A).

SS83-1								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-1-SWG/MCC-301 "A"	3,886	0,934	-6,3	0,000	0,000	2,071	1,283	-6,6%
SS83-1-SWG/MCC-301 "B"	3,886	0,934	-6,3	0,000	0,000	2,071	1,283	-6,9%
SS83-1-MCC-201 "A"	0,439	0,915	-7,8	0,000	0,000	0,822	0,509	-8,5%
SS83-1-MCC-201 "B"	0,439	0,915	-7,7	0,000	0,000	0,822	0,510	-8,5%

Continuación de la Tabla 3.8...

SS83-2								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-2-SWG/MCC-301 "A"	3,886	0,934	-6,3	0,000	0,000	2,071	1,283	-6,6%
SS83-2-SWG/MCC-301 "B"	3,886	0,934	-6,3	0,000	0,000	2,071	1,283	-6,9%

SS83-2-MCC-201 "A"	0,439	0,915	-7,8	0,000	0,000	0,822	0,509	-8,5%
SS83-2-MCC-201 "B"	0,439	0,915	-7,7	0,000	0,000	0,822	0,510	-8,5%

Tabla 3.9. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS85 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS85-SWG/MCC-301 "A"	3,928	0,944	-5,6	0,000	0,000	2,850	1,404	-5,6%
SS85-SWG/MCC-301 "B"	3,934	0,946	-5,4	0,000	0,000	2,310	1,221	-5,4%
SS85-MCC-201 "A"	0,444	0,925	-7,0	0,000	0,000	0,825	0,512	-7,5%
SS85-MCC-201 "B"	0,445	0,927	-6,8	0,000	0,000	0,826	0,512	-7,3%
SS85-MCC-202 "A"	0,444	0,925	-7,0	0,000	0,000	0,825	0,512	-7,5%
SS85-MCC-202 "B"	0,445	0,927	-6,8	0,000	0,000	0,825	0,511	-7,3%

Tabla 3.10. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS86 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS86-SWG/MCC-301 "A"	3,886	0,934	-6,3	0,000	0,000	2,318	1,217	-6,6%
SS86-SWG/MCC-301 "B"	3,886	0,934	-6,3	0,000	0,000	2,130	1,105	-6,6%
SS86-MCC-201 "A"	0,439	0,915	-7,8	0,000	0,000	0,822	0,509	-8,5%
SS86-MCC-201 "B"	0,439	0,915	-7,7	0,000	0,000	0,822	0,510	-8,5%

Tabla 3.11. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS87 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS87-SWG/MCC-301 "A"	3,902	0,938	-6,0	0,000	0,000	1,144	0,643	-6,2%

SS87-SWG/MCC-301 "B"	3,906	0,939	-6,0	0,000	0,000	1,039	0,578	-6,1%
SS87-MCC-201 "A"	0,441	0,919	-7,4	0,000	0,000	0,824	0,510	-8,1%
SS87-MCC-201 "B"	0,441	0,919	-7,5	0,000	0,000	0,823	0,510	-8,1%
SS87-MCC-202 "A"	0,440	0,917	-7,4	0,000	0,000	0,412	0,255	-8,3%
SS87-MCC-202 "B"	0,441	0,919	-7,4	0,000	0,000	0,412	0,255	-8,1%
SS87-MCC-203 "A"	0,440	0,917	-7,4	0,000	0,000	0,412	0,255	-8,3%
SS87-MCC-203 "B"	0,441	0,919	-7,4	0,000	0,000	0,412	0,255	-8,1%

Tabla 3.12. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS88 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS88-SWG/MCC-301 "A"	3,950	0,950	-5,2	0,000	0,000	2,605	1,468	-5,0%
SS88-SWG/MCC-301 "B"	3,949	0,949	-5,2	0,000	0,000	2,605	1,468	-5,1%
SS88-MCC-201 "A"	0,446	0,929	-6,6	0,000	0,000	0,413	0,256	-7,1%
SS88-MCC-201 "B"	0,446	0,929	-6,6	0,000	0,000	0,413	0,256	-7,1%
SS88-MCC-202 "A"	0,446	0,929	-6,6	0,000	0,000	0,414	0,256	-7,1%
SS88-MCC-202 "B"	0,446	0,929	-6,6	0,000	0,000	0,413	0,256	-7,1%

Tabla 3.13. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS90-1, SS90-2 y SS89 (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS90-1-SWG-301 "A"	3,971	0,955	-4,8	0,000	0,000	4,176	2,588	-4,5%
SS90-1-SWG-301 "B"	3,955	0,950	-5,1	0,000	0,000	2,237	1,386	-5,0%

SS90-1-SWG-301 "E"	3,955	0,950	-5,1	0,000	0,000	3,291	2,040	-5,0%
SS90-1-SWG-201 "A"	0,450	0,938	-5,9	0,000	0,000	0,357	0,221	-6,2%
SS90-1-SWG-201 "B"	0,448	0,933	-6,3	0,000	0,000	0,366	0,227	-6,7%
SS90-1-MCC-201 "E"	0,455	0,948	-5,3	0,000	0,000	0,068	0,042	-5,2%
SS90-2-SWG-201 "A"	0,448	0,933	-6,1	0,000	0,000	0,418	0,259	-6,7%
SS90-2-SWG-201 "B"	0,448	0,933	-6,2	0,000	0,000	0,349	0,216	-6,7%
SS90-1-SWG-302 "A"	3,970	0,954	-4,8	0,000	0,000	4,261	2,641	-4,6%
SS90-1-SWG-302 "B"	3,979	0,956	-4,6	0,000	0,000	2,566	1,590	-4,4%
SS90-1-SWG-302 "E"	3,979	0,956	-4,6	0,000	0,000	0,619	0,384	-4,4%
SS90-1-SWG-202 "A"	0,452	0,942	-5,7	0,000	0,000	0,405	0,251	-5,8%
SS90-1-SWG-202 "B"	0,453	0,944	-5,5	0,000	0,000	0,415	0,257	-5,6%
SS89-SWG-201 "A"	0,453	0,944	-5,8	0,000	0,000	0,412	0,255	-5,6%
SS89-SWG-201 "B"	0,453	0,944	-5,6	0,000	0,000	0,435	0,270	-5,6%
SS89-MCC-201 "E"	0,453	0,944	-5,5	0,000	0,000	0,147	0,091	-5,6%

Tabla 3.14. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-1 A (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1A-SWG-301 "A"	3,960	0,952	-4,9	0,000	0,000	0,493	0,306	-4,8%
SS98-1A-SWG-301 "B"	3,926	0,944	-5,5	0,000	0,000	0,932	0,577	-5,6%
SS98-1A-SWG-201 "A"	0,450	0,938	-5,8	0,000	0,000	0,437	0,271	-6,2%
SS98-1A-SWG-201 "B"	0,446	0,929	-6,5	0,000	0,000	0,438	0,272	-7,1%

Tabla 3.15. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-1B y SS98-1C (Escenario 1-A).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1B-SWG-301 "A"	3,953	0,950	-5,0	0,000	0,000	1,420	0,880	-5,0%
SS98-1B-SWG-301 "B"	3,949	0,949	-5,1	0,000	0,000	1,344	0,833	-5,1%

SS98-1B-SWG-201 "A"	0,449	0,935	-6,1	0,000	0,000	0,325	0,202	-6,5%
SS98-1B-SWG-201 "B"	0,445	0,927	-6,6	0,000	0,000	0,452	0,280	-7,3%
SS98-1C-SWG-201 "A"	0,448	0,933	-6,2	0,000	0,000	0,348	0,215	-6,7%
SS98-1C-SWG-201 "B"	0,447	0,931	-6,3	0,000	0,000	0,351	0,218	-6,9%

**Tabla 3.16. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-2A y SS95 (Escenario 1-A).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2A-SWG-301 "A"	3,959	0,952	-5,0	0,000	0,000	1,304	0,808	-4,8%
SS98-2A-SWG-301 "B"	3,963	0,953	-4,9	0,000	0,000	1,112	0,627	-4,7%
SS98-2A-SWG-201 "A"	0,448	0,933	-6,4	0,000	0,000	0,610	0,378	-6,7%
SS98-2A-SWG-201 "B"	0,447	0,931	-6,5	0,000	0,000	0,682	0,423	-6,9%
SS95-SWG-301 "A"	3,959	0,952	-5,0	0,000	0,000	3,199	1,983	-4,8%
SS95-SWG-301 "B"	3,963	0,953	-4,9	0,000	0,000	2,803	1,737	-4,7%
SS95-SWG-201 "A"	0,450	0,938	-6,0	0,000	0,000	0,453	0,281	-6,2%
SS95-SWG-201 "B"	0,449	0,935	-6,1	0,000	0,000	0,525	0,325	-6,5%
SS95-SWG-202 "A"	0,450	0,938	-6,1	0,000	0,000	0,472	0,292	-6,2%
SS95-SWG-202 "B"	0,450	0,938	-6,0	0,000	0,000	0,460	0,285	-6,2%

**Tabla 3.17. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-2B (Escenario 1-A).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2B-SWG-301 "A"	3,990	0,959	-4,4	0,000	0,000	2,677	1,659	-4,1%

SS98-2B-SWG-301 "B"	3,978	0,956	-4,6	0,000	0,000	3,503	2,171	-4,4%
SS98-2B-SWG-201 "A"	0,451	0,940	-5,8	0,000	0,000	0,644	0,399	-6,0%
SS98-2B-SWG-201 "B"	0,449	0,935	-6,2	0,000	0,000	0,689	0,427	-6,5%

Tabla 3.18. Resultados de flujo de carga en las subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional simplificado (Escenario 1-A).

Flujo de potencia en las líneas de transmisión.								
DESDE		HASTA		Línea	Potencia de operación			MVA nominal de línea
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Jose 400		Barbacoa II 400		L1	26,290	35,941	44,530	569,69
403,231	-0,6	401,554	-0,7					
San Gerónimo 400		Jose 400		L1	26,326	-80,213	84,423	1553,54
400,00	0,0	403,231	-0,6					
El Tigre I 400		Barbacoa II 400		L1	33,129	-62,166	70,442	529,38
400,00	0,0	401,554	-0,7					
El Tigre I 400		San Gerónimo 400		L1	0,001	-73,198	73,198	1249,75
400,00	0,0	400,00	0,0	L2	0,001	-72,240	72,240	1223,46
Barbacoa II 230		Guanta II 230		L1	29,673	48,028	56,455	797,79
234,096	-0,9	230,503	-1,3	L2	29,673	48,028	56,455	797,79
El Furrial 230		El Indio 230		L1	76,039	27,139	80,737	299,18
230,588	-0,9	227,648	-2,2	L2	76,039	27,139	80,737	299,18
El Indio 230		Casanay 230		L1	12,652	-7,409	14,662	199,35
227,648	-2,2	226,691	-2,9	L2	12,652	-7,409	14,662	199,35

Continuación de la Tabla 3.18...

Flujo de potencia en las líneas de transmisión.								
DESDE		HASTA		Línea	Potencia de operación			MVA nominal de línea
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
El Tigre I 230		El Furrial 230		L1	6,205	-13,028	14,593	299,18

230,708	-0,5	230,588	-0,9	L2	6,205	-13,028	14,593	299,18
Guanta II 230		Casanay 230		L1	50,407	17,713	53,429	199,35
230,503	-1,3	226,691	-2,9	L2	50,407	17,713	53,429	199,35
PAL (GIS) 230		Guanta II 230		L1	20,888	-37,255	42,711	199,35
229,750	-1,1	230,503	-1,3	L2	20,888	-37,255	42,711	199,35
Flujo de potencia en los transformadores								
DESDE		HASTA		Transf.	Potencia de operación			MVA nominal del Transf.
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Barbacoa II 400		Barbacoa II 230		T1	29,680	48,367	56,747	450
401,554	-0,7	234,096	-0,9	T2	29,680	48,367	56,747	450
El Tigre I 400		El Tigre I 230		T1	70,164	27,240	75,266	450
400,00	0,0	230,708	-0,5	T2	70,164	27,240	75,266	450
El Furrial 400		El Furrial 230		T1	139,726	32,068	143,359	450
400,00	0,0	230,588	-0,9					

De acuerdo a las tablas anteriores, las únicas barras cuyos niveles de tensión se encuentran dentro de los límites permisibles según la norma ANSI C84.1 1995 son: MS-SWG-601 “A” y MS-SWG-601 “B” a 230 kV, presentando un voltaje aceptable; y las barras MS-SWG/MCC-401 (secciones “A” y “B”) y MS-SWG/MCC-402 (secciones “A” y “B”) a 13,8 kV, cuyo voltaje de operación se encuentra por encima del nominal. El resto de las barras presentan una caída de tensión muy por debajo de lo establecido.

Para garantizar el funcionamiento de la planta es necesario mejorar estos niveles de tensión, incluso los de las barras MS-SWG/MCC-401 “A” y MS-SWG/MCC-402 “B” que a pesar de presentar un voltaje dentro de los límites se podría mejorar, esto se puede lograr moviendo los cambiadores de tomas de los transformadores.

Se puede observar también que una parte de la potencia generada por PAL es distribuida desde la S/E GIS hasta Guanta II y no en sentido contrario. Considerando que parte del suministro proviene del S.E.N., el hecho de que la potencia fluya hacia Guanta II se debe a que bajo la condición en estudio el sistema presenta mas potencia generada que carga.

3.4.1.2. Escenario 1-B: Con cambiador de tomas corregido para las Subestaciones Eléctricas de Procesos y sus circuitos “Utility y Offsite”.

En esta segunda condición se han mejorado los niveles de tensión en las barras del sistema eléctrico de Conversión Profunda. Para lograr esto, fue necesario modificar la posición del tap primario de los transformadores de potencia, para lo cual se comenzó con los transformadores de 230/34,5 kV y 230/13,8 kV, posteriormente se siguió con los de 34,5/4,16 kV y finalmente con los de 4,16/0,48 kV.

Después de hacer las pruebas para conseguir los mejores niveles de tensión, se determinó que las posiciones de los cambiadores de tomas más recomendables son las que se muestran en la **tabla 3.19**.

Tabla 3.19. Nuevas posiciones del cambiador de tomas de los transformadores para el mejoramiento de los niveles de tensión en las barras de Conversión Profunda.

ID Transformador	Alta Tensión	Baja Tensión	%Tap
-------------------------	---------------------	---------------------	-------------

	(kV)	(kV)	
MS-XFR-601 A	230	34,5	-5%
MS-XFR-601 B	230	34,5	-5%
MS-XFR-602 A	230	34,5	-5%
MS-XFR-602 B	230	34,5	-5%
MS-XFR-603 A	230	13,8	-2,5%
MS-XFR-603 B	230	13,8	-0%
MS-XFR-604 A	230	13,8	-2,5%
MS-XFR-604 B	230	13,8	-0%
SS74-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS74-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS74-XFR-502 A	34,5	4,16	0%
SS74-XFR-502 B	34,5	4,16	0%
SS74-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS74-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS74-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%
SS74-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%
SS70-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS70-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS70-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS70-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%

Continuación de la Tabla 3.18...

ID Transformador	Alta Tensión (kV)	Baja Tensión (kV)	%Tap
SS70-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%

SS70-XFR-302 B	4,16	0,48	-2,5%
SS77-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS77-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS77-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS77-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS77-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%
SS77-XFR-302 B	4,16	0,48	-2,5%
SS77-XFR-303 A	4,16	0,48	-5%
SS77-XFR-303 B	4,16	0,48	-5%
SS88-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS88-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS88-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS88-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS88-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%
SS88-XFR-302 B	4,16	0,48	-2,5%
SS87-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS87-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS87-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS87-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS87-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%
SS87-XFR-302 B	4,16	0,48	-2,5%
SS87-XFR-303 A	4,16	0,48	-2,5%
SS87-XFR-303 B	4,16	0,48	-2,5%

Continuación de la Tabla 3.19...

ID Transformador	Alta Tensión (kV)	Baja Tensión (kV)	%Tap
------------------	----------------------	----------------------	------

SS76-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS76-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS76-XFR-502 A	34,5	4,16	0%
SS76-XFR-502 B	34,5	4,16	0%
SS76-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS76-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS76-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%
SS76-XFR-302 B	4,16	0,48	-2,5%
SS76-XFR-303 A	4,16	0,48	-2,5%
SS76-XFR-303 B	4,16	0,48	-2,5%
SS76-XFR-304 A	4,16	0,48	-2,5%
SS76-XFR-304 B	4,16	0,48	-2,5%
SS85-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS85-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS85-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS85-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS85-XFR-302 A	4,16	0,48	-2,5%
SS85-XFR-302 B	4,16	0,48	-2,5%
SS86-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS86-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS86-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS86-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS83-1-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS83-1-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%

Continuación de la Tabla 3.19...

ID Transformador	Alta Tensión	Baja Tensión	%Tap
-------------------------	---------------------	---------------------	-------------

	(kV)	(kV)	
SS83-2-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS83-2-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS90-1-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS90-1-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS90-2-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS90-2-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS90-1-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS90-1-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS90-1-XFR-302 E	4,16	0,48	0%
SS90-1-XFR-303 E	4,16	0,48	0%
SS90-1-XFR-502 A	34,5	4,16	0%
SS90-1-XFR-502 B	34,5	4,16	0%
SS89-XFR-301 A	4,16	0,48	0%
SS89-XFR-301 B	4,16	0,48	0%
SS89-XFR-302 E	4,16	0,48	0%
SS89-XFR-303 E	4,16	0,48	0%
SS90-1-XFR-303 A	4,16	0,48	0%
SS90-1-XFR-303 B	4,16	0,48	0%
SS98-1A-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS98-1A-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS98-1A-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS98-1A-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS98-1B-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS98-1B-XFR-501 B	34,5	4,16	0%

Continuación de la Tabla 3.19...

ID Transformador	Alta Tensión (kV)	Baja Tensión (kV)	%Tap
SS98-1B-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS98-1B-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS98-1C-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS98-1C-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS98-2A-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS98-2A-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS98-2A-XFR-301 A	4,16	0,48	-2,5%
SS98-2A-XFR-301 B	4,16	0,48	-2,5%
SS95-XFR-301 A	4,16	0,48	0%
SS95-XFR-301 B	4,16	0,48	0%
SS95-XFR-302 A	4,16	0,48	0%
SS95-XFR-302 B	4,16	0,48	0%
SS98-2B-XFR-501 A	34,5	4,16	0%
SS98-2B-XFR-501 B	34,5	4,16	0%
SS98-2B-XFR-301 A	4,16	0,48	0%
SS98-2B-XFR-301 B	4,16	0,48	0%

- Transformadores PAL (13,8 KV/230 kV): 1,250% del tap.
- Transformadores Barbacoa II (230 KV/400 kV): -1,250% del tap.
- Transformadores El Tigre I (230 KV/400 kV): -0,625% del tap.
- Transformador El Furrial (230 KV/400 kV): -0,625% del tap.
- Transformadores de VALCOR (230/34,5): -2,5% del tap.

3.4.1.2.1. Resumen de Resultados Obtenidos.

Con esta nueva condición de operación los resultados arrojados por la simulación son los que se muestran desde la **tabla 3.20** hasta la **tabla 3.36** a continuación:

Tabla 3.20. Resultados del Flujo de carga en las diferentes subestaciones del sistema (Escenario 1-B).

S/E		Tensión		Ángulo (Grados)	Potencia entregada		Potencia recibida		%ΔV
		kV	P.U		MW	MVAR	MW	MVAR	
Planta Alberto Lovera	Gen 1	13,8	1,000	2,8	150,000	26,947	0,000	0,000	0%
	Gen 2	13,8	1,000	2,8	150,000	26,947	0,000	0,000	0%
Guanta II		230,682	1,003	-1,4	99,594	36,290	99,832	21,874	0,3%
Conversión Profunda		229,975	0,999	-1,3	0,000	0,000	221,808	63,108	-0,1%
VALCOR		230,095	1,000	-1,2	0,000	0,000	19,597	13,086	0%

Tabla 3.21. Resultados de flujo de carga en las barras principales de Conversión Profunda (Escenario 1-B).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
MS-SWG-601 "A"	229,975	0,999	-1,3	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,1%
MS-SWG-601 "B"	229,975	0,999	-1,3	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,1%
MS-SWG/MCC-501 "A"	35,332	1,024	-3,6	0,000	0,000	0,000	0,000	2,4%
MS-SWG/MCC-501 "B"	35,322	1,024	-3,6	0,000	0,000	0,000	0,000	2,4%
MS-SWG/MCC-502 "A"	35,299	1,023	-3,6	0,000	0,000	0,000	0,000	2,3%
MS-SWG/MCC-502 "B"	35,277	1,022	-3,6	0,000	0,000	0,000	0,000	2,2%

Continuación de la Tabla 3.21...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
MS-SWG/MCC-401 "A"	13,888	1,006	-4,6	0,000	0,000	26,350	-16,330	0,6%
MS-SWG/MCC-401 "B"	14,015	1,016	-2,9	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,6%
MS-SWG/MCC-402 "A"	13,776	0,998	-3,8	0,000	0,000	19,175	-11,884	-0,2%
MS-SWG/MCC-402 "B"	14,013	1,015	-2,9	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,5%

Tabla 3.22. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS70 (Escenario 1-B).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS70-SWG/MCC-301 "A"	4,173	1,003	-5,2	0,000	0,000	2,396	1,334	0,3%
SS70-SWG/MCC-301 "B"	4,177	1,004	-5,1	0,000	0,000	2,279	1,264	0,4%
SS70-MCC-201 "A"	0,485	1,010	-6,4	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%
SS70-MCC-201 "B"	0,485	1,010	-6,4	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%
SS70-MCC-202 "A"	0,485	1,010	-6,4	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%
SS70-MCC-202 "B"	0,485	1,010	-6,4	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%

Tabla 3.23. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS74 (Escenario 1-B).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS74-SWG/MCC-301 "A"	4,188	1,007	-4,9	0,000	0,000	2,549	1,387	0,7%
SS74-SWG/MCC-301 "B"	4,180	1,005	-5,2	0,000	0,000	3,113	1,513	0,5%
SS74-MCC-201 "A"	0,487	1,015	-6,1	0,000	0,000	0,855	0,530	1,5%
SS74-MCC-201 "B"	0,486	1,013	-6,4	0,000	0,000	0,854	0,529	1,3%

Continuación de la Tabla 3.23...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS74-SWG/MCC-302 "A"	4,182	1,005	-5,0	0,000	0,000	2,811	1,530	0,5%
SS74-SWG/MCC-302 "B"	4,183	1,006	-5,0	0,000	0,000	2,694	1,476	0,6%
SS74-MCC-202 "A"	0,486	1,013	-6,2	0,000	0,000	0,854	0,530	1,3%
SS74-MCC-202 "B"	0,486	1,013	-6,2	0,000	0,000	0,854	0,530	1,3%

**Tabla 3.24. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS76 (Escenario 1-B).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS76-SWG/MCC-301 "A"	4,167	1,002	-5,5	0,000	0,000	5,627	3,033	-0,2%
SS76-SWG/MCC-301 "B"	4,160	1,000	-5,7	0,000	0,000	6,141	3,291	0%
SS76-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-6,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS76-MCC-201 "B"	0,483	1,006	-6,9	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS76-MCC-202 "A"	0,484	1,008	-6,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS76-MCC-202 "B"	0,483	1,006	-6,9	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS76-SWG/MCC-302 "A"	4,167	1,002	-5,5	0,000	0,000	5,627	3,033	0,2%
SS76-SWG/MCC-302 "B"	4,174	1,003	-5,3	0,000	0,000	4,948	2,668	0,3%
SS76-MCC-203 "A"	0,484	1,008	-6,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS76-MCC-203 "B"	0,485	1,010	-6,6	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%
SS76-MCC-204 "A"	0,484	1,008	-6,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS76-MCC-204 "B"	0,485	1,010	-6,6	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%

**Tabla 3.25. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS77 (Escenario 1-B).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS77-SWG/MCC-301 "A"	4,153	0,998	-5,4	0,000	0,000	2,122	1,211	0,2%
SS77-SWG/MCC-301 "B"	4,139	0,995	5,7	0,000	0,000	2,719	1,543	0,5%
SS77-MCC-201 "A"	0,483	1,006	-6,7	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS77-MCC-201 "B"	0,481	1,002	-7,0	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS77-MCC-202 "A"	0,483	1,006	-6,7	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS77-MCC-202 "B"	0,481	1,002	-7,0	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS77-MCC-203 "A"	0,486	1,013	-7,7	0,000	0,000	0,854	0,529	1,3%
SS77-MCC-203 "B"	0,484	1,008	-8,0	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%

**Tabla 3.26. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS83 (Escenario 1-B).**

SS83-1								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-1-SWG/MCC-301 "A"	4,122	0,991	-6,0	0,000	0,000	2,117	1,312	-0,9%
SS83-1-SWG/MCC-301 "B"	4,122	0,991	-6,0	0,000	0,000	2,117	1,312	-0,9%
SS83-1-MCC-201 "A"	0,479	0,998	-7,2	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS83-1-MCC-201 "B"	0,479	0,998	-7,2	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS83-2								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-2-SWG/MCC-301 "A"	4,122	0,991	-6,0	0,000	0,000	2,117	1,312	-0,9%
SS83-2-SWG/MCC-301 "B"	4,122	0,991	-6,0	0,000	0,000	2,117	1,312	-0,9%
SS83-2-MCC-201 "A"	0,479	0,998	-7,2	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS83-2-MCC-201 "B"	0,479	0,998	-7,2	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%

**Tabla 3.27. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS85 (Escenario 1-B).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS85-SWG/MCC-301 "A"	4,163	1,001	-5,3	0,000	0,000	2,850	1,404	0,1%
SS85-SWG/MCC-301 "B"	4,168	1,002	-5,2	0,000	0,000	2,310	1,221	0,2%
SS85-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-6,6	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS85-MCC-201 "B"	0,484	1,008	-6,4	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS85-MCC-202 "A"	0,484	1,008	-6,6	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS85-MCC-202 "B"	0,484	1,008	-6,4	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%

**Tabla 3.28. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS86 (Escenario 1-B).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS86-SWG/MCC-301 "A"	4,122	0,991	-6,0	0,000	0,000	2,318	1,217	-0,9%
SS86-SWG/MCC-301 "B"	4,122	0,991	-6,0	0,000	0,000	2,130	1,105	-0,9%
SS86-MCC-201 "A"	0,479	0,998	-7,2	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS86-MCC-201 "B"	0,479	0,998	-7,2	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%

**Tabla 3.29. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS87 (Escenario 1-B).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS87-SWG/MCC-301 "A"	4,138	0,995	-5,7	0,000	0,000	1,179	0,665	-0,5%
SS87-SWG/MCC-301 "B"	4,142	0,996	-5,7	0,000	0,000	1,061	0,591	-0,5%

Continuación de la Tabla 3.29...

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	BARRA	kV		P.U.	MW	MVAR	MW	
SS87-MCC-201 "A"	0,481	1,002	-6,9	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS87-MCC-201 "B"	0,481	1,002	-7,0	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS87-MCC-202 "A"	0,480	1,000	-7,0	0,000	0,000	0,425	0,263	0%
SS87-MCC-202 "B"	0,481	1,002	-6,9	0,000	0,000	0,425	0,264	0,2%
SS87-MCC-203 "A"	0,480	1,000	-7,0	0,000	0,000	0,425	0,263	0%
SS87-MCC-203 "B"	0,481	1,002	-6,9	0,000	0,000	0,425	0,264	0,2%

Tabla 3.30. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS88 (Escenario 1-B).

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	BARRA	kV		P.U.	MW	MVAR	MW	
SS88-SWG/MCC-301 "A"	4,184	1,006	-4,9	0,000	0,000	2,686	1,518	0,6%
SS88-SWG/MCC-301 "B"	4,182	1,005	-5,0	0,000	0,000	2,686	1,518	0,5%
SS88-MCC-201 "A"	0,486	1,013	-6,2	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%
SS88-MCC-201 "B"	0,486	1,013	-6,2	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%
SS88-MCC-202 "A"	0,486	1,013	-6,2	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%
SS88-MCC-202 "B"	0,486	1,013	-6,2	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%

Tabla 3.31. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS90-1, SS90-2 y SS89 (Escenario 1-B).

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	BARRA	kV		P.U.	MW	MVAR	MW	
SS90-1-SWG-301 "A"	4,203	1,010	-4,6	0,000	0,000	4,176	2,588	1,0%
SS90-1-SWG-301 "B"	4,186	1,006	-4,9	0,000	0,000	2,237	1,386	0,6%
SS90-1-SWG-301 "E"	4,186	1,006	-4,9	0,000	0,000	3,438	2,131	0,6%

Continuación de la Tabla 3.31...

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	BARRA	kV		P.U.	MW	MVAR	MW	
SS90-1-SWG-201 "A"	0,489	1,019	-5,7	0,000	0,000	0,409	0,253	1,9%
SS90-1-SWG-201 "B"	0,486	1,019	-6,1	0,000	0,000	0,431	0,267	1,9%
SS90-1-MCC-201 "E"	0,481	1,002	-5,1	0,000	0,000	0,076	0,047	0,2%
SS90-2-SWG-201 "A"	0,487	1,015	-5,9	0,000	0,000	0,480	0,297	1,5%
SS90-2-SWG-201 "B"	0,487	1,015	-6,0	0,000	0,000	0,393	0,244	1,5%
SS90-1-SWG-302 "A"	4,202	1,010	-4,6	0,000	0,000	4,305	2,668	1,0%
SS90-1-SWG-302 "B"	4,209	1,011	-4,5	0,000	0,000	2,675	1,658	1,1%
SS90-1-SWG-302 "E"	4,209	1,011	-4,5	0,000	0,000	0,619	0,384	1,1%
SS90-1-SWG-202 "A"	0,478	0,996	-5,5	0,000	0,000	0,454	0,281	-0,4%
SS90-1-SWG-202 "B"	0,479	0,998	-5,4	0,000	0,000	0,463	0,287	-0,2%
SS89-SWG-201 "A"	0,479	0,998	-5,6	0,000	0,000	0,444	0,275	-0,2%
SS89-SWG-201 "B"	0,480	1,000	-5,4	0,000	0,000	0,466	0,289	0%
SS89-MCC-201 "E"	0,480	1,000	-5,2	0,000	0,000	0,150	0,093	0%

**Tabla 3.32. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-1 A (Escenario 1-B).**

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	BARRA	kV		P.U.	MW	MVAR	MW	
SS98-1A-SWG-301 "A"	4,189	1,007	-4,7	0,000	0,000	0,493	0,306	0,7%
SS98-1A-SWG-301 "B"	4,157	0,999	-5,3	0,000	0,000	0,932	0,577	-0,1%
SS98-1A-SWG-201 "A"	0,489	1,019	-5,7	0,000	0,000	0,514	0,319	1,9%
SS98-1A-SWG-201 "B"	0,485	1,010	-6,3	0,000	0,000	0,505	0,313	1,0%

**Tabla 3.33. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-1B y SS98-1C (Escenario 1-B).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1B-SWG-301 "A"	4,184	1,006	-4,9	0,000	0,000	1,420	0,880	0,6%
SS98-1B-SWG-301 "B"	4,178	1,004	-4,9	0,000	0,000	1,344	0,833	0,4%
SS98-1B-SWG-201 "A"	0,487	1,015	-5,9	0,000	0,000	0,383	0,238	1,5%
SS98-1B-SWG-201 "B"	0,483	1,006	-6,4	0,000	0,000	0,529	0,328	0,6%
SS98-1C-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-6,0	0,000	0,000	0,410	0,254	1,3%
SS98-1C-SWG-201 "B"	0,486	1,013	-6,1	0,000	0,000	0,406	0,252	1,3%

**Tabla 3.34. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-2A y SS95 (Escenario 1-B).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2A-SWG-301 "A"	4,191	1,007	-4,8	0,000	0,000	1,304	0,808	0,7%
SS98-2A-SWG-301 "B"	4,195	1,008	-4,8	0,000	0,000	1,112	0,627	0,8%
SS98-2A-SWG-201 "A"	0,487	1,015	-6,1	0,000	0,000	0,685	0,424	1,5%
SS98-2A-SWG-201 "B"	0,487	1,015	-6,1	0,000	0,000	0,697	0,432	1,5%
SS95-SWG-301 "A"	4,191	1,007	-4,8	0,000	0,000	3,254	2,017	0,7%
SS95-SWG-301 "B"	4,195	1,008	-4,8	0,000	0,000	2,857	1,771	0,8%
SS95-SWG-201 "A"	0,477	0,994	-5,8	0,000	0,000	0,496	0,307	-0,6%
SS95-SWG-201 "B"	0,476	0,992	-5,9	0,000	0,000	0,577	0,358	-0,8%
SS95-SWG-202 "A"	0,477	0,994	-5,8	0,000	0,000	0,488	0,303	-0,6%
SS95-SWG-202 "B"	0,477	0,994	-5,7	0,000	0,000	0,477	0,295	-0,6%

Tabla 3.35. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-2B (Escenario 1-B).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2B-SWG-301 "A"	4,221	1,015	-4,2	0,000	0,000	2,677	1,659	1,5%
SS98-2B-SWG-301 "B"	4,210	1,012	-4,5	0,000	0,000	3,536	2,192	1,2%
SS98-2B-SWG-201 "A"	0,477	0,994	-5,6	0,000	0,000	0,700	0,434	0,6%
SS98-2B-SWG-201 "B"	0,475	0,990	-5,9	0,000	0,000	0,726	0,450	-1,0%

Tabla 3.36. Resultados de flujo de carga en las subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional simplificado (Escenario 1-B).

Flujo de potencia en las líneas de transmisión.								
DESDE		HASTA		Línea	Potencia de operación			MVA nominal de línea
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Jose 400		Barbacoa II 400		L1	27,216	28,004	39,050	569,69
404,501	-0,7	403,087	-0,8					
San Gerónimo 400		Jose 400		L1	27,266	-88,331	92,443	1553,54
400,000	0,0	404,501	-0,7					
El Tigre I 400		Barbacoa II 400		L1	34,253	-72,429	80,120	529,38
400,000	0,0	403,087	-0,8					
El Tigre I 400		San Gerónimo 400		L1	0,001	-73,198	73,198	1249,75
400,000	0,0	400,000	0,0	L2	0,001	-72,240	72,240	1223,46
Barbacoa II 230		Guanta II 230		L1	30,695	39,223	49,806	797,79
233,716	-1,0	230,682	-1,4	L2	30,695	39,223	49,806	797,79
El Furrial 230		El Indio 230		L1	76,698	36,716	85,033	299,18
230,606	-0,9	227,691	-2,2	L2	76,698	26,716	85,033	299,18
El Indio 230		Casanay 230		L1	13,296	-7,862	15,447	199,35
227,691	-2,2	226,819	-3,0	L2	13,296	-7,862	15,447	199,35

Continuación de la Tabla 3.36...

Flujo de potencia en las líneas de transmisión.								
DESDE		HASTA		Línea	Potencia de operación			MVA nominal de línea
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
El Tigre I 230		El Furrial 230		L1	6,294	-13,096	14,530	299,18
230,709	-0,5	230,606	-0,9	L2	6,294	-13,096	14,530	299,18
Guanta II 230		Casanay 230		L1	49,797	18,145	52,999	199,35
230,682	-1,4	226,819	-3,0	L2	49,797	18,145	52,999	199,35
PAL (GIS) 230		Guanta II 230		L1	19,221	-28,286	34,199	199,35
230,122	-1,2	230,682	-1,4	L2	19,221	-28,286	34,199	199,35
Flujo de potencia en los transformadores								
DESDE		HASTA		Transf.	Potencia de operación			MVA nominal del Transf.
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Barbacoa II 400		Barbacoa II 230		T1	30,700	39,487	50,017	450
403,087	-0,8	233,716	-1,0	T2	30,700	39,487	50,017	450
El Tigre I 400		El Tigre I 230		T1	70,253	27,174	75,325	450
400,000	0,0	230,709	-0,5	T2	70,253	27,174	75,325	450
El Furrial 400		El Furrial 230		T1	140,867	31,386	144,321	450
400,000	0,0	230,606	-0,9					

3.4.2. Escenario 2: Contingencia #1. Pérdida de la interconexión con Guanta II.

- Dos generadores PAL conectados en 150 MW / 93 MVAR cada uno.
- Sin los interconectores Guanta II / Barbacoa II.
- Doble interconexión con Conversión Profunda.
- Toda la carga conectada en Conversión Profunda. (220 MW)
- Toda la Carga VALCOR conectada (40 MW)

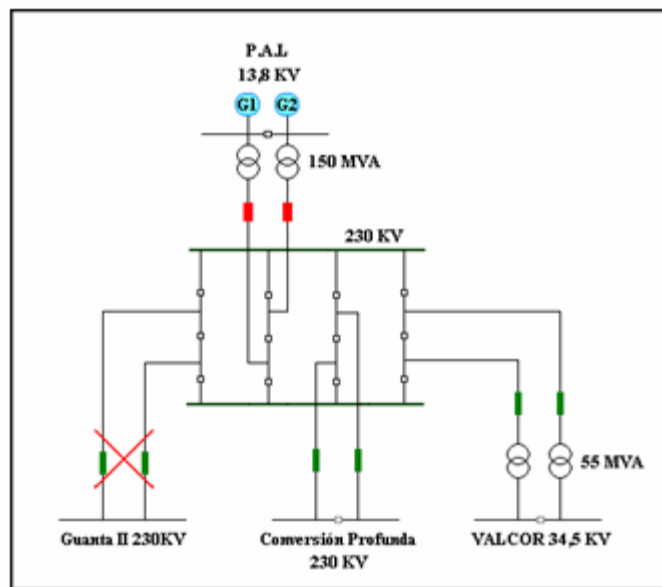


Figura 3.2. Diagrama unifilar del sistema eléctrico en estudio para el Escenario #2.

Para este escenario, se seleccionó como “barra slack” a aquella a la cual estará conectado el generador 1 de la Planta Alberto Lovera. La barra a la cual está conectado el generador 2 de PAL se seleccionó como de “voltaje controlado o PV”. El resto de las barras del sistema se seleccionaron como “barras de carga o PQ”.

El tap primario de los transformadores de PAL y VALCOR en modo automático, se colocaron en las posiciones 2,5% y -2,5% respectivamente, y los transformadores de la planta de Conversión Profunda en modo manual, tienen las mismas posiciones que las indicadas en la **tabla 3.19**.

Los resultados obtenidos en la simulación de flujo de carga para este escenario se muestran desde la **tabla 3.37** hasta la **tabla 3.52**, presentadas a continuación.

Tabla 3.37. Resultados del Flujo de carga en las diferentes subestaciones del sistema (Escenario 2).

S/E		Tensión		Ángulo (Grados)	Potencia entregada		Potencia recibida		%ΔV
		kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
Planta Alberto Lovera	Gen 1	13,8	1,000	0,0	111,423	53,704	0,000	0,000	0%
	Gen 2	13,8	1,000	0,0	150,000	53,704	0,000	0,000	0%
Guanta II		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Conversión Profunda		229,775	0,999	-3,7	0,000	0,000	221,76	63,104	-0,1%
VALCOR		34,553	1,002	-5,5	0,000	0,000	39,124	24,246	0,2%

**Tabla 3.38. Resultados de flujo de carga en las barras principales de
Conversión Profunda (Escenario 2).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
MS-SWG-601 "A"	229,775	0,999	-3,7	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,1%
MS-SWG-601 "B"	229,775	0,999	-3,7	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,1%
MS-SWG/MCC-501 "A"	35,300	1,023	-5,9	0,000	0,000	0,000	0,000	2,3%
MS-SWG/MCC-501 "B"	35,290	1,023	-6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	2,3%
MS-SWG/MCC-502 "A"	35,266	1,022	-5,9	0,000	0,000	0,000	0,000	2,2%
MS-SWG/MCC-502 "B"	35,245	1,022	-6,0	0,000	0,000	0,000	0,000	2,2%
MS-SWG/MCC-401 "A"	13,876	1,006	-7,0	0,000	0,000	26,350	-16,330	0,6%
MS-SWG/MCC-401 "B"	14,003	1,015	-5,3	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,5%
MS-SWG/MCC-402 "A"	13,764	0,997	-6,1	0,000	0,000	19,175	-11,884	0,3%
MS-SWG/MCC-402 "B"	14,002	1,015	-5,3	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,5%

**Tabla 3.39. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS70 (Escenario 2).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS70-SWG/MCC-301 "A"	4,169	1,002	-7,5	0,000	0,000	2,395	1,334	0,2%

SS70-SWG/MCC-301 "B"	4,173	1,003	-7,5	0,000	0,000	2,278	1,263	0,3%
SS70-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-8,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS70-MCC-201 "B"	0,485	1,010	-8,7	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%
SS70-MCC-202 "A"	0,484	1,008	-8,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS70-MCC-202 "B"	0,485	1,010	-8,7	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%

Tabla 3.40. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS74 (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS74-SWG/MCC-301 "A"	4,184	1,006	-7,2	0,000	0,000	2,549	1,387	0,6%
SS74-SWG/MCC-301 "B"	4,176	1,004	-7,5	0,000	0,000	3,113	1,513	0,4%
SS74-MCC-201 "A"	0,486	1,013	-8,4	0,000	0,000	0,854	0,530	1,3%
SS74-MCC-201 "B"	0,485	1,010	-8,7	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%
SS74-SWG/MCC-302 "A"	4,178	1,004	-7,3	0,000	0,000	2,810	1,530	0,4%
SS74-SWG/MCC-302 "B"	4,179	1,005	-7,3	0,000	0,000	2,693	1,476	0,5%
SS74-MCC-202 "A"	0,486	1,013	-8,6	0,000	0,000	0,854	0,529	1,3%
SS74-MCC-202 "B"	0,486	1,013	-8,5	0,000	0,000	0,854	0,529	1,3%

Tabla 3.41. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS76 (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS76-SWG/MCC-301 "A"	4,163	1,000	-7,8	0,000	0,000	5,627	3,032	0%

SS76-SWG/MCC-301 "B"	4,156	0,999	-8,0	0,000	0,000	6,141	3,290	-0,1%
SS76-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-9,0	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS76-MCC-201 "B"	0,483	1,006	-9,2	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS76-MCC-202 "A"	0,484	1,008	-9,0	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS76-MCC-202 "B"	0,483	1,006	-9,2	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS76-SWG/MCC-302 "A"	4,163	1,000	-7,8	0,000	0,000	5,627	3,032	0%
SS76-SWG/MCC-302 "B"	4,170	1,002	-7,7	0,000	0,000	4,948	2,668	0,2%
SS76-MCC-203 "A"	0,484	1,008	-9,0	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS76-MCC-203 "B"	0,484	1,008	-9,0	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS76-MCC-204 "A"	0,484	1,008	-9,0	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS76-MCC-204 "B"	0,485	1,010	-8,9	0,000	0,000	0,853	0,529	1,0%

Tabla 3.42. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS77 (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS77-SWG/MCC-301 "A"	4,149	0,997	-7,7	0,000	0,000	2,121	1,211	-0,3%
SS77-SWG/MCC-301 "B"	4,135	0,994	-8,0	0,000	0,000	2,717	1,542	-0,6%
SS77-MCC-201 "A"	0,483	1,006	-9,0	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS77-MCC-201 "B"	0,481	1,002	-9,3	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS77-MCC-202 "A"	0,483	1,006	-9,0	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS77-MCC-202 "B"	0,481	1,002	-9,3	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS77-MCC-203 "A"	0,485	1,010	-10,1	0,000	0,000	0,854	0,529	1,0%
SS77-MCC-203 "B"	0,484	1,008	-10,3	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%

Tabla 3.43. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS83 (Escenario 2).

SS83-1								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-1-SWG/MCC-301 "A"	4,118	0,990	-8,3	0,000	0,000	2,116	1,312	-1,0%

SS83-1-SWG/MCC-301 "B"	4,118	0,990	-8,3	0,000	0,000	2,116	1,312	-1,0%
SS83-1-MCC-201 "A"	0,478	0,996	-9,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%
SS83-1-MCC-201 "B"	0,478	0,996	-9,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%
SS83-2								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-2-SWG/MCC-301 "A"	4,118	0,990	-8,3	0,000	0,000	2,116	1,312	-1,0%
SS83-2-SWG/MCC-301 "B"	4,118	0,990	-8,3	0,000	0,000	2,116	1,312	-1,0%
SS83-2-MCC-201 "A"	0,478	0,996	-9,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%
SS83-2-MCC-201 "B"	0,478	0,996	-9,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%

**Tabla 3.44. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS85 (Escenario 2).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS85-SWG/MCC-301 "A"	4,159	0,999	-7,7	0,000	0,000	2,850	1,404	-0,1%
SS85-SWG/MCC-301 "B"	4,164	1,001	-7,5	0,000	0,000	2,310	1,221	0,1%
SS85-MCC-201 "A"	0,483	1,006	-8,9	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS85-MCC-201 "B"	0,484	1,008	-8,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS85-MCC-202 "A"	0,483	1,006	-8,9	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS85-MCC-202 "B"	0,484	1,008	-8,7	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%

**Tabla 3.45. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS86 (Escenario 2).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	

SS86-SWG/MCC-301 "A"	4,118	0,990	-8,3	0,000	0,000	2,318	1,217	-1,0%
SS86-SWG/MCC-301 "B"	4,118	0,990	-8,3	0,000	0,000	2,130	1,105	-1,0%
SS86-MCC-201 "A"	0,478	0,996	-9,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%
SS86-MCC-201 "B"	0,478	0,996	-9,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%

**Tabla 3.46. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS87 (Escenario 2).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS87-SWG/MCC-301 "A"	4,134	0,994	-8,1	0,000	0,000	1,179	0,664	0,6%
SS87-SWG/MCC-301 "B"	4,138	0,995	-8,0	0,000	0,000	1,061	0,591	0,5%
SS87-MCC-201 "A"	0,481	1,002	-9,3	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS87-MCC-201 "B"	0,480	1,000	-9,3	0,000	0,000	0,850	0,527	0%
SS87-MCC-202 "A"	0,480	1,000	-9,3	0,000	0,000	0,425	0,263	0%
SS87-MCC-202 "B"	0,480	1,000	-9,2	0,000	0,000	0,425	0,263	0%
SS87-MCC-203 "A"	0,480	1,000	-9,3	0,000	0,000	0,425	0,263	0%
SS87-MCC-203 "B"	0,480	1,000	-9,2	0,000	0,000	0,425	0,263	0%

**Tabla 3.47. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS88 (Escenario 2).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	

SS88-SWG/MCC-301 "A"	4,180	1,005	-7,3	0,000	0,000	2,685	1,517	0,5%
SS88-SWG/MCC-301 "B"	4,179	1,005	-7,3	0,000	0,000	2,684	1,517	0,5%
SS88-MCC-201 "A"	0,486	1,013	-8,5	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%
SS88-MCC-201 "B"	0,486	1,013	-8,5	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%
SS88-MCC-202 "A"	0,486	1,013	-8,5	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%
SS88-MCC-202 "B"	0,486	1,013	-8,5	0,000	0,000	0,427	0,265	1,3%

Tabla 3.48. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS90-1, SS90-2 y SS89 (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS90-1-SWG-301 "A"	4,199	1,009	-6,9	0,000	0,000	4,176	2,588	0,9%
SS90-1-SWG-301 "B"	4,182	1,005	-7,2	0,000	0,000	2,237	1,386	0,2%
SS90-1-SWG-301 "E"	4,182	1,005	-7,2	0,000	0,000	3,435	2,129	0,2%
SS90-1-SWG-201 "A"	0,488	1,017	-8,0	0,000	0,000	0,408	0,253	1,5%
SS90-1-SWG-201 "B"	0,486	1,013	-8,4	0,000	0,000	0,431	0,267	0,8%
SS90-1-MCC-201 "E"	0,481	1,002	-7,4	0,000	0,000	0,076	0,047	-0,2%
SS90-2-SWG-201 "A"	0,487	1,015	-8,2	0,000	0,000	0,479	0,297	1,0%
SS90-2-SWG-201 "B"	0,486	1,013	-8,3	0,000	0,000	0,393	0,243	1,0%
SS90-1-SWG-302 "A"	4,198	1,009	-7,0	0,000	0,000	4,304	2,667	0,6%
SS90-1-SWG-302 "B"	4,205	1,011	-6,8	0,000	0,000	2,673	1,657	0,9%
SS90-1-SWG-302 "E"	4,205	1,011	-6,8	0,000	0,000	0,619	0,384	0,8%
SS90-1-SWG-202 "A"	0,478	0,996	-7,8	0,000	0,000	0,453	0,281	-0,6%
SS90-1-SWG-202 "B"	0,479	0,998	-7,7	0,000	0,000	0,462	0,287	-0,6%

Continuación de la Tabla 3.48...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS89-SWG-201 "A"	0,479	0,998	-7,9	0,000	0,000	0,443	0,275	-0,6%
SS89-SWG-201 "B"	0,479	0,998	-7,8	0,000	0,000	0,466	0,289	-0,4%

SS89-MCC-201 "E"	0,479	0,998	-7,6	0,000	0,000	0,150	0,093	-0,4%
------------------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabla 3.49. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-1 A (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1A-SWG-301 "A"	4,185	1,006	-7,1	0,000	0,000	0,493	0,306	0,6%
SS98-1A-SWG-301 "B"	4,153	0,998	-7,6	0,000	0,000	0,932	0,577	-0,2%
SS98-1A-SWG-201 "A"	0,488	1,017	-8,0	0,000	0,000	0,513	0,318	1,7%
SS98-1A-SWG-201 "B"	0,485	1,010	-8,6	0,000	0,000	0,504	0,312	1,0%

Tabla 3.50. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-1B y SS98-1C (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1B-SWG-301 "A"	4,180	1,005	-7,2	0,000	0,000	1,420	0,880	0,5%
SS98-1B-SWG-301 "B"	4,174	1,003	-7,3	0,000	0,000	1,344	0,833	0,3%
SS98-1B-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-8,3	0,000	0,000	0,383	0,237	1,3%
SS98-1B-SWG-201 "B"	0,483	1,006	-8,8	0,000	0,000	0,528	0,327	0,6%
SS98-1C-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-8,3	0,000	0,000	0,409	0,253	1,3%
SS98-1C-SWG-201 "B"	0,485	1,010	-8,4	0,000	0,000	0,405	0,251	1,0%

Tabla 3.51. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-2A y SS95 (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	

SS98-2A-SWG-301 "A"	4,187	1,006	-7,1	0,000	0,000	1,304	0,808	0,6%
SS98-2A-SWG-301 "B"	4,191	1,007	-7,1	0,000	0,000	1,112	0,627	0,7%
SS98-2A-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-8,4	0,000	0,000	0,684	0,424	1,3%
SS98-2A-SWG-201 "B"	0,486	1,013	-8,4	0,000	0,000	0,697	0,432	1,3%
SS95-SWG-301 "A"	4,187	1,006	-7,1	0,000	0,000	3,253	2,016	0,6%
SS95-SWG-301 "B"	4,191	1,007	-7,1	0,000	0,000	2,856	1,770	0,7%
SS95-SWG-201 "A"	0,476	0,992	-8,1	0,000	0,000	0,495	0,307	-0,8%
SS95-SWG-201 "B"	0,475	0,990	-8,2	0,000	0,000	0,576	0,357	-1,0%
SS95-SWG-202 "A"	0,476	0,992	-8,1	0,000	0,000	0,488	0,303	-0,8%
SS95-SWG-202 "B"	0,477	0,994	-8,0	0,000	0,000	0,476	0,295	-0,6%

Tabla 3.52. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-2B (Escenario 2).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2B-SWG-301 "A"	4,218	1,014	-6,6	0,000	0,000	2,677	1,659	1,4%
SS98-2B-SWG-301 "B"	4,206	1,011	-6,8	0,000	0,000	3,536	2,191	1,1%
SS98-2B-SWG-201 "A"	0,477	0,994	-8,0	0,000	0,000	0,699	0,433	-0,6%
SS98-2B-SWG-201 "B"	0,475	0,990	-8,2	0,000	0,000	0,725	0,449	-1,0%

En este escenario se puede observar que el nivel de tensión en la barra MS-SWG-601 ("A" y "B") disminuye con respecto al que presentaba en el Escenario 1-B, sin embargo, también se encuentra dentro de los límites permitidos por la **norma ANSI C84.1 1989**. No sería conveniente que el sistema operara solamente con la generación de PAL debido a que las cargas de Conversión Profunda deben permanecer en servicio constante para evitar que se detengan los procesos, lo cual implicaría que ninguno de los dos generadores puede faltar y deberían funcionar a plena carga, siendo esta condición poco realista dado que en algún momento será

necesaria la salida de uno de los generadores, bien sea por mantenimiento o por algún otro inconveniente que se presente.

3.4.3. Escenario 3: Contingencia #2. Pérdida de ambos generadores de la Planta Alberto Lovera.

- Los generadores PAL fuera de servicio.
- Dos interconectores Guanta II / Barbacoas II.
- Doble interconexión con Conversión Profunda.
- Toda la carga conectada en Conversión Profunda. (220 MW)
- Toda la Carga VALCOR conectada (40 MW)

Las posiciones de los taps de los transformadores son las siguientes:

- Transformadores Barbacoa II (400/230 kV): -4,375%.
- Transformadores El Tigre I (400/230 kV): -0,625%.
- Transformador El Furrial (400/230 kV): -0,625%
- Transformadores VALCOR (230/34,5 kV): -3,125%.
- Transformadores Conversión Profunda: en las mismas posiciones indicadas en la **tabla 3.19**.

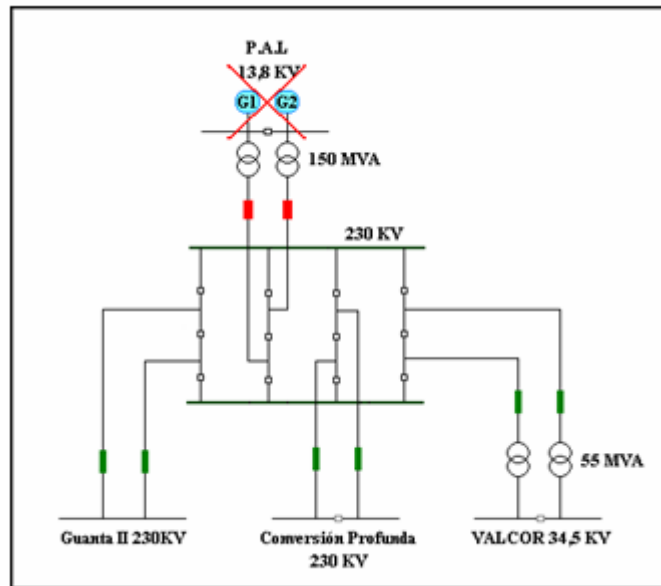


Figura 3.3. Diagrama unifilar del sistema eléctrico en estudio para el Escenario #3

Para este Escenario la barra Infinita (Slack) se retorna al Sistema Eléctrico Nacional (S.E.N).

El resumen de resultados de ésta simulación se muestra desde la **tabla 3.53** hasta la **tabla 3.69**.

Tabla 3.53. Resultados del Flujo de carga en las diferentes subestaciones del sistema (Escenario 3).

S/E		Tensión		Ángulo (Grados)	Potencia entregada		Potencia recibida		%ΔV
		kV	P.U		MW	MVAR	MW	MVAR	
Planta Alberto Lovera	Gen 1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Gen 2	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Guanta II		230,278	1,001	-6,30	279,72	133,886	281,684	135,142	0,1%

Conversión Profunda	228,935	0,995	-6,97	0,000	0,000	221,6	140,0	-0,5%
VALCOR	34,568	1,002	-8,83	0,000	0,000	39,2	24,2	0,2%

Tabla 3.54. Resultados de flujo de carga en las barras principales de Conversión Profunda (Escenario 3).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
MS-SWG-601 "A"	228,935	0,995	-7,1	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,5%
MS-SWG-601 "B"	228,935	0,995	-7,1	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,5%
MS-SWG/MCC-501 "A"	35,164	1,019	-9,4	0,000	0,000	0,000	0,000	1,9%
MS-SWG/MCC-501 "B"	35,154	1,019	-9,4	0,000	0,000	0,000	0,000	1,9%
MS-SWG/MCC-502 "A"	35,131	1,018	-9,4	0,000	0,000	0,000	0,000	1,8%
MS-SWG/MCC-502 "B"	35,110	1,018	-9,4	0,000	0,000	0,000	0,000	1,8%
MS-SWG/MCC-401 "A"	13,828	1,002	-10,4	0,000	0,000	26,350	-16,330	0,2%
MS-SWG/MCC-401 "B"	13,954	1,011	-8,7	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,1%
MS-SWG/MCC-402 "A"	13,716	0,994	-9,6	0,000	0,000	19,175	-11,884	0,6%
MS-SWG/MCC-402 "B"	13,952	1,011	-8,7	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,1%

Tabla 3.55. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS70 (Escenario 3).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS70-SWG/MCC-301 "A"	4,152	0,998	-11,0	0,000	0,000	2,393	1,333	-0,2%
SS70-SWG/MCC-301 "B"	4,156	0,999	-11,0	0,000	0,000	2,276	1,262	-0,1%
SS70-MCC-201 "A"	0,482	1,004	-12,2	0,000	0,000	0,852	0,528	0,4%

SS70-MCC-201 "B"	0,483	1,006	-12,2	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS70-MCC-202 "A"	0,482	1,004	-12,2	0,000	0,000	0,852	0,528	0,4%
SS70-MCC-202 "B"	0,483	1,006	-12,2	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%

Tabla 3.56. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS74 (Escenario 3).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS74-SWG/MCC-301 "A"	4,167	1,002	-10,7	0,000	0,000	2,548	1,386	0,2%
SS74-SWG/MCC-301 "B"	4,160	1,000	-11,0	0,000	0,000	3,112	1,512	0%
SS74-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-11,9	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS74-MCC-201 "B"	0,483	1,006	-12,2	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS74-SWG/MCC-302 "A"	4,162	1,000	-10,8	0,000	0,000	2,809	1,529	0%
SS74-SWG/MCC-302 "B"	4,163	1,001	-10,8	0,000	0,000	2,692	1,475	0,1%
SS74-MCC-202 "A"	0,484	1,008	-12,0	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%
SS74-MCC-202 "B"	0,484	1,008	-12,0	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%

Tabla 3.57. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS76 (Escenario 3).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS76-SWG/MCC-301 "A"	4,146	0,997	-11,3	0,000	0,000	5,626	3,032	-0,3%
SS76-SWG/MCC-301 "B"	4,139	0,995	-11,5	0,000	0,000	6,140	3,290	-0,5%
SS76-MCC-201 "A"	0,482	1,004	-12,5	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%

SS76-MCC-201 "B"	0,481	1,002	-12,7	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS76-MCC-202 "A"	0,482	1,004	-12,5	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%
SS76-MCC-202 "B"	0,481	1,002	-12,7	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS76-SWG/MCC-302 "A"	4,146	0,997	-11,3	0,000	0,000	5,626	3,032	-0,3%
SS76-SWG/MCC-302 "B"	4,154	0,999	-11,2	0,000	0,000	4,947	2,667	-0,1%
SS76-MCC-203 "A"	0,482	1,004	-12,5	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%
SS76-MCC-203 "B"	0,483	1,006	-12,4	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS76-MCC-204 "A"	0,482	1,004	-12,5	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%
SS76-MCC-204 "B"	0,483	1,006	-12,4	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%

Tabla 3.58. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS77 (Escenario 3).

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	BARRA	kV		P.U.	MW	MVAR	MW	
SS77-SWG/MCC-301 "A"	4,132	0,993	-11,2	0,000	0,000	2,115	1,207	-0,7%
SS77-SWG/MCC-301 "B"	4,118	0,990	-11,5	0,000	0,000	2,709	1,537	-1,0%
SS77-MCC-201 "A"	0,481	1,002	-12,5	0,000	0,000	0,850	0,527	0,2%
SS77-MCC-201 "B"	0,479	0,998	-12,8	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS77-MCC-202 "A"	0,481	1,002	-12,5	0,000	0,000	0,850	0,527	0,2%
SS77-MCC-202 "B"	0,479	0,998	-12,8	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS77-MCC-203 "A"	0,483	1,006	-13,6	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS77-MCC-203 "B"	0,481	1,002	-13,8	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%

Tabla 3.59. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS83 (Escenario 3).

SS83-1								
ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	BARRA	kV		P.U.	MW	MVAR	MW	
SS83-1-SWG/MCC-301 "A"	4,101	0,986	-11,8	0,000	0,000	2,113	1,310	-1,4%
SS83-1-SWG/MCC-301 "B"	4,101	0,986	-11,8	0,000	0,000	2,113	1,310	-1,4%

SS83-1-MCC-201 "A"	0,476	0,992	-13,1	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%
SS83-1-MCC-201 "B"	0,476	0,992	-13,1	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%
SS83-2								
ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
BARRA	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-2-SWG/MCC-301 "A"	4,101	0,986	-11,8	0,000	0,000	2,113	1,310	-1,4%
SS83-2-SWG/MCC-301 "B"	4,101	0,986	-11,8	0,000	0,000	2,113	1,310	-1,4%
SS83-2-MCC-201 "A"	0,476	0,992	-13,1	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%
SS83-2-MCC-201 "B"	0,476	0,992	-13,1	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%

**Tabla 3.60. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS85 (Escenario 3).**

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
BARRA	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS85-SWG/MCC-301 "A"	4,143	0,996	-11,2	0,000	0,000	2,850	1,404	-0,4%
SS85-SWG/MCC-301 "B"	4,148	0,997	-11,0	0,000	0,000	2,310	1,221	-0,3%
SS85-MCC-201 "A"	0,481	1,002	-12,4	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS85-MCC-201 "B"	0,482	1,004	-12,2	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%
SS85-MCC-202 "A"	0,481	1,002	-12,4	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS85-MCC-202 "B"	0,482	1,004	-12,2	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%

**Tabla 3.61. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS86 (Escenario 3).**

ID	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
BARRA	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS86-SWG/MCC-301 "A"	4,101	0,986	-11,8	0,000	0,000	2,318	1,217	-1,4%
SS86-SWG/MCC-301 "B"	4,101	0,986	-11,8	0,000	0,000	2,130	1,105	-1,4%

SS86-MCC-201 "A"	0,476	0,992	-13,1	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%
SS86-MCC-201 "B"	0,476	0,992	-13,1	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%

Tabla 3.62. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS87 (Escenario 3).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS87-SWG/MCC-301 "A"	4,117	0,990	-11,6	0,000	0,000	1,176	0,663	-1,0%
SS87-SWG/MCC-301 "B"	4,121	0,991	-11,5	0,000	0,000	1,059	0,590	-0,9%
SS87-MCC-201 "A"	0,479	0,998	-12,8	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS87-MCC-201 "B"	0,478	0,996	-12,8	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%
SS87-MCC-202 "A"	0,478	0,996	-12,8	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%
SS87-MCC-202 "B"	0,478	0,996	-12,7	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%
SS87-MCC-203 "A"	0,478	0,996	-12,8	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%
SS87-MCC-203 "B"	0,478	0,996	-12,7	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%

Tabla 3.63. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS88 (Escenario 3).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS88-SWG/MCC-301 "A"	4,163	1,001	-10,8	0,000	0,000	2,679	1,514	0,1%
SS88-SWG/MCC-301 "B"	4,162	1,000	-10,8	0,000	0,000	2,678	1,514	0%

SS88-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-12,0	0,000	0,000	0,426	0,264	0,8%
SS88-MCC-201 "B"	0,484	1,008	-12,0	0,000	0,000	0,426	0,264	0,8%
SS88-MCC-202 "A"	0,484	1,008	-12,0	0,000	0,000	0,426	0,264	0,8%
SS88-MCC-202 "B"	0,484	1,008	-12,0	0,000	0,000	0,426	0,264	0,8%

**Tabla 3.64. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS90-1, SS90-2 y SS89 (Escenario 3).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS90-1-SWG-301 "A"	4,183	1,005	-10,4	0,000	0,000	4,176	2,588	0,5%
SS90-1-SWG-301 "B"	4,165	1,001	-10,7	0,000	0,000	2,237	1,386	0,1%
SS90-1-SWG-301 "E"	4,165	1,001	-10,7	0,000	0,000	3,425	2,122	0,1%
SS90-1-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-11,5	0,000	0,000	0,406	0,251	1,3%
SS90-1-SWG-201 "B"	0,484	1,008	-11,9	0,000	0,000	0,427	0,265	0,8%
SS90-1-MCC-201 "E"	0,479	0,998	-10,9	0,000	0,000	0,076	0,047	-0,2%
SS90-2-SWG-201 "A"	0,485	1,010	-11,7	0,000	0,000	0,476	0,295	1,0%
SS90-2-SWG-201 "B"	0,485	1,010	-11,8	0,000	0,000	0,390	0,242	1,0%
SS90-1-SWG-302 "A"	4,181	1,005	-10,4	0,000	0,000	4,301	2,665	0,5%
SS90-1-SWG-302 "B"	4,189	1,007	-10,3	0,000	0,000	2,665	1,652	0,7%
SS90-1-SWG-302 "E"	4,189	1,007	-10,3	0,000	0,000	0,619	0,384	0,7%
SS90-1-SWG-202 "A"	0,476	0,992	-11,3	0,000	0,000	0,449	0,278	-0,8%
SS90-1-SWG-202 "B"	0,477	0,994	-11,2	0,000	0,000	0,459	0,284	-0,6%

Continuación de la Tabla 3.64...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS89-SWG-201 "A"	0,477	0,994	-11,4	0,000	0,000	0,441	0,273	-0,6%
SS89-SWG-201 "B"	0,478	0,996	-11,3	0,000	0,000	0,464	0,287	-0,4%
SS89-MCC-201 "E"	0,477	0,994	-11,0	0,000	0,000	0,149	0,093	-0,6%

**Tabla 3.65. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-1 A (Escenario 3).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1A-SWG-301 "A"	4,169	1,002	-10,5	0,000	0,000	0,493	0,306	0,2%
SS98-1A-SWG-301 "B"	4,137	0,994	-11,1	0,000	0,000	0,932	0,577	-0,6%
SS98-1A-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-11,5	0,000	0,000	0,509	0,315	1,3%
SS98-1A-SWG-201 "B"	0,483	0,994	-12,1	0,000	0,000	0,500	0,310	0,6%

**Tabla 3.66. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-1B y SS98-1C (Escenario 3).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1B-SWG-301 "A"	4,163	1,001	-10,7	0,000	0,000	1,420	0,880	0,1%
SS98-1B-SWG-301 "B"	4,158	0,999	-10,8	0,000	0,000	1,344	0,833	-0,1%
SS98-1B-SWG-201 "A"	0,485	1,010	-11,7	0,000	0,000	0,380	0,235	1,0%
SS98-1B-SWG-201 "B"	0,481	1,002	-12,2	0,000	0,000	0,524	0,325	0,2%
SS98-1C-SWG-201 "A"	0,484	1,008	-11,8	0,000	0,000	0,406	0,251	0,8%
SS98-1C-SWG-201 "B"	0,483	1,006	-11,9	0,000	0,000	0,402	0,249	0,6%

**Tabla 3.67. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-2A y SS95 (Escenario 3).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2A-SWG-301 "A"	4,171	1,003	-10,6	0,000	0,000	1,304	0,808	0,3%
SS98-2A-SWG-301 "B"	4,174	1,003	-10,6	0,000	0,000	1,112	0,627	0,3%

SS98-2A-SWG-201 "A"	0,484	1,008	-11,9	0,000	0,000	0,680	0,421	0,8%
SS98-2A-SWG-201 "B"	0,484	1,008	-11,9	0,000	0,000	0,696	0,432	0,8%
SS95-SWG-301 "A"	4,171	1,003	-10,6	0,000	0,000	3,249	2,014	0,3%
SS95-SWG-301 "B"	4,174	1,003	-10,6	0,000	0,000	2,852	1,768	0,3%
SS95-SWG-201 "A"	0,474	0,989	-11,6	0,000	0,000	0,492	0,305	-1,1%
SS95-SWG-201 "B"	0,474	0,989	-11,7	0,000	0,000	0,573	0,355	-1,1%
SS95-SWG-202 "A"	0,474	0,989	-11,6	0,000	0,000	0,487	0,302	-1,1%
SS95-SWG-202 "B"	0,475	0,990	-11,5	0,000	0,000	0,475	0,295	-1,0%

Tabla 3.68. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-2B (Escenario 3).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2B-SWG-301 "A"	4,201	1,010	-10,1	0,000	0,000	2,677	1,659	1,0%
SS98-2B-SWG-301 "B"	4,189	1,007	-10,3	0,000	0,000	3,533	2,190	0,7%
SS98-2B-SWG-201 "A"	0,475	0,990	-11,4	0,000	0,000	0,695	0,431	-1,0%
SS98-2B-SWG-201 "B"	0,473	0,985	-11,7	0,000	0,000	0,722	0,448	-1,5%

Tabla 3.69. Resultados de flujo de carga en las subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional simplificado (Escenario 3).

Flujo de potencia en las líneas de transmisión.								
DESDE		HASTA		Línea	Potencia de operación			MVA nominal de línea
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Jose 400		Barbacoa II 400		L1	124,610	57,131	137,082	569,69

398,039	-2,8	395,391	-3,4					
San Gerónimo 400		Jose 400		L1	125,079	-51,816	135,387	1553,54
400,000	0,0	398,039	-2,8					
El Tigre I 400		Barbacoa II 400		L1	158,104	-27,063	160,403	529,38
400,000	0,0	395,391	-3,4					
El Tigre I 400		San Gerónimo 400		L1	0,001	-73,197	73,197	1249,75
400,000	0,0	400,000	0,0	L2	0,001	-72,240	72,240	1223,46
Barbacoa II 230		Guanta II 230		L1	140,842	67,571	156,212	797,79
235,991	-4,2	230,278	-6,3	L2	140,842	67,571	156,212	797,79
El Furrial 230		El Indio 230		L1	117,515	26,077	120,374	299,18
230,538	-1,3	227,361	-3,4	L2	117,515	26,077	120,374	299,18
El Indio 230		Casanay 230		L1	53,867	-10,987	54,976	199,35
227,361	-3,4	226,292	-6,5	L2	53,867	-10,987	54,976	199,35
El Tigre I 230		El Furrial 230		L1	12,147	-13,538	18,189	299,18
230,716	-0,5	230,538	-1,3	L2	12,147	-13,538	18,189	299,18
Guanta II 230		Casanay 230		L1	9,305	22,741	24,571	199,35
230,278	-6,3	226,292	-6,5	L2	9,305	22,741	24,571	199,35
Guanta II 230		PAL (GIS) 230		L1	130,555	44,202	137,835	199,35
230,278	-6,3	229,082	-7,0	L2	130,555	44,202	137,835	199,35

Continuación de la Tabla 3.69...

Flujo de potencia en los transformadores								
DESDE		HASTA		Transf.	Potencia de operación			MVA nominal del Transf.
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Barbacoa II 400		Barbacoa II 230		T1	140,893	70,120	157,377	450
395,391	-3,4	235,991	-4,2	T2	140,893	70,120	157,377	450

El Tigre I 400		El Tigre I 230		T1	76,110	26,827	80,699	450
400,000	0,0	230,716	-0,5	T2	76,110	26,827	80,699	450
El Furrial 400		El Furrial 230		T1	210,884	33,984	213,605	450
400,000	0,0	230,538	-1,3					

Al igual que en los escenarios anteriormente estudiados, en éste los niveles de tensión también se encontrarían dentro de los límites permitidos.

Se puede observar que en este caso, la potencia fluye del Sistema Interconectado Nacional hacia la RPLC, esto es debido a que no existe ningún punto donde haya generación, y por lo tanto, toda la potencia que provenga de la fuente de suministro será absorbida por los puntos de carga.

En condiciones ideales ambos alimentadores de Guanta II permanecerían conectados al sistema CP-VALCOR-RPLC, permitiendo el buen funcionamiento del mismo, pero ante la salida de una de las líneas, la que continúe en servicio se vería sobrecargada provocando la actuación de las protecciones. En conclusión, el sistema no operará si se alimenta por una sola línea proveniente de la subestación Guanta II.

3.4.4. Escenario 4: Contingencia #3. Pérdida de un generador PAL y de un interconector de la subestación Guanta II.

- Un generador PAL fuera de servicio.
- Un interconector Guanta II / Barbacoas II fuera de servicio.
- Doble interconexión con Conversión Profunda.
- Toda la carga conectada en Conversión Profunda. (220 MW)
- Toda la Carga VALCOR conectada (40 MW)

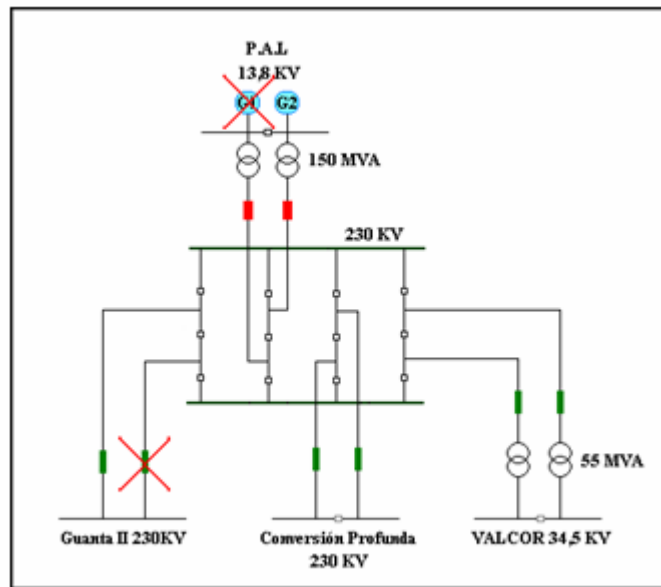


Figura 3.4. Diagrama unifilar del sistema eléctrico en estudio para el Escenario #4.

Las posiciones de los taps de los transformadores son las siguientes:

- Transformadores Barbacoa II (400/230 kV): -0,625%.
- Transformadores El Tigre I (400/230 kV): 0%.
- Transformador El Furrial (400/230 kV): 0%.
- Transformadores VALCOR (230/34,5 kV): -3,125%.
- Transformadores PAL (230/13,8 kV): 1,25%
- Transformadores Conversión Profunda: en las mismas posiciones indicadas en la **tabla 3.19**.

El resumen de los resultados se muestra a continuación desde la **tabla 3.70** hasta la **tabla 3.86**.

Tabla 3.70. Resultados del Flujo de carga en las diferentes subestaciones del sistema (Escenario 4).

S/E		Tensión		Ángulo (Grados)	Potencia entregada		Potencia recibida		%ΔV
		kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
Planta Alberto Lovera	Gen 1	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
	Gen 2	13,800	1,000	-2,53	150,000	70,1	0,000	0,000	0%
Guanta II		229,796	0,999	-3,91	169,5	67,8	170,2	60,2	-0,1%
Conversión Profunda		228,851	0,995	-4,65	0,000	0,000	221,5	63,101	-0,5%
VALCOR		34,644	1,004	-6,50	0,000	0,000	39,2	24,244	0,4%

Tabla 3.71. Resultados de flujo de carga en las barras principales de Conversión Profunda (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
MS-SWG-601 "A"	228,851	0,995	-4,6	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,5%
MS-SWG-601 "B"	228,851	0,995	-4,6	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,5%

Continuación de la Tabla 3.71...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
MS-SWG/MCC-501 "A"	35,150	1,019	-6,9	0,000	0,000	0,000	0,000	1,9%
MS-SWG/MCC-501 "B"	35,140	1,019	-7,0	0,000	0,000	0,000	0,000	1,9%
MS-SWG/MCC-502 "A"	35,117	1,018	-6,9	0,000	0,000	0,000	0,000	1,8%
MS-SWG/MCC-502 "B"	35,096	1,017	-7,0	0,000	0,000	0,000	0,000	1,7%
MS-SWG/MCC-401 "A"	13,824	1,002	-8,0	0,000	0,000	26,350	-16,330	0,2%
MS-SWG/MCC-401 "B"	13,949	1,011	-6,3	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,1%
MS-SWG/MCC-402 "A"	13,711	0,994	-7,1	0,000	0,000	19,175	-11,884	-0,6%

MS-SWG/MCC-402 "B"	13,947	1,011	-6,3	0,000	0,000	13,175	-8,165	1,1%
--------------------	--------	-------	------	-------	-------	--------	--------	------

Tabla 3.72. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS70 (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS70-SWG/MCC-301 "A"	4,151	0,998	-8,5	0,000	0,000	2,395	1,332	-0,2%
SS70-SWG/MCC-301 "B"	4,154	0,999	-8,5	0,000	0,000	2,278	1,263	-0,1%
SS70-MCC-201 "A"	0,482	1,008	-9,7	0,000	0,000	0,852	0,528	0,8%
SS70-MCC-201 "B"	0,483	1,006	-9,7	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS70-MCC-202 "A"	0,482	1,008	-9,7	0,000	0,000	0,852	0,528	0,8%
SS70-MCC-202 "B"	0,483	1,006	-9,7	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%

Tabla 3.73. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS74 (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS74-SWG/MCC-301 "A"	4,166	1,001	-8,2	0,000	0,000	2,548	1,386	0,1%
SS74-SWG/MCC-301 "B"	4,158	0,999	-8,5	0,000	0,000	3,112	1,512	-0,1%

Continuación de la Tabla 3.73...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS74-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-9,5	0,000	0,000	0,853	0,529	0,8%
SS74-MCC-201 "B"	0,483	1,006	-9,7	0,000	0,000	0,852	0,529	0,6%
SS74-SWG/MCC-302 "A"	4,160	1,000	-8,4	0,000	0,000	2,809	1,529	0%
SS74-SWG/MCC-302 "B"	4,161	1,000	-8,3	0,000	0,000	2,692	1,475	0%
SS74-MCC-202 "A"	0,483	1,006	-9,6	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS74-MCC-202 "B"	0,484	1,008	-9,6	0,000	0,000	0,853	0,528	0,8%

**Tabla 3.74. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS76 (Escenario 4).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS76-SWG/MCC-301 "A"	4,145	0,996	-8,8	0,000	0,000	5,626	3,032	-0,4%
SS76-SWG/MCC-301 "B"	4,137	0,994	-9,0	0,000	0,000	6,140	3,290	-0,6%
SS76-MCC-201 "A"	0,482	1,004	-10,1	0,000	0,000	0,851	0,527	0,4%
SS76-MCC-201 "B"	0,481	1,002	-10,2	0,000	0,000	0,850	0,527	0,2%
SS76-MCC-202 "A"	0,482	1,004	-10,1	0,000	0,000	0,851	0,527	0,4%
SS76-MCC-202 "B"	0,481	1,002	-10,2	0,000	0,000	0,850	0,527	0,2%
SS76-SWG/MCC-302 "A"	4,145	0,996	-8,8	0,000	0,000	5,626	3,032	-0,4%
SS76-SWG/MCC-302 "B"	4,152	0,998	-8,7	0,000	0,000	4,947	2,667	-0,2%
SS76-MCC-203 "A"	0,482	1,004	-10,1	0,000	0,000	0,851	0,527	0,4%
SS76-MCC-203 "B"	0,482	1,004	-9,9	0,000	0,000	0,852	0,528	0,4%
SS76-MCC-204 "A"	0,482	1,004	-10,1	0,000	0,000	0,851	0,527	0,4%
SS76-MCC-204 "B"	0,482	1,004	-9,9	0,000	0,000	0,852	0,528	0,4%

**Tabla 3.75. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS77 (Escenario 4).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS77-SWG/MCC-301 "A"	4,131	0,993	-8,7	0,000	0,000	2,114	1,206	-0,7%
SS77-SWG/MCC-301 "B"	4,116	0,989	-8,9	0,000	0,000	2,717	1,541	-1,1%
SS77-MCC-201 "A"	0,480	1,000	-10,0	0,000	0,000	0,850	0,527	0%
SS77-MCC-201 "B"	0,479	0,998	-10,3	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%

SS77-MCC-202 "A"	0,480	1,000	-10,0	0,000	0,000	0,850	0,527	0%
SS77-MCC-202 "B"	0,479	0,998	-10,3	0,000	0,000	0,849	0,526	0,2%
SS77-MCC-203 "A"	0,483	1,006	-11,1	0,000	0,000	0,852	0,528	0,6%
SS77-MCC-203 "B"	0,481	1,002	-11,4	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%

**Tabla 3.76. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS83 (Escenario 4).**

SS83-1								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-1-SWG/MCC-301 "A"	4,099	0,986	-9,3	0,000	0,000	2,113	1,309	-1,4%
SS83-1-SWG/MCC-301 "B"	4,100	0,986	-9,3	0,000	0,000	2,113	1,309	-1,4%
SS83-1-MCC-201 "A"	0,476	0,992	-10,6	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%
SS83-1-MCC-201 "B"	0,476	0,992	-10,6	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%
SS83-2								
ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS83-2-SWG/MCC-301 "A"	4,099	0,986	-9,3	0,000	0,000	2,113	1,309	-1,4%
SS83-2-SWG/MCC-301 "B"	4,099	0,986	-9,3	0,000	0,000	2,113	1,309	1,4%
SS83-2-MCC-201 "A"	0,476	0,992	-10,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,8%
SS83-2-MCC-201 "B"	0,476	0,992	-10,6	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,8%

**Tabla 3.77. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS85 (Escenario 4).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS85-SWG/MCC-301 "A"	4,141	0,995	-8,7	0,000	0,000	2,850	1,404	-0,5%
SS85-SWG/MCC-301 "B"	4,146	0,997	-8,5	0,000	0,000	2,310	1,221	-0,3%
SS85-MCC-201 "A"	0,481	1,002	-9,9	0,000	0,000	0,851	0,527	0,6%
SS85-MCC-201 "B"	0,482	1,004	-9,8	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%

SS85-MCC-202 "A"	0,481	1,002	-9,9	0,000	0,000	0,851	0,527	0,2%
SS85-MCC-202 "B"	0,482	1,004	-9,8	0,000	0,000	0,851	0,528	0,4%

Tabla 3.78. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS86 (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS86-SWG/MCC-301 "A"	4,099	0,985	-9,3	0,000	0,000	2,318	1,217	-1,5%
SS86-SWG/MCC-301 "B"	4,100	0,986	-9,3	0,000	0,000	2,130	1,105	-1,4%
SS86-MCC-201 "A"	0,476	0,992	-10,6	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%
SS86-MCC-201 "B"	0,476	0,992	-10,6	0,000	0,000	0,847	0,525	-0,8%

Tabla 3.79. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS87 (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS87-SWG/MCC-301 "A"	4,116	0,989	-9,1	0,000	0,000	1,176	0,663	-1,1%
SS87-SWG/MCC-301 "B"	4,120	0,990	-9,1	0,000	0,000	1,059	0,590	-1,0%

Continuación de la Tabla 3.79...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS87-MCC-201 "A"	0,479	0,998	-10,3	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,2%
SS87-MCC-201 "B"	0,478	0,996	-10,4	0,000	0,000	0,849	0,526	-0,4%
SS87-MCC-202 "A"	0,478	0,996	-10,3	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%
SS87-MCC-202 "B"	0,478	0,996	-10,3	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%
SS87-MCC-203 "A"	0,478	0,996	-10,3	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%
SS87-MCC-203 "B"	0,478	0,996	-10,3	0,000	0,000	0,424	0,263	-0,4%

Tabla 3.80. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS88 (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS88-SWG/MCC-301 "A"	4,162	1,000	-8,3	0,000	0,000	2,678	1,513	0%
SS88-SWG/MCC-301 "B"	4,160	1,000	-8,3	0,000	0,000	2,678	1,513	0%
SS88-MCC-201 "A"	0,484	1,008	-9,5	0,000	0,000	0,426	0,264	0,8%
SS88-MCC-201 "B"	0,483	1,006	-9,6	0,000	0,000	0,426	0,264	0,6%
SS88-MCC-202 "A"	0,484	1,008	-9,5	0,000	0,000	0,426	0,264	0,8%
SS88-MCC-202 "B"	0,483	1,006	-9,6	0,000	0,000	0,426	0,264	0,6%

Tabla 3.81. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS90-1, SS90-2 y SS89 (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS90-1-SWG-301 "A"	4,181	1,005	-7,9	0,000	0,000	4,176	2,588	0,5%
SS90-1-SWG-301 "B"	4,164	1,002	-8,3	0,000	0,000	2,237	1,386	0,2%

Continuación de la Tabla 3.81...

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS90-1-SWG-301 "E"	4,164	1,002	-8,3	0,000	0,000	3,433	2,122	0,2%
SS90-1-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-9,1	0,000	0,000	0,405	0,251	1,3%
SS90-1-SWG-201 "B"	0,484	1,008	-9,5	0,000	0,000	0,427	0,265	0,8%
SS90-1-MCC-201 "E"	0,479	0,998	-8,4	0,000	0,000	0,076	0,047	-0,2%
SS90-2-SWG-201 "A"	0,485	1,010	-9,3	0,000	0,000	0,476	0,295	1,0%

SS90-2-SWG-201 "B"	0,484	1,008	-9,3	0,000	0,000	0,390	0,242	0,8%
SS90-1-SWG-302 "A"	4,180	1,005	-8,0	0,000	0,000	4,300	2,665	0,5%
SS90-1-SWG-302 "B"	4,187	1,006	-7,8	0,000	0,000	2,664	1,651	0,6%
SS90-1-SWG-302 "E"	4,187	1,006	-7,8	0,000	0,000	0,619	0,384	0,6%
SS90-1-SWG-202 "A"	0,476	0,992	-8,9	0,000	0,000	0,449	0,278	-0,8%
SS90-1-SWG-202 "B"	0,477	0,994	-8,7	0,000	0,000	0,458	0,284	-0,6%
SS89-SWG-201 "A"	0,477	0,994	-8,9	0,000	0,000	0,441	0,273	-0,6%
SS89-SWG-201 "B"	0,477	0,994	-8,8	0,000	0,000	0,463	0,287	-0,6%
SS89-MCC-201 "E"	0,477	0,994	-8,6	0,000	0,000	0,149	0,093	-0,6%

Tabla 3.82. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-1 A (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1A-SWG-301 "A"	4,167	1,002	-8,1	0,000	0,000	0,493	0,306	0,2%
SS98-1A-SWG-301 "B"	4,135	0,994	-8,6	0,000	0,000	0,932	0,577	-0,6%
SS98-1A-SWG-201 "A"	0,486	1,013	-9,1	0,000	0,000	0,509	0,315	1,3%
SS98-1A-SWG-201 "B"	0,482	1,004	-9,6	0,000	0,000	0,500	0,310	0,4%

Tabla 3.83. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación SS98-1B y SS98-1C (Escenario 4).

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-1B-SWG-301 "A"	4,162	1,000	-8,2	0,000	0,000	1,420	0,880	0 %
SS98-1B-SWG-301 "B"	4,156	0,999	-8,3	0,000	0,000	1,344	0,833	-0,1%

SS98-1B-SWG-201 "A"	0,484	1,008	-9,3	0,000	0,000	0,379	0,235	0,8%
SS98-1B-SWG-201 "B"	0,480	1,000	-9,8	0,000	0,000	0,523	0,324	0%
SS98-1C-SWG-201 "A"	0,484	1,008	-9,4	0,000	0,000	0,405	0,251	0,8%
SS98-1C-SWG-201 "B"	0,483	1,006	-9,4	0,000	0,000	0,402	0,249	0,6%

**Tabla 3.84. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-2A y SS95 (Escenario 4).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2A-SWG-301 "A"	4,169	1,006	-8,2	0,000	0,000	1,304	0,808	0,6%
SS98-2A-SWG-301 "B"	4,173	1,007	-8,1	0,000	0,000	1,112	0,627	0,7%
SS98-2A-SWG-201 "A"	0,484	1,008	-9,5	0,000	0,000	0,680	0,421	0,8%
SS98-2A-SWG-201 "B"	0,484	1,008	-9,4	0,000	0,000	0,696	0,431	0,8%
SS95-SWG-301 "A"	4,169	1,006	-8,2	0,000	0,000	3,249	2,013	0,6%
SS95-SWG-301 "B"	4,173	1,007	-8,1	0,000	0,000	2,852	1,767	0,7%
SS95-SWG-201 "A"	0,474	0,988	-9,1	0,000	0,000	0,492	0,305	-1,2%
SS95-SWG-201 "B"	0,473	0,985	-9,2	0,000	0,000	0,572	0,355	-1,5%
SS95-SWG-202 "A"	0,474	0,988	-9,1	0,000	0,000	0,487	0,302	-1,2%
SS95-SWG-202 "B"	0,475	0,990	-9,0	0,000	0,000	0,475	0,294	-1,0%

**Tabla 3.85. Resultados de flujo de carga en las barras de la subestación
SS98-2B (Escenario 4).**

ID BARRA	Tensión		Ángulo (Grados)	Generación		Carga		%ΔV
	kV	P.U.		MW	MVAR	MW	MVAR	
SS98-2B-SWG-301 "A"	4,199	1,009	-7,6	0,000	0,000	2,677	1,659	0,7%

SS98-2B-SWG-301 "B"	4,188	1,007	-7,8	0,000	0,000	3,533	2,190	0,4%
SS98-2B-SWG-201 "A"	0,475	0,990	-9,0	0,000	0,000	0,695	0,431	-1,0%
SS98-2B-SWG-201 "B"	0,473	0,985	-9,2	0,000	0,000	0,722	0,448	-1,5%

Tabla 3.86. Resultados de flujo de carga en las subestaciones del Sistema Eléctrico Nacional simplificado (Escenario 4).

Flujo de potencia en las líneas de transmisión.								
DESDE		HASTA		Línea	Potencia de operación			MVA nominal de línea
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Jose 400		Barbacoa II 400		L1	75,324	21,027	78,204	569,69
404,872	-1,7	403,569	-2,1					
San Gerónimo 400		Jose 400		L1	75,532	-93,334	120,068	1553,54
400,000	0,0	404,872	-1,7					
El Tigre I 400		Barbacoa II 400		L1	95,188	-79,126	123,781	529,38
400,000	0,0	403,569	-2,1					
El Tigre I 400		San Gerónimo 400		L1	0,001	-73,197	73,197	1249,75
400,000	0,0	400,000	0,0	L2	0,001	-72,240	72,240	1223,46
Barbacoa II 230		Guanta II 230		L1	85,062	31,131	90,580	797,79
232,707	-2,6	229,794	-3,9	L2	85,062	31,131	90,580	797,79
El Furrial 230		El Indio 230		L1	96,790	24,396	99,817	299,18
229,204	-1,1	226,290	-2,9	L2	96,790	24,396	99,817	299,18
El Indio 230		Casanay 230		L1	33,623	-11,139	35,420	199,35
226,290	-2,9	225,684	-4,8	L2	33,623	-11,139	35,420	199,35

Continuación de la Tabla 3.86...

Flujo de potencia en las líneas de transmisión.								
DESDE		HASTA		Línea	Potencia de operación			MVA nominal de línea
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
El Tigre I 230		El Furrial 230		L1	9,178	-13,426	16,263	299,18

229,271	-0,5	229,204	-1,1	L2	9,178	-13,426	16,263	299,18
Guanta II 230		Casanay 230		L1	29,196	21,655	36,350	199,35
229,794	-3,9	225,684	-4,8	L2	29,196	21,655	36,350	199,35
Guanta II 230		PAL (GIS) 230		L1	111,054	24,373	113,697	199,35
229,794	-3,9	229,058	-4,5	L2	-----	-----	-----	199,35
Flujo de potencia en los transformadores								
DESDE		HASTA		Transf.	Potencia de operación			MVA nominal del Transf.
kV	Angulo (grados)	kV	Angulo (grados)		MW	MVAR	MVA	
Barbacoa II 400		Barbacoa II 230		T1	85,080	31,006	90,554	450
403,569	-2,1	232,707	-2,6	T2	85,080	31,006	90,554	450
El Tigre I 400		El Tigre I 230		T1	72,740	26,642	77,466	450
400,000	0,0	229,271	-0,5	T2	72,740	26,642	77,466	450
El Furrial 400		El Furrial 230		T1	175,320	29,364	177,762	450
400,000	0,0	229,204	-1,1					

Lo que se puede observar de este escenario, es que la potencia a través de las líneas del tramo PAL (GIS) – Conversión Profunda no fluye de manera equitativa debido al “desequilibrio” que se presenta al poner fuera de servicio uno de los alimentadores provenientes de la S/E Guanta II, sin embargo, esto no sería un impedimento del sistema para alimentar correctamente las cargas presentes, gracias a la existencia del enlace entre las secciones “A” y “B” de la barra principal MS-SWG-601. Por otra parte, a pesar de que las barras presentan niveles de tensión dentro de los límites permisibles, algunas tienen un voltaje muy cercano al límite inferior.

La subestación Guanta II presenta en todos los escenarios anteriores un nivel de tensión muy cercano al nominal gracias a los transformadores de la subestación Barbacoa II, que mejoran las caídas de tensión existentes al nivel de 230 kV al cambiar automáticamente la posición de sus TAP’s secundarios.

Adicionalmente se estudió el caso en el que se pierde la interconexión entre Barbacoa II y Guanta II con el resto del sistema funcionando normalmente como se observa en la **figura 3.5-a**, bajo esta condición el sistema opera perfectamente ya que no se observan grandes caídas de tensión en Guanta II, Conversión Profunda y RPLC, esto es debido a que dichas subestaciones se ven compensadas por los transformadores de la Planta Alberto Lovera, y el flujo de potencia en el Sistema Eléctrico Nacional es desde la S/E GIS hacia Guanta II, y de ésta hacia Casanay.

Si además fallase un generador de PAL (**figura 3.5-b**) el flujo de potencia se invertiría dirigiéndose desde Casanay hacia Guanta II, y desde ésta hacia la GIS. Para éste caso, a diferencia del anterior, la tensión en la subestación Guanta II adquirió valores muy bajos, a tal punto que no permitiría la operación de la planta de Conversión Profunda, esto es debido a que los transformadores de PAL no logran compensar esta situación.

En un intento de mejorar la tensión en las diferentes subestaciones del sistema se colocó un capacitor en Guanta II, obteniendo como resultado un aumento en el voltaje de la misma, proporcionándole a Conversión Profunda, VALCOR y RPLC la energía necesaria para su funcionamiento adecuado. En vista de lo anteriormente dicho, la colocación de un banco de capacitores sería una solución viable, y a su vez más económica en comparación con la de crear generación adicional.

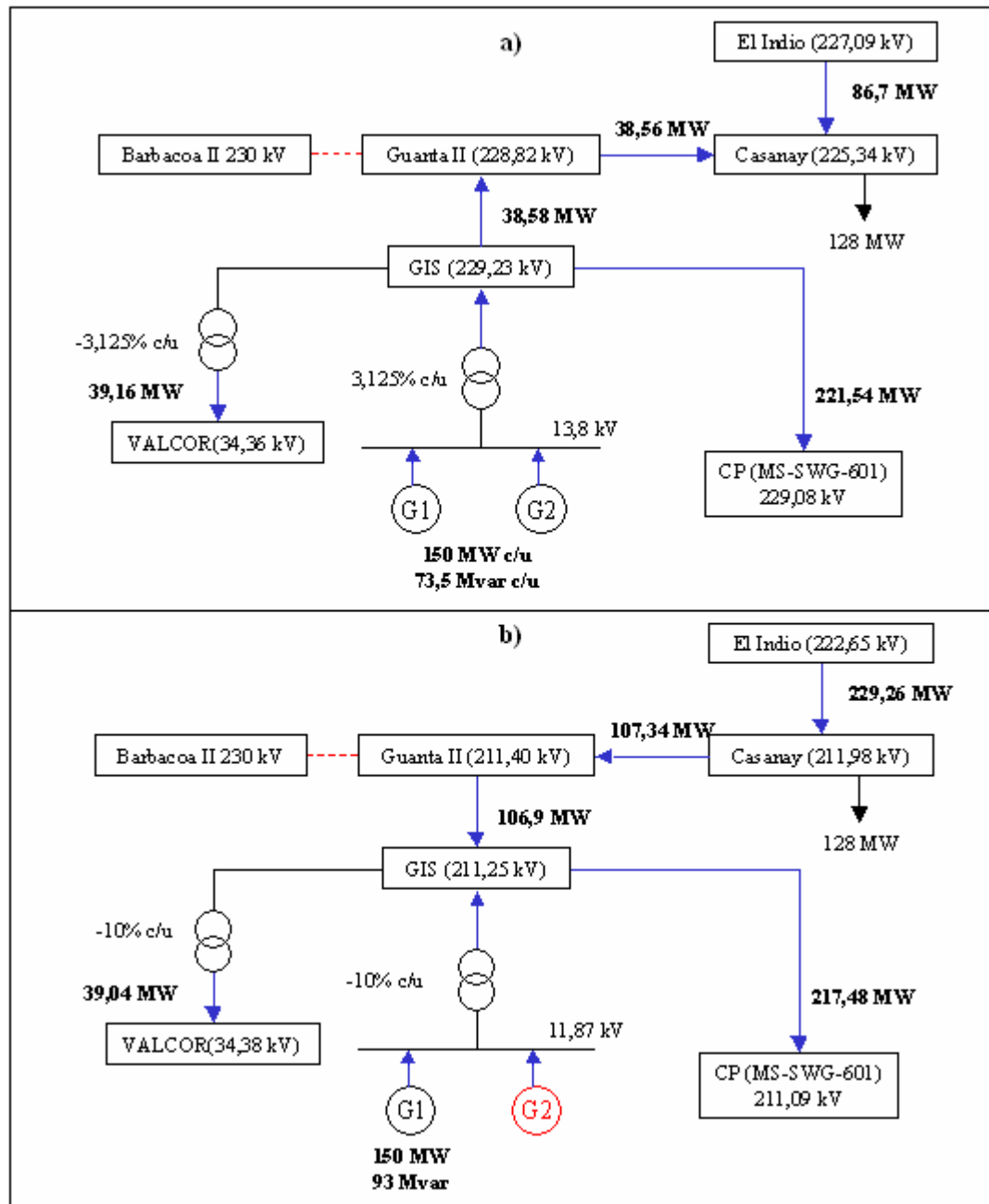


Figura 3.5. Flujo de carga obtenido para: a) Pérdida de la interconexión entre Barbacoa II 230 kV – Guanta II 230 kV. b) Pérdida de la interconexión entre Barbacoa II 230 kV – Guanta II 230 kV y de 1 generador de PAL.

CAPÍTULO IV

ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

Un cortocircuito es un fenómeno eléctrico que ocurre cuando dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial se ponen en contacto entre sí, caracterizándose por elevadas corrientes circulantes hasta el punto de falla [6].

Una parte esencial en el diseño de un sistema de potencia es el cálculo de las corrientes que fluyen en sus componentes cuando fallas de varios tipos ocurren [8]. La corriente que fluye durante un cortocircuito en cualquier punto de un sistema está limitada por la impedancia de los circuitos y equipos desde la fuente o fuentes al punto de falla y pueden llegar a ser entre 5 y 20 veces la corriente máxima de carga en el punto de falla. No está directamente relacionada al tamaño de la carga en el sistema. Sin embargo, adiciones al sistema que incrementan su capacidad para manejar una carga en crecimiento, pueden incrementar drásticamente la corriente de cortocircuito en esas partes del sistema [9].

Principalmente el propósito del estudio de cortocircuito es:

- Determinar el esfuerzo impuesto sobre barras y dispositivos de interrupción, tales como interruptores, seccionadores y fusibles.
- Aplicar los resultados a dispositivos de protección: reles, fusibles.
- Coordinar los dispositivos de protección.
- Determinar los esfuerzos mecánicos y térmicos sobre cables, barras, ductos, entre otros.
- Determinar las características de operación de los grandes convertidores estáticos.
- Determinar la mínima y máxima corriente de cortocircuito.

La duración del cortocircuito es el tiempo en milisegundos o ciclos durante el cual, la corriente de cortocircuito circula por el sistema. El fuerte incremento del calor generado por tal magnitud de corriente, puede destruir o envejecer los aislantes del sistema eléctrico, por lo tanto, es de vital importancia reducir este tiempo al mínimo mediante el uso de protecciones adecuadas.

4.1. Tipos de Cortocircuito.

Un cortocircuito se manifiesta por la disminución repentina de la impedancia de un circuito determinado, lo que produce un aumento de la corriente. En sistemas eléctricos trifásicos se pueden producir distintos tipos de fallas, entre las que se pueden mencionar:

- Trifásicas
- Línea a tierra
- Línea a línea
- Línea a línea a tierra

Las fallas trifásicas son las correspondientes a las fallas *simétricas* y las demás son llamadas también fallas *asimétricas* debido a que originan un desbalance entre las fases. La experiencia a mostrado que entre el 70 y 80% de las fallas en líneas de transmisión son las fallas monofásicas a tierra (o línea a tierra), y en orden descendente seguiría la de línea a línea, quedando en último término la falla trifásica, cuya ocurrencia se presenta principalmente por causas accidentales.

Para determinar las características del equipo de protección, así como la protección misma y los estudios de esfuerzos electrodinámicos en una subestación eléctrica, normalmente se efectúan estudios de cortocircuitos para fallas de línea a

tierra y trifásicas. La primera, por ser más probable de ocurrir, y la segunda, porque a pesar de ser la menos probable en ocurrencia, es la que puede someter a los equipos, máquinas y/o aparatos a los esfuerzos más severos; Desde el punto de vista analítico los cálculos de las fallas trifásicas, resultan mas fácil de estudiar y sus resultados son bastante conservadores para las distintas aplicaciones, especialmente en instalaciones eléctricas de distribución o las denominadas instalaciones y subestaciones eléctricas tipo industrial [10].

En el caso que se requieran cálculos de fallas de línea a línea, se puede asumir el criterio según la IEEE Std 141-1993, el cual establece que las corrientes de cortocircuito son aproximadamente el 87% de las corrientes de cortocircuito trifásicas.

4.2. Fuentes que contribuyen a la corriente de falla.

Para evaluar la corriente de cortocircuito de un sistema de potencia es necesario identificar los diferentes equipos que van a contribuir a la corriente de falla. Al producirse un cortocircuito, las corrientes de frecuencia fundamental que circulan por el sistema de distribución, provienen del sistema de transmisión y de las máquinas eléctricas conectadas.

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

4.2.1. Empresa de suministro eléctrico.

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

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

4.2.2. Generadores sincrónicos.

En la **figura 4.1**, se muestra un grupo de oscilogramas típico de las corrientes en la armadura trifásica cuando un generador sincrónico está cortocircuitado. En las tres gráficas es evidente la presencia de una componente de CD, y cuya magnitud de la corriente directa presente depende del instante en el cual el cortocircuito es aplicado y del factor de potencia del circuito. Como hay tres voltajes a 120° es posible que tenga una componente de corriente directa igual a cero[8].

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

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

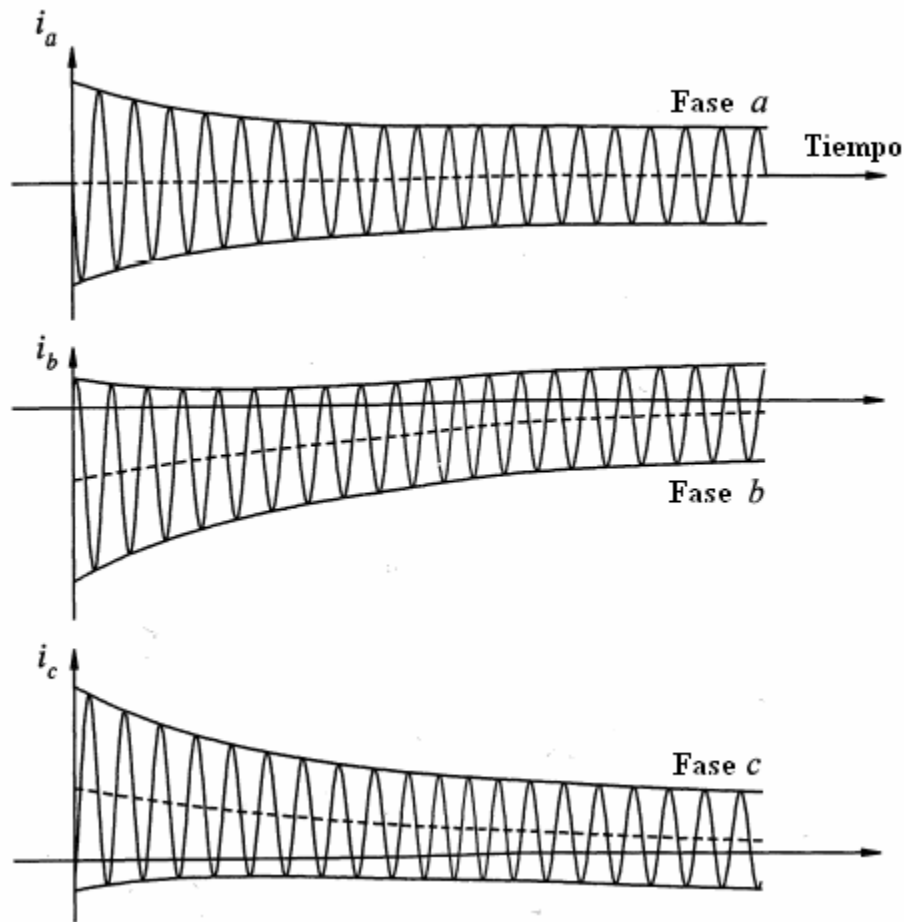


Figura 4.1. Oscilogramas de la corriente en las tres fases de un generador cuando se aplica un cortocircuito [9].

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

4.2.2.1. Reactancia subtransitoria (X_d'').

Es la reactancia aparente del estator en el instante en que se produce el cortocircuito y determina la corriente que circula en el devanado del estator durante los primeros ciclos mientras dure el cortocircuito (etapa subtransitoria).

4.2.2.2. Reactancia transitoria (X_d')

Esta reactancia determina la intensidad que circula durante el intervalo posterior al que se indicó anteriormente y en el que la reactancia subtransitoria constituye el factor decisivo. La reactancia transitoria hace sentir sus efectos durante $\frac{1}{2}$ segundo o más, según la construcción de la máquina.

4.2.2.3. Reactancia sincrónica (X_d)

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

Además, para los generadores sincrónicos, los fabricantes presentan dos tipos de reactancias:

X_{dv}' : a tensión nominal, saturada, más pequeña.

X_{di}'' : a corriente nominal, no saturada, más grande.

Para calcular el nivel de cortocircuito se utiliza X_{dv}'' , como un valor conservador.

4.2.3. Motores sincrónicos.

Los motores sincrónicos alimentan a la corriente de cortocircuito tanto como los generadores sincrónicos. Cuando una falla provoca una caída de tensión, el motor sincrónico recibe menos potencia del sistema para mover su carga. Al mismo tiempo un voltaje interno hace que la corriente fluya hacia la falla del sistema. La inercia del motor y su carga actúan como impulsores y, con la excitación mantenida, el motor actúa como un generador para contribuir a la corriente de falla. Esta corriente de falla disminuye en la medida en que el campo magnético en la máquina decae [9].

Un motor sincrónico tiene las mismas clases de reactancias que un generador, aunque de diferente valor.

4.2.4. Motores de inducción.

Según es estándar IEEE 141.1993, un motor de inducción de jaula de ardilla contribuirá con la corriente de cortocircuito de un sistema de potencia. Este es generado por la inercia que maneja el motor en presencia de un flujo de campo producido por inducción desde el estator en vez de provenir de un bobinado de campo de cd. A medida que este flujo decae en pérdida de la fuente de voltaje causada por una falla en los terminales del motor, la contribución de corriente por parte de un motor de inducción se reduce y desaparece completamente luego de un par de ciclos. Debido a que el campo de excitación no se mantiene, no existe valor de estado estacionario como en las máquinas sincrónicas.

Como los motores de inducción no tienen bobinados inductores de campo, pero las barras del rotor actúan como los arrollamientos amortiguadores en un generador; entonces, se considera que estos motores solo tienen reactancias subtransitorias [11].

4.3. Corriente de cortocircuito.

Las corrientes de cortocircuito se dividen en simétricas y asimétricas. La palabra simétrica describe el desplazamiento de la onda de la corriente ac del eje cero. Cuando la onda de la corriente es simétrica con respecto al eje cero, entonces esta es llamada “componente simétrica de la corriente”; si por el contrario no es simétrica con respecto al eje cero es llamada “componente asimétrica de la corriente”.

Las corrientes asimétricas son analizadas en términos de dos componentes, una componente simétrica ac y una componente dc. La componente simétrica de la corriente aumenta drásticamente al ocurrir el cortocircuito y va decayendo con el tiempo debido a un cambio aparente de las reactancias de las máquinas. La componente dc también decae con el tiempo hasta llegar a un valor igual a cero. La **figura 4.2** muestra esta característica de la corriente asimétrica.

La corriente de cortocircuito total, como ya se ha mencionado, tiene la contribución de varias fuentes dependiendo de su naturaleza. Debido a que las corrientes de las máquinas rotativas decaen con el tiempo debido a la reducción del flujo en la máquina luego de un cortocircuito, la corriente de cortocircuito total decae con el tiempo. Considerando solo la parte simétrica de la corriente de cortocircuito, la magnitud es más grande en el primer medio ciclo después del cortocircuito y se hace más pequeña luego de unos ciclos. Note que la componente del motor de inducción casi desaparece después de uno o dos ciclos, excepto para motores muy grandes donde puede desaparecer hasta después de los cuatro ciclos. La **figura 4.3** muestra la contribución de cada fuente a la corriente de cortocircuito.

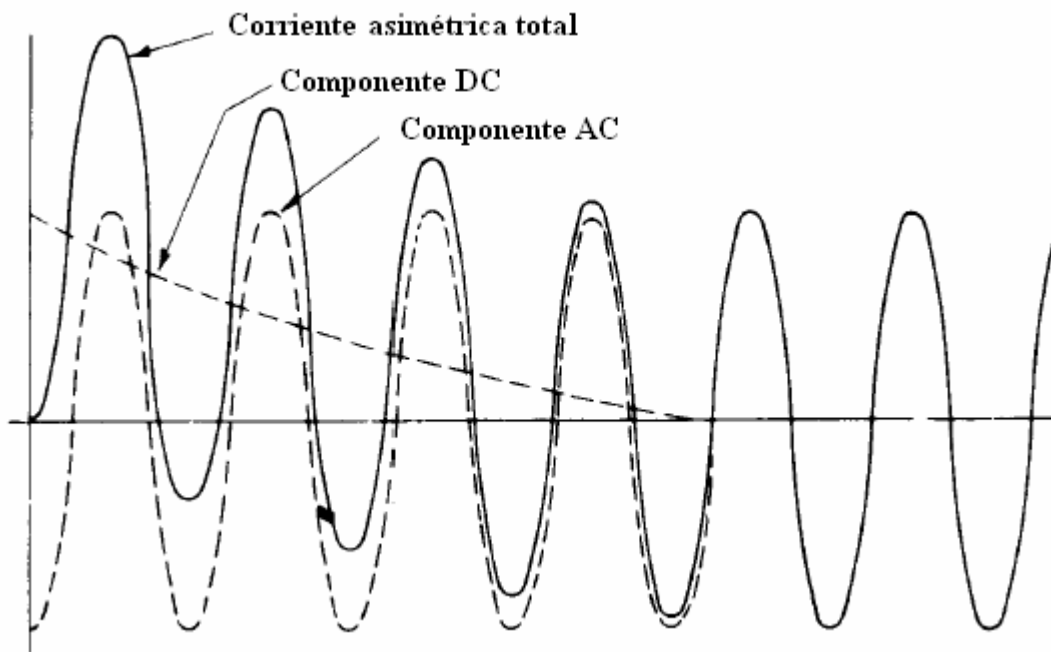


Figura 4.2. Decrecimiento de la componente dc y efecto de la asimetría de la corriente [9].

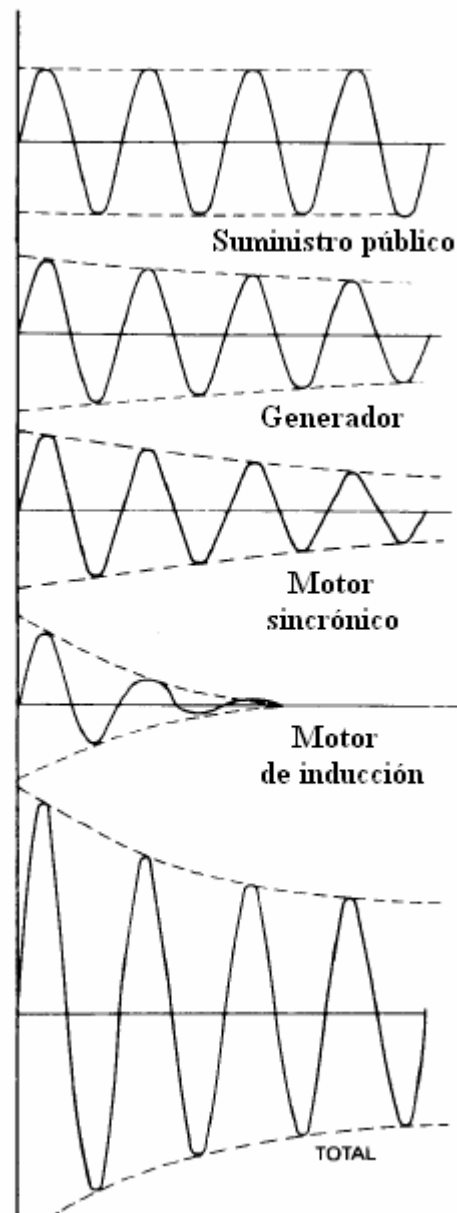


Figura 4.3. Contribución de las diferentes fuentes a la corriente total de cortocircuito [9].

La magnitud de la corriente durante los primeros ciclos se ve incrementada por efecto de la componente dc. Esta componente también va decayendo con el tiempo, acentuando la diferencia entre la magnitud de la corriente de cortocircuito en el primer ciclo después de que el cortocircuito ocurre y la corriente luego de unos pocos ciclos después.

4.4. Cálculo de la corriente de cortocircuito.

4.4.1. Método de cálculo de cortocircuito empleado por el ETAP [12].

Para los estudios de cortocircuito, ETAP analiza los efectos de las fallas trifásicas, monofásicas, bifásicas y bifásicas a tierra en sistemas eléctricos de potencia para $\frac{1}{2}$ ciclo (red subtransitoria), 1.5 a 4 ciclos (red transitoria) y para 30 ciclos (red de estado estacionario). El programa calcula las corrientes totales de cortocircuito así como la contribución individual de los motores y generadores en el sistema. Los estudios son desarrollados bajo la última versión de las Normas ANSI/IEEE e IEC.

Para efectos de este proyecto, solo se realizó la simulación para cortocircuito trifásico a medio ciclo de haber ocurrido la falla y se seleccionó como método de cálculo el descrito por la Norma ANSI/IEEE, que se rige por los siguientes estándares.

ESTÁNDAR	AÑO	TÍTULO
IEEE C37.20.1	1993	Standard for Metal Enclosed Low-Voltage Power Circuit Breaker Switchgear.
IEEE Std 141	1993	Electric Power Distribution for Industrial Plants – The Red Book.
UL 489-9	1996	Standard for Safety for Molded-Case Circuit Breakers, Molded-Case Switches, and Circuit-Breaker Enclosures.

ESTÁNDAR	AÑO	TITULO
IEEE C37.013	1997	Standard for AC High-Voltage Generator Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis
IEEE Std 399	1997	Power System Analysis – the Brown Book
IEEE C37.04	1999	Standard Rating Structures for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.
IEEE C37.010	1999	Standard Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis and Supplements.
IEEE Std 242	2001	IEEE Recommended Practice for protection and Coordination of Industrial and Commercial Power Systems – The Buff Book.

El método de cálculo según la norma ANSI/IEEE se describe en forma general como sigue a continuación:

1. Se coloca una fuente de tensión equivalente en el punto de falla, que es igual a la tensión pre-falla en ese punto, reemplazando todas las fuentes de tensión tanto externas como internas.
2. Todas las máquinas son representadas por su impedancia interna.
3. Las capacitancias de las líneas y las cargas estáticas no se consideran.
4. Los TAP's de los transformadores se pueden seleccionar en su posición nominal o en una determinada posición, a fin de ajustar la impedancia de los transformadores.

La corriente de cortocircuito momentánea, es decir, a $\frac{1}{2}$ ciclo representa el máximo valor de la corriente de cortocircuito antes de que sus componentes AC y DC decaigan a su valor de estado estable, para ello ETAP utiliza el siguiente procedimiento de cálculo:

1. Calcula el valor simétrico rms de la corriente de cortocircuito momentánea usando la siguiente ecuación:

$$I_{\text{mom,rms,sim}} = \frac{V_{\text{pre-falla}}}{\sqrt{3} \times Z_{\text{eq}}} \quad \text{Ec-4.1}$$

Donde Z_{ep} es la impedancia equivalente en la barra donde ha ocurrido la falla.

2. El cálculo de la corriente asimétrica rms momentánea se hace usando la siguiente ecuación:

$$I_{\text{mom,rms,asim}} = MF_m \times I_{\text{mom,rms,sim}} \quad \text{Ec- 4.2}$$

Donde MF_m es el factor multiplicador momentáneo y se obtiene de:

$$MF_m = \sqrt{1 + 2e^{-\frac{2\pi}{X/R}}} \quad \text{Ec- 4.3}$$

3. El cálculo de la corriente de cortocircuito pico momentánea se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$I_{\text{mom,pico}} = MF_p \times I_{\text{mom,rms,sim}} \quad \text{Ec- 4.4}$$

Donde MF_p es el factor multiplicador momentáneo pico y se obtiene de:

$$MF_p = \sqrt{2} \left(1 + e^{-\frac{\pi}{X/R}} \right) \quad \text{Ec- 4.5}$$

4.5. Estudio de Cortocircuito.

El estudio de cortocircuito que se llevó a cabo para el desarrollo de este proyecto, tiene como objetivo fundamental determinar los esfuerzos que deberán soportar las barras del sistema eléctrico de la Planta de Conversión Profunda ante la ocurrencia de una falla. Para ello, se analizó el caso en que suceda una falla de tipo trifásica, ya que, a pesar de ser poco usual, es la que produce las corrientes más elevadas.

El módulo usado para éste cálculo es el denominado “Device Duty” que arroja como resultados la corriente de cortocircuito trifásica momentánea simétrica a $\frac{1}{2}$ ciclo de haber ocurrido la falla, periodo para el cual la corriente adquiere su máximo valor.

4.5.1. Escenario planteado para el estudio de cortocircuito.

En este estudio se ha considerado como escenario aquel en el cual existan más fuentes que contribuyan a la corriente de cortocircuito, a manera de conocer la mayor corriente que debe soportar cada barra del sistema, es decir, se consideró la condición de operación más crítica a la cual se pueda someter el sistema a la hora de una falla.

Este escenario se define de la siguiente manera:

- Ambos generadores PAL en funcionamiento.
- Dos alimentadores provenientes de Guanta II.
- Doble interconexión con Conversión Profunda.
- Doble interconexión con VALCOR.
- Toda la carga de Conversión Profunda conectada (220 MW aproximadamente).
- Toda la carga de VALCOR conectada (40 MW aproximadamente).

4.5.1.1. Resumen de resultados obtenidos.

En la **Tabla 4.1** se muestra la corriente de cortocircuito calculada por el ETAP y la corriente de diseño de cada barra que conforma el sistema eléctrico de Conversión Profunda.

Tabla 4.1. Resumen de resultados del estudio de cortocircuito en las barras del sistema eléctrico de Conversión Profunda.

BARRA		Tensión (KV)	Cortocircuito momentáneo trifásico			
Nombre	Sección		Icc simétrico rms de diseño (kA)	Icc simétrico rms calculado (kA)	Icc asimétrico rms (kA)	X/R
MS-SWG-601	A	230	31,5	11,75	18,71	23,8
	B	230	31,5	11,75	18,71	23,8
MS-SWG/MCC-401	A	13,8	25	27,24	44,41	33,5
	B	13,8	25	22,66	36,92	33,2
MS-SWG/MCC-402	A	13,8	25	24,74	40,11	30,5
	B	13,8	25	22,66	36,69	30,1
MS-SWG/MCC-501	A	34,5	31,5	15,32	24,75	29,0
	B	34,5	31,5	15,33	24,76	29,0
MS-SWG/MCC-502	A	34,5	31,5	15,67	25,32	29,2
	B	34,5	31,5	15,24	24,62	28,9
SS70-SWG/MCC-301	A	4,16	29	19,63	28,81	11,5
	B	4,16	29	19,69	29,29	12,6
SS70-MCC-201	A	0,48	65	37,73	50,89	7,0
	B	0,48	65	37,75	51,03	7,1
SS70-MCC-202	A	0,48	65	37,73	50,89	7,0
	B	0,48	65	37,75	51,03	7,1
SS74-SWG/MCC-301	A	4,16	29	19,56	28,82	11,7
	B	4,16	29	19,90	29,34	11,8

Continuación de la Tabla 4.1...

BARRA		Tensión (kV)	Cortocircuito momentáneo trifásico			
Nombre	Sección		Icc simétrico rms de diseño (kA)	Icc simétrico rms calculado (kA)	Icc asimétrico rms (kA)	X/R
SS74-MCC-201	A	0,48	65	37,71	50,89	7,1
	B	0,48	65	37,82	51,05	7,1
SS74-SWG/MCC-302	A	4,16	29	19,84	29,25	11,8
	B	4,16	29	19,72	29,06	11,7
SS74-MCC-202	A	0,48	65	37,80	51,02	7,1
	B	0,48	65	37,76	50,96	7,1
SS76-SWG/MCC-301	A	4,16	45	31,37	49,19	20,0
	B	4,16	45	31,92	49,91	19,4
SS76-MCC-201	A	0,48	65	40,50	54,80	7,2
	B	0,48	65	40,58	54,88	7,1
SS76-MCC-202	A	0,48	65	40,50	54,80	7,2
	B	0,48	65	40,58	54,88	7,1
SS76-SWG/MCC-302	A	4,16	45	31,37	49,19	20,0
	B	4,16	45	30,46	47,70	19,6
SS76- MCC-203	A	0,48	65	40,50	54,80	7,2
	B	0,48	65	40,35	54,61	7,2
SS76-MCC-204	A	0,48	65	40,50	54,80	7,2
	B	0,48	65	40,35	54,61	7,2
SS77-SWG/MCC-301	A	4,16	29	19,09	27,40	9,9
	B	4,16	29	19,40	27,97	10,2
SS77-MCC-201	A	0,48	65	37,49	53,46	9,5
	B	0,48	65	37,60	53,68	9,6
SS77-MCC-202	A	0,48	65	37,49	53,46	9,5
	B	0,48	65	37,60	53,68	9,6
SS77-MCC-203	A	0,48	65	22,87	29,06	5,3
	B	0,48	65	22,90	29,12	5,3
SS87-SWG/MCC-301	A	4,16	29	10,95	16,08	11,5
	B	4,16	29	10,95	16,08	11,5

Continuación de la Tabla 4.1...

BARRA		Tensión (kV)	Cortocircuito momentáneo trifásico			
Nombre	Sección		Icc simétrico rms de diseño (kA)	Icc simétrico rms calculado (kA)	Icc asimétrico rms (kA)	X/R
SS87-MCC-201	A	0,48	65	32,96	44,80	7,3
	B	0,48	65	32,96	44,80	7,3
SS87-MCC-202	A	0,48	65	19,24	25,01	5,9
	B	0,48	65	19,24	25,01	5,9
SS87-MCC-203	A	0,48	65	19,24	25,01	5,9
	B	0,48	65	19,24	25,01	5,9
SS88-SWG/MCC-301	A	4,16	29	18,79	27,21	10,5
	B	4,16	29	18,79	27,21	10,5
SS88-MCC-201	A	0,48	65	20,66	27,68	6,8
	B	0,48	65	20,66	27,68	6,8
SS88-MCC-202	A	0,48	65	20,66	27,68	6,8
	B	0,48	65	20,66	27,68	6,8
SS85-SWG/MCC-301	A	4,16	29	21,04	31,10	12,0
	B	4,16	29	19,82	28,98	11,1
SS85-MCC-201	A	0,48	65	38,19	51,54	7,1
	B	0,48	65	37,79	50,94	7,0
SS85-MCC-202	A	0,48	65	38,19	51,54	7,1
	B	0,48	65	37,74	50,88	7,0
SS86-SWG/MCC-301	A	4,16	45	30,43	45,68	13,5
	B	4,16	45	30,11	45,22	13,5
SS86-MCC-201	A	0,48	65	40,34	54,34	7,0
	B	0,48	65	40,29	54,27	7,0
SS83-1-SWG/MCC-301	A	4,16	29	30,43	45,68	13,5
	B	4,16	29	30,11	45,22	13,5
SS83-1-MCC-201	A	0,48	65	40,34	54,34	7,0
	B	0,48	65	40,29	54,27	7,0
SS83-2-SWG/MCC-301	A	4,16	29	30,43	45,68	13,5
	B	4,16	29	30,11	45,22	13,5

Continuación de la Tabla 4.1...

BARRA		Tensión (kV)	Cortocircuito momentáneo trifásico			
Nombre	Sección		Icc simétrico rms de diseño (kA)	Icc simétrico rms calculado (kA)	Icc asimétrico rms (kA)	X/R
SS83-2-MCC-201	A	0,48	65	40,34	54,34	70
	B	0,48	65	40,29	54,27	7,0
SS90-1-SWG-301	A	4,16	31,5	35,24	55,79	22,2
	B	4,16	31,5	34,13	53,73	20,8
	E	4,16	31,5	34,13	53,73	20,8
SS90-1-SWG-201	A	0,48	65	20,22	26,50	6,1
	B	0,48	65	19,55	25,57	6,1
SS90-1-MCC-201	E	0,48	65	12,29	15,24	12,29
SS90-2-SWG-201	A	0,48	65	20,44	26,85	6,2
	B	0,48	65	20,41	26,73	6,1
SS90-1-SWG-302	A	4,16	31,5	34,49	54,47	21,6
	B	4,16	31,5	32,11	50,43	20,2
	E	4,16	31,5	32,11	50,43	20,2
SS90-1-SWG-202	A	0,48	65	28,41	37,88	7,6
	B	0,48	65	28,25	38,67	7,6
SS89-MCC-201	E	0,48	65	13,39	16,67	4,9
SS89-SWG-201	A	0,48	65	29,73	46,23	18,3
	B	0,48	65	29,84	46,35	18,1
SS98-1A-SWG-301	A	4,16	31,5	6,57	9,63	11,3
	B	4,16	31,5	7,15	10,63	12,5
SS98-1A-SWG-201	A	0,48	65	20,24	28,10	8,2
	B	0,48	65	21,39	29,75	8,3
SS98-1B-SWG-301	A	4,16	31,5	13,11	19,79	14,0
	B	4,16	31,5	12,96	19,51	13,7
SS98-1B-SWG-201	A	0,48	65	17,68	23,36	6,4
	B	0,48	65	17,82	23,54	6,4
SS98-1C-SWG-201	A	0,48	65	17,68	23,36	6,4
	B	0,48	65	18,11	23,94	6,4

Continuación de la Tabla 4.1...

BARRA		Tensión (kV)	Cortocircuito momentáneo trifásico			
Nombre	Sección		Icc simétrico rms de diseño (kA)	Icc simétrico rms calculado (kA)	Icc asimétrico rms (kA)	X/R
SS98-2A-SWG-301	A	4,16	31,5	35,46	55,61	19,9
	B	4,16	31,5	33,75	53,00	20,2
SS98-2A-SWG-201	A	0,48	65	30,35	41,42	7,5
	B	0,48	65	32,79	44,34	7,1
SS95-SWG-301	A	4,16	31,5	35,46	55,61	19,9
	B	4,16	31,5	33,75	53,00	20,2
SS95-SWG-201	A	0,48	65	29,19	39,86	7,5
	B	0,48	65	29,07	39,71	7,5
SS95-SWG-202	A	0,48	65	31,75	43,34	7,5
	B	0,48	65	31,12	42,52	7,5
SS98-2B-SWG-301	A	4,16	31,5	32,30	50,64	19,9
	B	4,16	31,5	32,92	51,57	19,7
SS98-2B-SWG-201	A	0,48	65	29,78	40,72	7,5
	B	0,48	65	31,64	43,08	7,4

4.5.1.2. Observaciones.

Al comparar los niveles de cortocircuito simétricos calculados con los de diseño en cada barra del sistema, se puede apreciar que la mayoría se encuentra dentro del límite permisible. Los valores que se muestran resaltados en la tabla corresponden a aquellas barras en las cuales se violenta el límite de cortocircuito de las mismas.

De todas las barras cuyos niveles de cortocircuito son permisibles, solo las barras de los grandes motores identificadas por MS-SWG/MCC-401 B, MS-SWG/MCC-402 A y MS-SWG/MCC-402 B, son las que presentarían la situación

más crítica al momento de una falla debido a que sus valores se aproximan mucho a su límite de diseño.

Se puede observar también que los niveles de cortocircuito asimétricos son mayores a los niveles simétricos para el primer medio ciclo, esto se debe a la influencia que tiene componente de corriente continua en la cual participa la relación X/R de la barra donde ocurre la falla.

Para evitar sobrepasar los límites de las barras es necesario aumentar la capacidad de cortocircuito de éstas, los niveles sugeridos son los siguientes:

- **Barras de 230 kV:** 31,5 kA.
- **Barras de 34,5 kV:** 31,5 kA.
- **Barras de 13,8 kV:** 31,5 kA.
- **Barras de 4,16 kV:** 45 kA.
- **Barras de 480 V:** 65 kA.

4.5.2. Escenario planteado: Caso particular.

En este escenario se estudian los niveles de cortocircuito que se presentarían en el caso en que los interruptores que unen ambas secciones “A” y “B” de las barras MS-SWG/MCC-401 y MS-SWG/MCC-402 se cierren, con la finalidad de utilizar esta situación como forma alternativa de arrancar los grandes motores sincrónicos conectados a ellas.

4.5.2.1. Resumen de resultados obtenidos.

Los resultados obtenidos de éste escenario particular se muestran a continuación en la **Tabla 4.2.**

Tabla 4.2. Niveles de cortocircuito presentes en las barras de los grandes motores con interruptor cerrado.

BARRA		Tensión (kV)	Cortocircuito momentáneo trifásico			
Nombre	Sección		Icc simétrico rms de diseño (kA)	Icc simétrico rms calculado (kA)	Icc asimétrico rms (kA)	X/R
MS-SWG/MCC-401	A	13,8	25	46,63	75,89	32,5
	B	13,8	25	46,63	75,89	32,5
MS-SWG/MCC-402	A	13,8	25	44,16	71,51	29,9
	B	13,8	25	44,16	71,51	29,9

4.5.2.2. Observaciones.

Al estar cerrado el interruptor ambas secciones de barra se convierten en una sola y todas las máquinas conectadas contribuyen a la corriente de cortocircuito, es debido a esto que para éste escenario ambas barras presentan corrientes muy por encima del límite de diseño.

La barra MS-SWG/MCC-401 tiene mayores niveles de cortocircuito que la barra MS-SWG/MCC-402, esto se debe a que la primera tiene la contribución de los tres motores G-7801E, G-7801C y G-7801A por igual, debido al hecho de que los tres tienen las mismas características; Mientras que en la segunda barra, el motor G-8702 es más pequeño en cuanto a potencia que los motores G-7801B y G-7801D, por lo tanto, la contribución total de éstos es menor.

En vista de los resultados obtenidos en este último escenario, no es recomendable utilizar esta opción para arrancar dichos motores, ya que como se observa en la **Tabla 4.2** los niveles de cortocircuito que se generarían sobrepasarían

el límite de la barra aún cuando se siga la sugerencia de aumentar su capacidad a 31,5 kA.

CAPÍTULO V

ESTUDIO DEL ARRANQUE DE GRANDES MOTORES

Debido a las grandes capacidades que tendrán los motores pertenecientes a las barras MS-SWG/MCC-401 y MS-SWG/MCC-402 (a 13,8 kV) será imposible el arranque de los mismos simplemente conectándolos a la línea debido a que bajo ésta condición la corriente que absorberían los motores sería de 6 a 8 veces la corriente nominal ocasionando grandes caídas de tensión tanto en el motor como en la barra a la cual está conectado y en el resto del sistema eléctrico que podrían producir la parada de algunos procesos de la planta, siendo éste efecto más notable en la medida en que la máquina sea de mayor potencia.

Hasta los momentos se estima que será necesario limitar la corriente a un valor de 3,5 veces la corriente nominal para garantizar el arranque seguro, sin embargo, es posible que se trate de un motor especial y no de un método de arranque, por lo que sería conveniente desde el punto de vista económico que esa corriente pueda adquirir valores mayores al estimado, y precisamente éste capítulo tiene como objetivo principal determinar el valor de corriente de arranque mas adecuado para poner en marcha estos grandes motores sin que afecte la operación del resto de la planta de Conversión Profunda.

A continuación se presentan algunos fundamentos teóricos sobre los motores sincrónicos, la descripción de su comportamiento en el arranque y algunos de los métodos de arranque más empleados, y posteriormente el estudio realizado.

5.1. Motor sincrónico.

Un motor sincrónico es una máquina capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica, cuya velocidad está determinada por la frecuencia de operación del sistema y el número de polos del motor, dada por la siguiente ecuación:

$$\eta_s = 120 f/P \qquad \text{Ec-5.1}$$

Tanto la frecuencia como el número de polos son valores constantes, por lo que se puede decir que es un motor de velocidad constante.

Además de la velocidad estos motores presentan las siguientes características importantes [13,14]:

1. Pueden ser utilizados para corregir el factor de potencia.
2. No pueden arrancar por sí mismos, requieren de la ayuda de medios auxiliares.

5.2. Arranque de los motores sincrónicos.

Los motores sincrónicos producen dos campos magnéticos diferentes, uno en el rotor y otro en el estator. Al aplicar un conjunto de corrientes trifásicas a los devanados del estator éstas producen un campo magnético rotacional en los polos, que gira a la velocidad sincrónica en sentido opuesto al de las agujas del reloj. En menos de un segundo el campo magnético ha girado completamente y se ha ejercido un par, primero en sentido contrario a las manecillas del reloj y luego en el sentido de éstas, resultando en el ciclo completo un par promedio igual a cero. Por ésta razón es imposible que el campo magnético del rotor (que es estacionario) entre en sincronismo con el campo magnético del estator.

En vista de ésta situación es necesario utilizar medios auxiliares que permitan llevar al rotor a una velocidad cercana a la de sincronismo de manera que se pueda desarrollar un par, lo que permitirá que el motor continúe girando. El motor entrará en sincronismo cuando el campo magnético del rotor se haya enclavado con el campo magnético del estator y ambos estén girando a la velocidad sincrónica [13].

5.3. Método de arranque de motores sincrónicos.

El método que se use para arrancar un motor sincrónico depende principalmente de dos factores: el par requerido para arrancar la carga y la corriente máxima de arranque que se permite tomar de la línea [15]. Debido a que estos motores no tienen par de arranque se deben usar medios auxiliares para lograr llevar el motor a su velocidad correspondiente, siendo algunos de éstos:

1. Mediante un motor de corriente continua acoplado al eje del motor sincrónico.
2. Mediante el uso de la excitatriz como motor de corriente continua.
3. Mediante el uso de un pequeño motor de inducción de, por lo menos, un par de polos menos que el motor sincrónico.
4. Mediante el uso de los devanados amortiguadores como motor de inducción de jaula de ardilla.

El método más común de arranque de un motor sincrónico, es como motor de inducción usando los devanados amortiguadores. Éste método es el más simple y no requiere máquinas especiales auxiliares. Los devanados amortiguadores son colocados en el rotor, y constan de barras cortocircuitadas en sus extremos las cuales forman un devanado de jaula de ardilla, estos devanados no tienen capacidad para llevar la carga nominal del motor sincrónico, pero son suficientes para su arranque.

Durante el arranque directo de un motor a través de sus devanados amortiguadores la corriente puede alcanzar valores de 6 a 8 veces el valor de la corriente nominal provocando una caída de tensión en el sistema, es por eso que se emplean métodos para reducir la corriente de arranque absorbida de las barras. Estos métodos son los mismos que se aplican a los motores de inducción, entre los que se pueden mencionar [14]:

1. Arranque a tensión reducida.
2. Arranque estrella-triángulo.
3. Arranque con devanados divididos.
4. Arranque con rotor bobinado.

Además de los métodos mencionados anteriormente también son empleados los convertidores de estado sólido para llevar hasta su velocidad a grandes motores de varios cientos de MVA, como en el caso de los motores que se estudiarán mas adelante en el desarrollo de éste capítulo. A través de éstos es posible arrancar al motor por medio de **variadores de frecuencia** o **arrancadores suaves**.

5.3.1. Variadores de frecuencia.

Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor AC por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada al motor.

En los motores sincrónicos es usado para el arranque permitiendo disminuir la velocidad de rotación del campo magnético a través de la variación de la frecuencia a fin de que se forme un par suficiente para que el campo magnético del rotor pueda alcanzar al del estator. De acuerdo a la ecuación 5.1 al disminuir la frecuencia la velocidad del motor también disminuirá.

Estos controladores de frecuencia variable de estado sólido constan de un rectificador que convierte la corriente alterna de la línea de alimentación a corriente directa, y de una segunda sección que convierte la corriente directa en una señal de corriente alterna cuasi – sinusoidal de frecuencia ajustable que alimenta al motor [16].

El rectificador es usualmente un puente trifásico de diodos pero también se usan rectificadores controlados como se muestra en la **figura 5.1**.

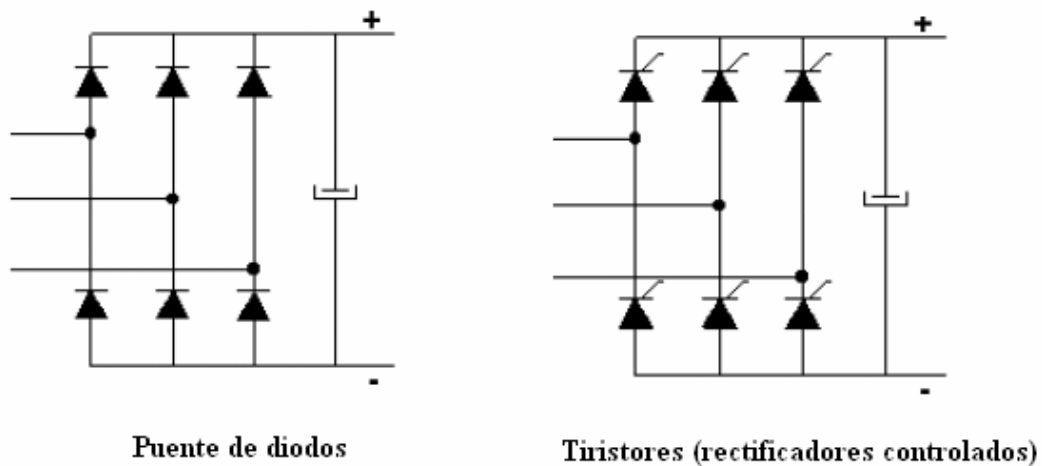


Figura 5.1. Modelos del rectificador [16].

El inversor utiliza dispositivos de potencia de estado sólido que son controlados por microprocesadores para conmutar el voltaje de la barra de CD y producir una señal de CA de frecuencia ajustable que alimenta al motor. Puede ser del tipo de seis pasos o del tipo de PWM (Pulso Width Modulation, en inglés) o MAP (Modulación por ancho de pulsos).

La modulación por ancho de pulsos es una técnica en la que se modifica el ciclo de trabajo de una señal periódica (sinusoidal o cuadrada). El ciclo de trabajo de una señal periódica es el ancho relativo de su parte positiva con relación al periodo. Un

inversor de éste tipo consiste de seis transistores bipolares de puerta aislada o IGBT's (Insulated Gate Bipolar Transistor) que se encienden y apagan en una secuencia tal que producen un voltaje en forma de pulsos cuadrados que alimente al motor. Para variar la frecuencia del motor, el número de pulsos y su ancho se ajustan resultando en un tiempo de ciclo mayor para bajar la velocidad o tiempo de ciclo menor para subir la velocidad. Para cada frecuencia específica hay un número óptimo de pulsos y anchos que producen la menor distorsión armónica en la corriente que se aproxime a la señal sinusoidal [16].

El circuito simplificado de un variador de frecuencia con PWM se muestra en la **figura 5.2-a** y en la **figura 5.2-b** la forma de onda del voltaje de alimentación y de la corriente.

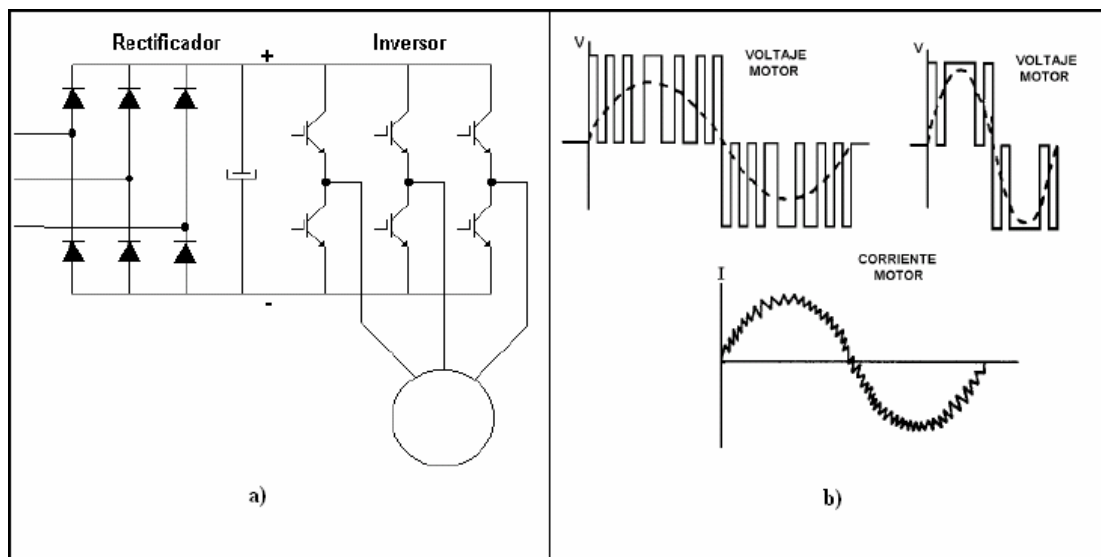


Figura 5.2. Esquema simplificado de un variador de frecuencia para el arranque de un motor de corriente alterna [16].

5.3.2. Arrancadores Suaves.

Un arrancador suave es un dispositivo que permite controlar la tensión del motor de forma que ésta aumente gradualmente durante la puesta en marcha, lo que naturalmente limita la intensidad de arranque. Esto significa que el motor se pone en marcha suavemente y que los esfuerzos mecánicos y eléctricos se reducen al mínimo. El dispositivo puede ser usado para obtener una parada suave.

Tiene como ventajas principales su alta fiabilidad, su menor necesidad de mantenimiento y su facilidad de ajuste. Sin embargo, una limitación del arrancador suave es que no siempre es posible utilizarlo para aplicaciones de accionamiento que requieren desde el principio un par elevado del motor. Esta limitación procede de que el dispositivo realiza su trabajo elevando la tensión del motor hasta su máximo valor (y durante la parada, reduciéndolo hasta el nivel de interrupción prefijado). Dado que el par es proporcional al cuadrado de la tensión, el motor conectado no podrá alcanzar el par máximo desde el principio. Por eso el arrancador suave es más apropiado para motores que se arrancan en forma fácil y ligera, por ejemplo, los motores de bombas, ventiladores, transportadores y ascensores. [17]

Un arrancador suave consta principalmente de dos SCR's (tiristores) colocados en antiparalelo en serie con cada una de las fases del motor, tal como lo muestra la **figura 5.3**, la tensión aplicada al motor puede ser controlada al variar el ángulo de disparo de los tiristores, mientras menor sea el ángulo de disparo mayor será el voltaje aplicado, la gráfica de la **figura 5.4** muestra este comportamiento.

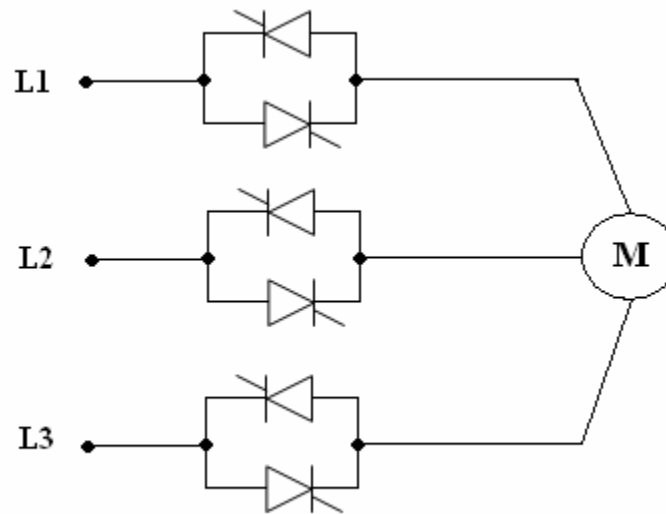


Figura 5.3. Esquema simplificado de un arrancador suave (SCR's en antiparalelo) [18].

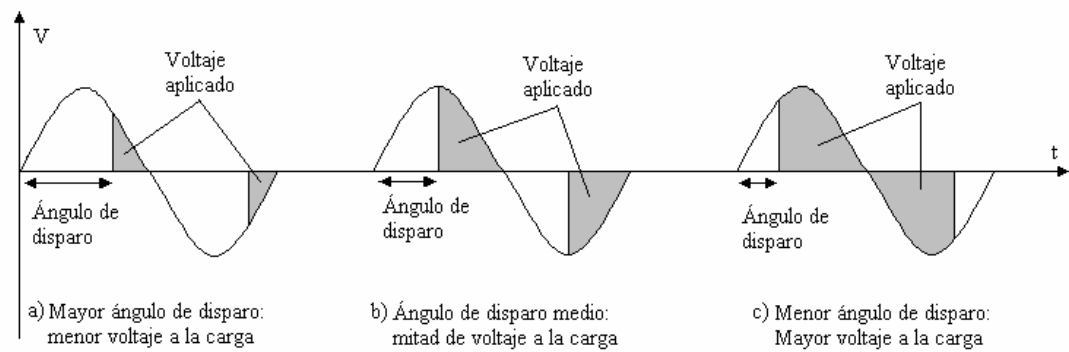


Figura 5.4. Control del voltaje aplicado a la carga por medio del ángulo de disparo de tiristores en antiparalelo [18].

El dispositivo cuenta con dos modos de operación: *rampa de tensión* y *límite de corriente*.

El arranque por *rampa de tensión* aplica al motor un incremento de tensión constante permitiendo al usuario seleccionar la tensión inicial de arranque, asegurando que el motor empiece a girar inmediatamente. Para éste caso el torque aumenta linealmente en el tiempo conforme se incrementa progresivamente el voltaje aplicado.

El arranque con *límite de corriente* es un método que solo está disponible en arrancadores de tensión reducida con monitoreo de corriente de salida (microprocesador con mayor capacidad de cálculo). Éste modo de operación permite al usuario seleccionar la corriente requerida para el arranque. Es importante destacar que la corriente de arranque no puede ser ajustada a un valor muy bajo, ya que es posible que el par requerido por la carga (resistente) exceda al par disponible en el motor trayendo como consecuencia un rápido sobrecalentamiento del motor [18].

5.4. Estudio del arranque de los motores de Conversión Profunda.

Las cargas de Conversión Profunda estarán constituidas en su mayoría por centros de control de motores, sin embargo, para efectos de este estudio solo serán tomados en consideración los de tipo sincrónico identificados como G-7801A, G-7801B, G-7801C, G-7801D y G-7801E conectados a las barras principales MS-SWG/MCC-401 (secciones “A” y “B”) y MS-SWG/MCC-402 (secciones “A” y “B”), que son los de mayor capacidad en todo el sistema, con la finalidad de verificar las variaciones de los niveles de voltaje en todas las barras del sistema y determinar la corriente de arranque de los motores mas adecuada.

El análisis se llevó a cabo tomando como patrón lo establecido por la norma **PDVSA N-252** (“Especificaciones generales para diseños de ingeniería”) sección 2.3.3, la cual dice lo siguiente: “Durante el arranque o reaceleración de un motor o grupo de motores las variaciones o desviaciones de voltaje con respecto al voltaje

nominal deben ser de +10% a -20%. Un voltaje de operación de 80% no debe afectar la operación de la planta”. Para el resto de las barras será permitido un $\pm 10\%$ del voltaje nominal de acuerdo a la norma **ANSI C84.1-1989**.

5.4.1. Metodología empleada.

El estudio se realizó mediante el uso del software computacional ETAP, que provee dos tipos de cálculo de arranque de motores: **Aceleración Dinámica del Motor** y **Arranque estático del motor**, de los cuales fue utilizado el segundo, ya que, en este los motores a arrancar son modelados por la impedancia de rotor bloqueado durante el periodo de aceleración, simulando el peor impacto bajo condiciones de operación normales de las cargas. Este método es útil para chequear el efecto del arranque del motor en el sistema cuando el modelo dinámico no está disponible para los motores.

Debido a la diferencia de tensión entre las barras motoricas y a la disposición que tienen los motores en ellas, al momento del arranque no todos generan las mismas caídas de voltaje, es por ello, que se realizó el estudio considerando el que produjera las peores condiciones operacionales, siendo éste el identificado por **G-7801B** ubicado en la barra **MS-SWG/MCC-402 A**. Dado que el motor no podrá arrancar con seis veces su corriente nominal, la simulación se llevó a cabo para diferentes magnitudes de la corriente de arranque, hasta conseguir la que arrojará resultados mas conservadores.

5.4.2. Escenario planteado. Arranque del motor G-7801B.

Para la simulación del arranque del motor G-7801B se utilizó el escenario #4 planteado en el capítulo III, siendo éste el más crítico estudiado, y se define como sigue:

- Un generador PAL conectado en 150 MW/ 93 MVAR.
- Un interconector proveniente de Guanta II/Barbacoas II.
- Doble interconexión con Conversión Profunda.
- Toda la carga conectada en Conversión Profunda (220 MW aproximadamente).
- Toda la carga VALCOR conectada (40 MW).
- Arranque de un motor y todos los demás en servicio.

5.4.3. Resumen de los resultados del arranque del motor G-7801B.

El resumen de los resultados obtenidos de la simulación del arranque del motor G-7801B se muestra a continuación en las **tablas 5.1, 5.2, 5.3 y 5.4**, en ellas se indican los niveles de tensión tanto en el motor y en su respectiva barra, como en aquellas mas afectadas en el sistema eléctrico de Conversión Profunda.

Tabla 5.1. Resultados del arranque del motor G-7801B con 5 I_N.

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
DESCRIPCIÓN		kV	kV	%ΔV
MS-SWG/MCC-402 "A"	S/E Procesos	13,8	10,75	-22,1%
Barra motor				

Continuación de la Tabla 5.1...

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
DESCRIPCIÓN			kV	%ΔV
G-7801B	Barra	13,2	10,75	-18,5%
Motor sincrónico	MS-SWG/MCC-402 A			
SS86-SWG/MCC-301 A	Unidad de Recuperación de Azufre	4,16	3,8	-8,7%
Barra				
SS83-2-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,8	-8,7%
Barra				
SS83-1-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,8	-8,7%
Barra				

Tabla 5.2. Resultados del arranque del motor G-7801B con 4,5 I_N.

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
DESCRIPCIÓN			kV	%ΔV
MS-SWG/MCC-402 "A"	S/E Procesos	13,8	10,97	-20,5%
Barra motor				
G-7801B	Barra	13,2	10,97	-16,9%
Motor sincrónico	MS-SWG/MCC-402 A			
SS83-1-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,821	-8,1%
Barra				
SS83-1-SWG/MCC-301B	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,823	-8,1%
Barra				
SS83-2-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,821	-8,1%
Barra				

Continuación de la Tabla 5.2...

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
			kV	% ΔV
SS83-2-SWG/MCC-301B	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,823	-8,1%
Barra				
SS86-SWG/MCC-301 A	Unidad de Recuperación de Azufre	4,16	3,821	-8,1%
Barra				
SS86-SWG/MCC-301 B	Unidad de Recuperación de Azufre	4,16	3,823	-8,1%
Barra				

Tabla 5.3. Resultados del arranque del motor G-7801B con 4 I_N.

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
			kV	% ΔV
MS-SWG/MCC-402 "A"	S/E Procesos	13,8	11,195	-18,9%
Barra motor				
G-7801B	Barra	13,2	11,195	-15,2%
Motor sincrónico	MS-SWG/MCC-402 A			
SS83-1-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,844	-7,6%
Barra				
SS83-1-SWG/MCC-301B	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,845	-7,6%
Barra				
SS83-2-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,844	-7,6%
Barra				
SS83-2-SWG/MCC-301B	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,845	-7,6%
Barra				

Continuación de la Tabla 5.3...

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
			kV	% ΔV
SS86-SWG/MCC-301 A	Unidad de Recuperación de Azufre	4,16	3,844	-7,6%
Barra				
SS86-SWG/MCC-301 B	Unidad de Recuperación de Azufre	4,16	3,845	-7,6%
Barra				

Tabla 5.4. Resultados del arranque del motor G-7801B con 3,5 I_N.

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
			kV	% ΔV
MS-SWG/MCC-402 "A"	S/E Procesos	13,8	11,43	-17,2%
Barra motor				
G-7801B	Barra	13,2	11,43	-13,42%
Motor sincrónico	MS-SWG/MCC-402 A			
SS83-1-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,867	-7 %
Barra				
SS83-1-SWG/MCC-301B	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,869	-7 %
Barra				
SS83-2-SWG/MCC-301A	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,867	-7 %
Barra				
SS83-2-SWG/MCC-301B	Unidad de recuperación de Hidrógeno	4,16	3,869	-7 %
Barra				
SS86-SWG/MCC-301 A	Unidad de Recuperación de Azufre	4,16	3,867	-7 %
Barra				

Continuación de la Tabla 5.4...

ID ELEMENTO	UBICACIÓN	TENSIÓN NOMINAL kV	TENSIÓN DE OPERACIÓN	
			kV	% ΔV
SS86-SWG/MCC-301 B	Unidad de Recuperación de Azufre	4,16	3,869	-7 %
Barra				
SS98-2B-SWG-201 B	"Servicios"	0,480	0,447	-7 %
Barra				

5.4.4. Observaciones.

La caída de tensión en la barra MS-SWG/MCC-402 "A" para una corriente de arranque del motor G-7801B de 5 y 4,5 veces la I_N sobrepasa el 20% permitido por la norma PDVSA N-252, por lo que en definitiva el motor no arrancará para tales valores de corriente.

Para una corriente de arranque de 4 veces la nominal, la caída de tensión es casi igual a 19%, lo cual es permitido pero no garantiza que el motor pueda acelerar considerando que el calibre del conductor es desconocido, mientras que con una corriente igual a 3,5 veces la nominal es más seguro que lo pueda lograr.

La caída de tensión en las barras más afectadas no supera al 8,7% en todos los casos, garantizando que no se detendrán los procesos en los demás circuitos del sistema, ya que dicha variación de voltaje se presenta en un periodo de tiempo muy corto.

CONCLUSIONES

- El proyecto de Conversión Profunda se encuentra para la actual fecha en la etapa de ingeniería básica, por lo que el diagrama unifilar creado en el software **ETAP 5.5.6** está basado en las últimas revisiones obtenidas en los meses de mayo y junio del año 2008.
- La refinería ahora cuenta con un diagrama unifilar de la planta de Conversión Profunda en el que se incluyen las interconexiones entre RPLC – VALCOR, el Sistema Eléctrico Nacional y la planta de generación Alberto Lovera, creado en el software **ETAP 5.5.6** al cual se le pueden hacer las actualizaciones pertinentes de acuerdo a los cambios que se establezcan en la ingeniería básica del proyecto.
- El estatus y el factor de demanda de las cargas presentes en Conversión Profunda permitirán obtener el verdadero valor de la potencia requerida por el sistema resultando en una cantidad menor a la que se maneja actualmente.
- El estudio de flujo de carga permitió observar el comportamiento que tendrá el sistema eléctrico de Conversión Profunda en condiciones normales de operación y de contingencia, demostrando la necesidad de modificar la posición de los cambiadores de tomas de los transformadores para poder obtener niveles de tensión aceptables en las barras de 34,5 kV; 13,8 kV; 4,16 kV y 0,48 kV.
- El sistema eléctrico de Conversión Profunda puede operar correctamente para todos los escenarios aquí estudiados, sin embargo, cabe destacar que la potencia restante generada en la planta PAL está destinada al sector urbano, por lo que es indeseable el funcionamiento de la RPLC en condiciones de contingencia puesto que en estos casos en vez de aportar, se absorbe energía del S.E.N.

- No se observó sobrecarga en las líneas de transmisión ni en los conductores presentes en el sistema.
- La mejor condición de operación es la descrita en el escenario #1, en la cual el sistema eléctrico de la Refinería Puerto La Cruz absorbe energía de la planta de generación Alberto Lovera y a su vez aporta el resto hacia el Sistema Eléctrico Nacional.
- La situación más crítica estudiada es aquella en la cual se pierde la interconexión entre Barbacoa II y Guanta II a 230 kV mas un generador de la Planta Alberto Lovera.
- Algunas de las barras del sistema eléctrico de CP presentaron niveles de cortocircuito trifásicos simétricos a medio ciclo muy cercanos o por encima de los límites de diseño permitidos por las mismas.
- El arranque de los grandes motores pertenecientes a las barras **MS-SWG/MCC-401** y **MS-SWG/MCC-402** se logrará de manera segura al ponerlos en marcha individualmente y con una corriente de arranque no mayor a 3,5 veces la nominal, ya que la presencia de los conductores producirán caídas de tensión mayores a las mostradas en el **CAPÍTULO VI** del presente trabajo de grado.

RECOMENDACIONES

- Actualizar el diagrama unifilar creado en el software **ETAP 5.5.6** de acuerdo a las modificaciones que se hagan en la ingeniería básica del proyecto en cuanto al estatus y factor de demanda de las cargas, el calibre de los conductores y los dispositivos de protección.
- Corregir el cambiador de tomas de los transformadores de Conversión Profunda al momento de poner en funcionamiento la planta, para poder obtener un funcionamiento óptimo de la misma.
- A la hora de seleccionar los motores que formarán parte del sistema eléctrico de Conversión Profunda seleccionar aquellos diseñados bajo los estándares de la norma ANSI/IEEE, ya que éstos permiten variaciones de tensión de $\pm 10\%$, aportando mayor flexibilidad al momento de ajustar el tap de los transformadores.
- Contar con una fuente de generación adicional que pueda sustituir la falta de uno de los generadores de la Planta Alberto Lovera y además evitar absorber energía del Sistema Eléctrico Nacional.
- Utilizar bancos de capacitores en Guanta II o en una subestación cercana para compensar las grandes caídas de tensión que se puedan producir ante una contingencia.
- Aumentar la capacidad de cortocircuito trifásico simétrico a medio ciclo principalmente de las barras cuyos niveles de tensión sean de 13,8 kV y 4,16 kV.

- Evitar el arranque directo de los motores sincrónicos colocados en la barra MS-SWG/MCC-401 y MS-SWG/MCC-402.
- Disponer de un método que permita disminuir la corriente de arranque de los grandes motores hasta 3,5 veces la nominal, de manera que pueda acelerar sin afectar al resto del sistema eléctrico.
- Realizar un estudio dinámico del sistema que arroje resultados mas reales en cuanto **al arranque de los grandes motores**, ya que el método utilizado solo considera la impedancia de rotor bloqueado simulando el peor impacto que pueda ocasionar tal suceso.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

[1] Arrillaga, J.; Arnold C.P. y Harker B.J. (1983). *Computer Modeling of Electrical Power Systems*. (1era Edición). U.K.: John Wiley & Sons.

[2] Stevenson, W. (1975). *Análisis de Sistemas de Potencia*. (2da Edición). México: McGraw Hill.

[3] Kundur, P. (1994). *Power System Stability and Control*. (1era Edición). Palo Alto, California: McGraw Hill.

[4] Casals T., P y De Armas C., J. (1984). *Flujo de carga para estudio de los sistemas de potencia mediante algoritmo de tiempo real utilizando la computadora gráfica como lenguaje interactivo*. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

[5] Amundarain. V, Tirso. J. (2007). *Estudio del comportamiento de los reactivos para mejorar los perfiles de tensión en el sistema eléctrico de la Refinería Puerto La Cruz utilizando un programa computacional*. Trabajo de grado, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

[6] Mérida S., Rafael T. (2007). *Estudio del Balance de cargas del sistema Eléctrico de Refinería Puerto La Cruz (R.P.L.C)*. Trabajo de Grado, Universidad de Oriente, Puerto La Cruz.

[7] ANSI C84.1-1989 *Electric Power Systems and Equipment-Voltage Ratings (60 Hz)*, American National Standards Institute, Inc. Virginia, USA. (1996).

- [8] Weedy, B.M. (1972). *Electric Power System*. (2da Edición). New York: John Wiley & Sons.
- [9] IEEE Std 141 *Recommended practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants (IEEE Red Book)*, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, USA.(1993).
- [10] Harper E, G. (2002). *Elementos de diseño de Subestaciones Eléctricas*. (2da Edición). México: Limusa.
- [11] Harper E, G. (2006). *Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión*. (2da Edición). México D.F: Limusa.
- [12] Manual de Usuario de ETAP Power Station 5.5.6.
- [13] Chapman, S. (2004). *Máquinas Eléctricas*. (3era Edición). Bogotá, Colombia: McGraw Hill.
- [14] Kosow, I.L. (1992). *Máquinas Eléctricas y Transformadores*. (1era Edición). México, D.F.: Reverté.
- [15] Fink, D.G y Wayne B, H. (1995). *Manual del Ingeniero Electricista*. Tomo III. (13era Edición). México, D.F.: McGraw Gill.
- [16] “Curso Básico de Variadores de Frecuencia”
<http://www.waterymex.org/contenidos/rtecnicos/Curso%20basico%20de%20Variadores%20de%20Frecuencia.pdf>

[17] “Nuevos Arrancadores suaves para motores eléctricos”

[http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/E7F5BEE372E4BA0BC1256DDD00347076/\\$File/56-63%20M647%20SPA.pdf](http://library.abb.com/GLOBAL/SCOT/scot271.nsf/VerityDisplay/E7F5BEE372E4BA0BC1256DDD00347076/$File/56-63%20M647%20SPA.pdf)

[18] “Arranque de motores trifásicos”

<http://d.scribd.com/docs/ihvgjlwmkqbdv7q8zcx.pdf>

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

TÍTULO	“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA PLANTA DE CONVERSIÓN PROFUNDA EN LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ”
SUBTÍTULO	

AUTOR (ES):

APELLIDOS Y NOMBRES	CÓDIGO CULAC / E MAIL
DEARMAS C., SILVANA E.	CVLAC: 17.731.876 EMAIL: dearmas.silvana@gmail.com
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:
	CVLAC: E MAIL:

PALABRAS O FRASES CLAVES:

ANÁLISIS
COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO
SISTEMA ELÉCTRICO
CONVERSIÓN PROFUNDA
ETAP 5.5.6

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ÀREA	SUBÀREA
INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS	
	<i>INGENIERÍA ELÉCTRICA</i>

RESUMEN (ABSTRACT):

Este trabajo consistió en la realización de los estudios de flujo de carga, cortocircuito y arranque de grandes motores del sistema eléctrico de Conversión Profunda, ya que estos proporcionan gran parte de la información necesaria para conocer el comportamiento estacionario de dicho sistema. Fue indispensable la construcción del diagrama unifilar en el software computacional ETAP 5.5.6 con su correspondiente base de datos. Posteriormente se llevaron a cabo las simulaciones de flujo de carga, cortocircuito y arranque de los grandes motores, estudios que suministraron los niveles de voltaje, potencia, corrientes trifásicas de cortocircuito y caída de tensión en las diferentes barras que componen el sistema eléctrico de Conversión Profunda. Tales estudios permitieron emitir conclusiones y recomendaciones a seguir para mejorar las condiciones de operación del sistema.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

CONTRIBUIDORES:

APELLIDOS Y NOMBRES	ROL / CÓDIGO CVLAC / EMAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
MARCANO, EDGAR	CVLAC:	2.799.002			
	E_MAIL	medgar@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS X	TU	JU
SUÁREZ, LUIS	CVLAC:	11.144.624			
	E_MAIL	acerosilicon@gmail.com			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
PARRA, HERNÁN	CVLAC:	4.362.464			
	E_MAIL	hernanparra@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X
ESCALANTE, SANTIAGO	CVLAC:	3.198.012			
	E_MAIL	sescalante@cantv.net			
	E_MAIL				
	ROL	CA	AS	TU	JU X

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

2.009	01	15
AÑO	MES	DÍA

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
TESIS.ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO ESTACIONARIO.DOC	APPLICATION/MSWORD

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.

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

INGENIERO ELECTRICISTA

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

PREGRADO.

ÁREA DE ESTUDIO:

DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD.

INSTITUCIÓN:

UNIVERSIDAD DE ORIENTE - NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

DERECHOS

De acuerdo al artículo 44 del reglamento de Trabajos de Grado de la Universidad de Oriente:

“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y solo podrán ser utilizados a otros fines con el consentimiento del consejo de Núcleo respectivo, el cual lo participará al Consejo Universitario”

AUTOR

Silvana E. De Armas C.

TUTOR

JURADO

JURADO

Prof. Luis Suárez

**Prof. Santiago
Escalante**

Prof. Hernán Parra

POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS

Prof. Verena Mercado