

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NUCLEO DE ANZOATEGUI  
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**“ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE  
EMERGENCIA DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE  
COMBUSTIBLE – PUERTO LA CRUZ”**

REALIZADO POR:

**JUAN FRANCISCO LEÓN GUAQUIRIAN**

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

**INGENIERO ELECTRICISTA**

**Barcelona, Diciembre 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NUCLEO DE ANZOATEGUI  
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**“ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE  
EMERGENCIA DE LA PLANTA DE DISTRIBUCION DE  
COMBUSTIBLE – PUERTO LA CRUZ”**

---

Br. Juan Francisco León Guaiquirian  
**C.I: 15.416.839**

Revisado y Aprobado por:

---

Ing. Luis Suarez  
**Asesor Académico**

---

Ing. Alexander Gutiérrez  
**Asesor Industrial**

**Barcelona, Diciembre 2009**

**UNIVERSIDAD DE ORIENTE  
NUCLEO DE ANZOATEGUI  
ESCUELA DE INGENIERIA Y CIENCIAS APLICADAS  
DEPARTAMENTO DE ELECTRICIDAD**



**“ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE  
EMERGENCIA DE LA PLANTA DE DISTRIBUCION DE  
COMBUSTIBLE – PUERTO LA CRUZ”**

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

**APROBADO**

---

**Prof. Luis Suarez  
Asesor Académico**

---

**Prof. Verena Mercado  
Jurado Principal**

---

**Prof. Pedro Rodríguez  
Jurado Principal**

**Barcelona, Diciembre 2009**

## RESOLUCIÓN

De acuerdo al artículo 41 del Reglamento de Trabajo de Grado: **“Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad y solo podrán ser utilizados para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien lo participara al consejo universitario”**.

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo de grado en primer lugar a Dios Todopoderoso y a la Virgen María, en su vocación de la Virgen del Valle, por ser guía y luz en mi vida y por estar conmigo en cada momento.

Con mucho cariño y gran amor a mis padres, Juan Oswaldo y Francisca. Aquellos seres incansables, muestra de lucha y esfuerzo constante, que me dieron la alegría de la vida y que han hecho de mi lo que hoy soy.

A mi hermana, Milagros. Con este logro consolidamos los esfuerzos, nuestros padres están orgullosos de ello.

A mi abuela Clara, por siempre darme ese amor que solo una abuela puede dar.

A la memoria de mis abuelos Deogracia, Agueda y Amelio, aunque no están físicamente conmigo se que desde allá arriba comparten esta alegría.

A todos mis primos, cuando se quiere alcanzar una meta es a través de la dedicación y el esfuerzo propio. En especial a mi prima Migdalia (Chichita).

A todos mis tíos y demás familiares que de una u otra forma me brindan su afecto y apoyo para superar los obstáculos.

A mis ahijados, para que mi logro le sirva de ejemplo y se tracen metas, para que en un futuro no muy lejano las alcancen.

Quiero dedicar de manera muy especial a mis amigos, compadres, colegas, compañeros y compañeras de mil y una batallas, por compartir conmigo buenos y malos momentos y por brindarme su apoyo y amistad incondicional.

## AGRADECIMIENTOS

Son tantas personas a las cuales debo parte de este triunfo, de lograr alcanzar mi culminación académica, la cual es el anhelo de todos los que así lo deseamos.

A Dios, creador del Universo y dueño de mi vida, por darme la fortaleza espiritual y física.

A mis padres y hermana, por darme la estabilidad emocional, sentimental, el apoyo y haber tenido la paciencia para poder alcanzar este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes. GRACIAS... Papá, Mamá serán siempre mi inspiración para alcanzar mis metas, por enseñarme que todo se aprende y que todo esfuerzo es al final recompensa. Sus esfuerzos, se convirtió en su triunfo y el mío. LOS AMO.

A la Universidad de Oriente, muy especialmente a todas aquellas personas que laboran en el glorioso Departamento de Electricidad, profesores, personal administrativo, obreros, que de alguna manera colaboraron conmigo en el transcurso de mi carrera.

A mis profesores y amigos, que en su incansable lucha por impartir sus conocimientos, han formado y forjados profesionales en su rama. Muy especialmente a los profesores: Santiago Escalante, Luis Suárez, Pedro López, Eulogio Hernández, Melquiades Bermúdez y Pedro Rodríguez.

A la empresa PDVSA, Gerencia de Distribución Oriente, por haberme permitido realizar mi pasantía dentro de sus instalaciones y así poder culminar mi carrera universitaria. Muy especialmente a los Ingenieros, Miguel Marcano, Zullymar Tovar y Alexander Gutiérrez, al personal de mantenimiento, Juan Mena, Manuel Guarache, Ramón Rodríguez y Juan García. Gracias por el apoyo.

A María Virginia Venal, por su apoyo, colaboración, ayuda, cooperación y por soportarme a lo largo de mi carrera. Gracias Mary.

A mis padrinos por apoyarme y ayudarme cuando lo he necesitado. A José Hernández, Manuela Marcano (La Nena), Eduardo Millán (Guaro), Luis Salazar e Ismenia Hernández (Tia Meña).

A mi abuela, tíos, primos y demás familiares por ser parte de mi vida y darme su afecto y apoyo.

A cada uno de mis tíos que sin que halla un vínculo sanguíneo, existe el mas importante que alguien pueda recibir, que es el cariño, apoyo y confianza de quererme como su sobrino. Mis tíos: Hernández, Rodríguez, Moya, Rosario, González, Millán, etc. Dios los bendiga.

Aquellas bellas personas que me han dado su afecto y cariño, a las que llamo MADRE y siempre me abren las puertas de sus casas y reciben con mucho amor: Negdy Chaaban, Hilda Rivera, Haidee Zabala y la Nena.

A mis grandes amigos: Eduardo Díaz, Neyfi León, Julio Velásquez, Carlos Dos Santos, José Díaz, Mariangel Rodríguez, Jesús Franco, Angellis Rodríguez, Nelson Sánchez, Reivis Valdiviezo, Jesús Lara, Nelsis Gil, Alfonso Febres, María León, Víctor Brito, Eimmy Mendoza, Vicente Toledo, Analy Ordaz, Antonio García, Carlos Salazar, Zailuz Gómez, Javier García, Ángel Guaregua, Daniel Indriago, Diegmar Tocuyo, José Ortiz, Sorangel Lugo, Carlos Espinoza, Neyddy León. Quiero agradecer de manera muy especial a mi amigo, Anyelo Prado, que llego de manera oportuna a ordenar mis ideas cuando todo era un mar de confusiones. A todos mi amigos y compañeros, Mil Gracias y que Dios los Bendiga.

*Juan Francisco León Guaiquirian.*

## **RESUMEN**

En el presente trabajo se realizó un estudio para la adecuación del sistema eléctrico de la Planta de Distribución de Combustible – Puerto La Cruz. Durante un corte total de energía, un generador auxiliar Diesel puede garantizar el suministro de energía a equipos que no pueden ser interrumpido su alimentación; en la actualidad existe en las instalaciones un generador de 350 kVA, que actúa cuando el suministro de energía es suspendido de manera imprevista, aunque inmediatamente entra en funcionamiento este no cubre la capacidad de demanda de las cargas exigidas, por lo cual el objetivo principal en este proyecto se basó en adecuar y proponer soluciones, previo estudio de ingeniería que permitan alimentar o mantener operativa las cargas asociadas a los diferentes productos de despacho en el llenadero por medio de un generador auxiliar de mayor capacidad.

En este trabajo se realizó el levantamiento del sistema eléctrico para así conocer detalladamente la carga instalada, posteriormente se realizó un estudio de análisis de carga, con la herramienta computacional ETAP 5.03 se realizó el estudio de flujo de carga completo tomando en cuenta las distintas condiciones de operación que puede tomar el sistema y los estudios de arranque de motores y cortocircuito para hacer un estudio más detallado del sistema. Así como también, se realizaron propuestas para el dimensionamiento de un nuevo equipo de generación de emergencia y para el sistema de transferencia automática.



# CONTENIDO

<b>RESOLUCIÓN</b> .....	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>CONTENIDO</b> .....	<b>IX</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XIV</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>XVI</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>18</b>
<b>DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA</b> .....	<b>18</b>
1.1. PRESENTACIÓN DE LA EMPRESA.....	18
1.1.1. <i>Exploración y Producción</i> .....	19
1.1.2. <i>Refinación</i> .....	20
1.1.3. <i>Comercialización</i> .....	20
1.2. PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE PUERTO LA CRUZ .....	21
1.2.1. <i>Ubicación de la Planta de Distribución de Combustible - Puerto La Cruz</i> .....	23
1.2.2. <i>Descripción de las áreas de la Planta de Distribución de Combustible - Puerto La Cruz</i> .....	24
1.2.2.1. <i>Múltiple de recepción y transferencia de producto</i> .....	24
1.2.2.2. <i>Patio de tanques</i> .....	24
1.2.2.3. <i>Llenadero de cisterna</i> .....	24
1.2.2.4. <i>Estación de bombas</i> .....	25
1.2.2.5. <i>EDIFICIO ADMINISTRATIVO</i> .....	25
1.2.2.6. <i>SALA DE CONTROL DE OPERACIONES Y SERVICIOS AUXILIARES</i> .....	26
1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	27
1.4. OBJETIVOS.....	28
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	28
1.4.2. <i>Objetivos Especificos</i> .....	29
<b>CAPÍTULO II</b> .....	<b>30</b>
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>30</b>

2.1. SISTEMA DE GENERACIÓN DE EMERGENCIA.....	30
2.1.1. <i>Generación de energía</i> .....	32
2.1.2. <i>Grupo electrógeno (motor – generador)</i> .....	32
2.1.3. <i>Sistema crítico</i> .....	32
2.1.4. <i>Cargas críticas</i> .....	33
2.2. GENERADOR ELÉCTRICO.....	33
2.2.1. <i>Principio operativo del generador de electricidad</i> .....	34
2.2.2. <i>Clasificación de los generadores eléctricos</i> .....	34
2.2.3. <i>Partes de un generador</i> .....	35
2.2.4. <i>Generador sincrónico</i> .....	35
2.2.4.1. <i>Clasificación de los generadores sincrónicos</i> .....	37
2.2.5. <i>Conexión de generadores a un sistema de potencia</i> .....	39
2.3. GENERADORES DIESEL.....	40
2.3.1. <i>Capacidad nominal</i> .....	40
2.3.2. <i>Motores para generadores de emergencia</i> .....	41
2.3.3. <i>Algunos tamaños comerciales de motores de combustión, para generadores en planta de emergencia (Diesel)</i> .....	42
2.4. PROTECCIONES DE GENERADORES.....	43
2.4.1. <i>Interruptores</i> .....	44
2.4.2. <i>Seccionadores</i> .....	44
2.5. MODULO DE TRANFERENCIA DE CARGA.....	45
2.5.1. <i>Operación automática</i> .....	47
2.5.2. <i>Operación manual</i> .....	47
2.6. SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN INDUSTRIALES.....	48
2.7. DIAGRAMA UNIFILAR.....	48
2.8. DIAGRAMA DE IMPEDANCIAS.....	49
2.9. FLUJO DE CARGA.....	50
2.9.1. <i>Modelo Matemático</i> .....	52
2.9.2. <i>Objetivos del Estudio de Flujo de Carga</i> .....	54
2.9.3. <i>Tipos de Barras</i> .....	55
2.9.3.1. <i>Barra PQ</i> .....	55
2.9.3.2. <i>Barra PV</i> .....	56
2.9.3.3. <i>Barra de Referencia</i> .....	56
2.9.4. <i>Métodos para la obtención del flujo de carga</i> .....	58
2.9.4.1. <i>Método de Gauss-Seidel</i> .....	59

2.9.4.2. Limitaciones del método de Gauss-Seidel.....	60
2.9.4.3. Eficiencia del método de Gauss-Seidel.....	60
2.9.5. <i>Método de Newton-Raphson</i> .....	60
2.10 ESTUDIO DE ARRANQUE DE MOTORES.....	61
2.10.1 <i>Arranque de motores</i> .....	62
2.10.2. <i>Tipos de arrancadores de motores</i> .....	63
2.10.2.1. Arrancadores de motores asincrónicos.....	63
2.10.2.1.1. Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla.....	63
2.10.2.1.2. Arranque directo de motores asincrónicos con rotor jaula de ardilla.....	65
2.10.2.1.3. Arranque a tensión reducida de motores asincrónicos con rotor jaula de ardilla.....	65
2.10.2.1.4. Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla por conmutación estrella-triángulo.....	66
2.10.2.1.5. Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla por autotransformador de arranque.....	68
2.10.2.1.6. Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla por dispositivos electrónicos.....	68
2.10.2.1.7. Arranque de motores asincrónicos con rotor bobinado.....	69
2.10.2.1.8. Caída de tensión en el arranque de motores asincrónicos.....	70
2.11. ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO.....	71
2.11.1. <i>Corriente cortocircuito</i> .....	71
2.11.2. <i>Características de la corriente de cortocircuito</i> .....	73
2.11.3. <i>Falla</i> .....	73
2.11.4. <i>Falla en un Sistema de Potencia</i> .....	73
2.11.5. <i>Tipos de Fallas en un Sistema de Potencia</i> .....	74
2.11.6. <i>Prevención de Fallas</i> .....	77
2.11.7. <i>Disminución de los Efectos de una Falla</i> .....	77
2.12. PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE LOS TRANSIENTES ELÉCTRICOS (ETAP) .....	78
2.12.1. <i>Descripción del producto</i> .....	78
2.12.2. <i>Operación en realidad virtual</i> .....	79
2.12.3. <i>Integración total de datos</i> .....	80
2.12.4. <i>Simplicidad en la entrada de datos</i> .....	80
2.12.5. <i>Modelado</i> .....	81
2.12.6. <i>Características del programa</i> .....	83
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>85</b>

<b>DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO.....</b>	<b>85</b>
3.1. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ.....	85
3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES – PUERTO LA CRUZ.....	86
3.2.1. <i>Transformadores de Potencia</i> .....	89
3.2.2. <i>Motores eléctricos</i> .....	91
3.2.3. <i>Conductores eléctricos</i> .....	92
3.2.4. <i>Interruptores de Potencia</i> .....	93
3.2.5. <i>Generador de emergencia</i> .....	94
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>96</b>
<b>DESARROLLO DEL PROYECTO .....</b>	<b>96</b>
4.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMERGENCIA DEL LLENADERO DE GUARAGUAO.....	96
4.2. ESTUDIOS Y RESULTADOS. ....	97
4.2.1. <i>Análisis de carga</i> .....	97
4.3. SIMULACIÓN DE ARRANQUE DE MOTORES .....	99
4.3.1. <i>Metodología</i> .....	99
4.3.2. <i>Resultados</i> .....	100
4.4. SIMULACIÓN DE FLUJO DE CARGA .....	101
4.4.1. <i>Metodología</i> .....	101
4.4.2. <i>Resultados</i> .....	103
4.5. ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO.....	108
4.5.1. <i>Metodología del Cálculo</i> .....	109
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>110</b>
<b>PROPUESTA TECNICA .....</b>	<b>110</b>
5.1. CARACTERISTICA DEL EQUIPO GENERADOR AUXILIAR.....	110
5.1.1. <i>Normas</i> . ....	110
5.1.2. <i>Especificaciones</i> . ....	111
5.2. CAPACIDAD NOMINAL PARA EL MOTOR.....	112
5.3. DISPOSICION DEL EQUIPO Y LOS ACCESORIOS.....	113
5.4. EL MOTOR Y LOS ACCESORIOS. ....	114

5.4.1. <i>El Motor</i> .....	114
5.4.1.1. <i>Caballos de Fuerza</i> .....	114
5.4.1.2. <i>Velocidad</i> .....	114
5.4.2. <i>Los Accesorios</i> .....	115
5.5. EL GENERADOR Y LOS ACCESORIOS.....	119
5.5.1 <i>El Generador</i> .....	119
5.5.2. <i>Capacidad nominal</i> .....	119
5.5.3. <i>Los Accesorios</i> .....	120
5.6. PRUEBAS.....	121
5.6.1. <i>Pruebas en fábrica</i> .....	121
5.6.2. <i>Pruebas en el lugar de instalación</i> .....	122
5.7. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN.....	125
5.7.1. <i>Caída de Tensión</i> .....	125
5.7.2. <i>Sistema de Puesta a Tierra</i> .....	125
5.7.3 <i>Re-arranque en secuencia</i> .....	126
5.7.4 <i>Estrategia de Control</i> .....	126
5.8. SISTEMA DE TRANSFERENCIA AUTOMÁTICA.....	126
5.8.1. <i>Especificaciones</i> .....	126
5.8.2. <i>Suministro</i> .....	127
5.8.3 <i>Controladores Automáticos</i> .....	127
5.8.4 <i>Características generales</i> .....	128
5.8.5 <i>Alimentación del sistema</i> .....	129
5.8.6. <i>Procedimiento para alimentar cargas</i> .....	130
5.8.7. <i>Placas de control</i> .....	131
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>132</b>
<b>RECOMENDACIONES</b> .....	<b>134</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>135</b>
<b>APÉNDICES</b> .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
<b>METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:</b> .....	<b>229</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA 1.1. UBICACIÓN DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE PUERTO LA CRUZ .....</b>	<b>23</b>
<b>FIGURA 1.2. ESTRUCTURA ORGANIZATIVA DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLES                    PUERTO LA CRUZ.....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 2.1. ESQUEMÁTICO DE UN GENERADOR SIN EXCITATRIZ .....</b>	<b>35</b>
<b>FIGURA N° 2. 2. GENERADOR DE ROTOR CILÍNDRICO. [6] .....</b>	<b>38</b>
<b>FIGURA N° 2. 3. GENERADOR DE POLOS SALIENTES. [6].....</b>	<b>39</b>
<b>FIGURA 2.4. TÍPICOS DE GENERADORES DIESEL .....</b>	<b>40</b>
<b>FIGURA 2.5. DIAGRAMA DE BLOQUE DE UN SISTEMA ELÉCTRICO CON DOS FUENTES DE ALIMENTACIÓN.....</b>	<b>46</b>
<b>FIGURA 2.6 TIPOS DE BARRAS. ....</b>	<b>58</b>
<b>FIGURA 2.7. FALLA DE FASE A TIERRA.....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 2.8. FALLA DE FASE A FASE.....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 2.9. FALLA DE TRIFÁSICA. ....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 2.12. VISTA GENERAL DE UN DESPLIEGUE DE PANTALLA DEL PROGRAMA. .....</b>	<b>79</b>
<b>FIGURA 2.8 EJEMPLO DE ESTUDIOS SIMULTÁNEOS DE DERRATEO DE CABLES, CORTO CIRCUITO Y    FLUJO DE CARGA.....</b>	<b>82</b>
<b>FIGURA 3.1. DIAGRAMA UNIFILAR SIMPLIFICADO DE LA RPLC .....</b>	<b>86</b>
<b>FIGURA 3.2. DIAGRAMA DE LA REFINERÍA PUERTO LA CRUZ.....</b>	<b>87</b>
<b>FIGURA 3.3. DIAGRAMA DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE PUERTO LA CRUZ. ....</b>	<b>89</b>
<b>FIGURA 3.4 TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 2500 KVA .....</b>	<b>90</b>
<b>FIGURA 3.5 TRANSFORMADOR DE POTENCIA DE 1500 KVA .....</b>	<b>90</b>
<b>FIGURA 3.6. MOTORES DE INDUCCIÓN.....</b>	<b>91</b>

<b>FIGURA 3.7. CONDUCTORES DE POTENCIA CONECTADOS A UNA BARRA DE DISTRIBUCIÓN .....</b>	<b>93</b>
<b>FIGURA 3.8. INTERRUPTORES DE POTENCIA DEL CENTRO DE CONTROL DE MOTORES .....</b>	<b>94</b>
<b>FIGURA 3.9. GENERADOR DE EMERGENCIA .....</b>	<b>95</b>
<b>FIGURA 5.1. ALIMENTACIÓN DEL SISTEMA DE CONMUTACIÓN.....</b>	<b>129</b>
<b>FIGURA 5.2. ENTRADAS DE SEÑALES DE TENSIÓN.....</b>	<b>130</b>
<b>FIGURA 5.3. PROCEDIMIENTO PARA LA TRANSFERENCIA.....</b>	<b>131</b>

## INDICE DE TABLAS

TABLA 2.1 CAPACIDAD NOMINAL DE LOS GENERADORES. ....	41
TABLA 2.2 TAMAÑOS COMERCIALES DE MOTORES DE COMBUSTIÓN PARA GENERADORES.....	42
TABLA 2.3. LIMITES DE CORRIENTES EN EL ARRANQUE DE MOTORES ASINCRÓNICOS CON ROTOR EN JAULA DE ARDILLA.....	64
TABLA 3.1 DATOS DE LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA .....	91
TABLA 3.2 DATOS DE LOS MOTORES ASOCIADOS AL LLENADERO .....	92
TABLA 4.1. VALORES NOMINALES Y REALES DE OPERACIÓN.....	98
TABLA 4.2. RESULTADO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN ARRANQUE DE MOTORES DE LAS BARRAS Y LOS MOTORES DEL CASO N°1.....	100
TABLA 4.3. RESULTADO DE CAÍDA DE TENSIÓN EN ARRANQUE DE MOTORES DE LAS BARRAS Y LOS MOTORES DEL CASO N°2.....	101
TABLA 4.4. LIMITES DE CAÍDAS DE TENSIÓN ESTABLECIDOS POR LA NORMA ANSI C84.1-1995 .....	102
TABLA 4.5. ESCENARIOS PRESENTES EN LA SIMULACIÓN DE FLUJO DE CARGA ...	103
TABLA 4.6. NIVELES DE TENSIÓN Y POTENCIA DEL ESCENARIO N°1 .....	104
TABLA 4.7. NIVELES DE TENSIÓN Y POTENCIA DEL ESCENARIO N°2 .....	105
TABLA 4.9. NIVELES DE TENSIÓN Y POTENCIA DEL ESCENARIO N°4 .....	107
TABLA 4.10. NIVELES DE TENSIÓN Y POTENCIA DEL ESCENARIO N°5 .....	107
TABLA 4.11. NIVELES DE TENSIÓN Y POTENCIA DEL ESCENARIO N°6 .....	108
COLOCAR NOMBRE DE LA TABLA.....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
TABLA 5.1. CARACTERÍSTICA DE LOS MOTORES AL FRENO.....	113
TABLA 5.2. PROCEDIMIENTO PARA LA TRASFERENCIA. ....	131



# CAPÍTULO I

## DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PROBLEMA

### 1.1. Presentación de la Empresa

Petróleos de Venezuela S.A. es la corporación estatal de la República Bolivariana de Venezuela que se encarga de la exploración, producción, manufactura, transporte y mercadeo de los hidrocarburos, de manera eficiente, rentable, segura, transparente y comprometida con la protección ambiental; con el fin último de motorizar el desarrollo armónico del país, afianzar el uso soberano de los recursos, potenciar el desarrollo endógeno y propiciar una existencia digna y provechosa para el pueblo venezolano, propietario de la riqueza del subsuelo nacional y único dueño de esta empresa operadora.

El 1° de enero de 1976 nació como la empresa encargada de asumir las funciones de planificación, coordinación y supervisión de la industria petrolera nacional al concluir el proceso de reversión de las concesiones de hidrocarburos a las compañías extranjeras que operaban en Territorio Venezolano.

Por mandato de la Constitución de la República Bolivariana de Venezuela, la totalidad de las acciones de Petróleos de Venezuela S.A. pertenecen al Estado Venezolano, en razón de la estrategia nacional y la soberanía económica y política, ejercida por el pueblo venezolano. En ese sentido, PDVSA está subordinada al Estado Venezolano y por lo tanto actúa bajo los lineamientos trazados en los Planes de Desarrollo Nacional y de acuerdo a las políticas, directrices, planes y estrategias para el sector de los hidrocarburos, dictadas por el Ministerio de Energía y Petróleo.



A continuación se mencionan los procesos que realiza PDVSA:

**Exploración y Producción:** es el primer eslabón de la cadena, el cual se ubica en aguas arriba del negocio. De esta fase depende el hallazgo de hidrocarburos (gaseosos y no gaseosos) en el subsuelo.

**Refinación:** proceso que se encarga de la transformación de los hidrocarburos en productos derivados.

**Gas:** Con unas reservas probadas por 147 billones de pies cúbicos, Venezuela es una de las potencias mundiales del sector de hidrocarburos gaseosos.

**Comercialización:** último eslabón de la cadena productiva. En esta etapa se establecen las fórmulas de precios que reflejan las variaciones del mercado para garantizar precios e ingresos justos para el pueblo venezolano.

### 1.1.1. Exploración y Producción

El objeto del proceso de Exploración y Producción es maximizar el valor económico a largo plazo de las reservas de hidrocarburos gaseosos y no gaseosos en el suelo patrio, garantizando la seguridad de sus instalaciones y su personal, en armonía con los venezolanos y el medio ambiente. Uno de los procesos vitales de la industria petrolera es la exploración, pues de él depende el hallazgo de hidrocarburos (gaseosos y no gaseosos) en el subsuelo. La Exploración, es el primer eslabón de la cadena, es decir, nos ubicamos aguas arriba del negocio, por lo cual se convierte en la base fundamental para que exista PDVSA.

La misión primordial de la Exploración, consiste en la incorporación de recursos de hidrocarburos, de acuerdo a los lineamientos de la corporación para asegurar la continuidad del negocio

### **1.1.2. Refinación**

La refinación es el proceso que se encarga de la transformación de los hidrocarburos en productos derivados. PDVSA realiza sus operaciones de procesamiento del crudo a través de 22 refinerías: tres complejos en Venezuela, y diecinueve en el resto del mundo.

Del petróleo se obtienen muchos productos, desde gases y líquidos sumamente volátiles como la gasolina, hasta fluidos muy espesos como el asfalto y aun sólidos como la parafina o ceras. En líneas generales, los derivados básicos del petróleo son: gases, gasolina de motor, gasolina de aviación, kerosén, gasoil, diesel, solventes, bases lubricantes, parafina, combustible pesado (fuel oil) y asfalto.

Además de esos productos básicos elaborados en instalaciones propias, la industria suministra materias primas a plantas petroquímicas y empresas manufactureras para producir caucho sintético, fibras sintéticas, fertilizantes, explosivos, insecticidas, medicinas, artículos de tocador y miles de otros productos. PDVSA es la tercera empresa en el proceso de refinación en el mundo, con una capacidad de procesamiento de petróleo de 3.3 millones de barriles por día.

### **1.1.3. Comercialización**

La comercialización y el suministro de crudos y productos es el último eslabón de la cadena productiva de Petróleos de Venezuela, S.A. En esta etapa se establecen las fórmulas de precios que reflejan las variaciones del mercado para garantizar precios e ingresos justos para el pueblo venezolano.

Uno de los principales objetivos está en garantizar la seguridad energética del mercado interno, asegurando el correcto y oportuno suministro de 1.1 millones de barriles de crudo al año y de 500 mil barriles diarios de productos generados de los hidrocarburos para el mercado nacional.

Dentro de la estructura de PDVSA se encuentra la Gerencia de Comercialización y Distribución Venezuela, la cual es la responsable de garantizar el suministro y distribución de combustibles en el mercado interno, así como la óptima operación de este sistema, mediante una red combinada de tanques de almacenamiento y poliductos.

## **1.2. Planta de Distribución de Combustible Puerto La Cruz**

En el año 1988, se dio inicio a la operación del Sistema de Suministro de Combustibles Oriente (SISOR), con el propósito de optimar el transporte, el almacenaje y distribución de combustibles para los centros de consumo del oriente y sur del país. La **Planta de Distribución de Combustibles – Puerto La Cruz** se encuentra ubicada dentro del área de la Refinería de PDVSA en Puerto La Cruz, municipio Sotillo del Estado Anzoátegui, ocupando una extensión aproximada de (6) hectáreas. En ella se localiza la estación principal de bombeo del sistema Sisor, así como el llenadero de cisternas de Guaraguao. Es el centro de las operaciones del poliducto y el punto de recepción de los productos provenientes de la refinería.

El Sistema de poliducto esta conformado por un recorrido de tuberías de aproximadamente 600 Km. de longitud, interconectando a 7 Plantas de Almacenaje y Distribución, localizadas en las mismas ciudades que llevan sus nombres: Puerto La Cruz, San Tomé, Maturín, Puerto Ordaz y Ciudad Bolívar. Por vía fluvial se envía combustible a dos Plantas del sistema, ubicadas en el Guamache (Estado Nueva Esparta) y Puerto Ayacucho (Estado Amazonas).

El poliducto en su recorrido, cruza los municipios Sotillo, Anaco, Freites e Independencia del estado Anzoátegui, Santa Bárbara, Cedeño y Maturín del estado Monagas y Caroni del estado Bolívar. La ruta del poliducto esta definida en cuatro (4) tramos: Puerto la Cruz / San Tomé, San Tomé / Maturín, San Tomé / Puerto Ordaz y Puerto Ordaz / Ciudad Bolívar. A lo largo de la ruta, la tubería cruza distintos ambientes o paisajes, destacándose: sabanas de gramíneas, bosques de galería, matorrales, cultivos extensivos, áreas urbanas y plantaciones forestales. La topografía también presenta distintas formas desde áreas muy quebradas hasta de poca pendiente.

El llenadero de Guaraguao se encarga de despachar combustibles a las cisternas, las cuales a su vez abastecen del mismo a estaciones de servicio y empresas mayoristas ubicadas en el área centro-norte del Estado Anzoátegui, oeste del estado Sucre y este del Estado Guárico, siendo el despacho promedio de 165 unidades diarias y 39 mil barriles diarios, de combustibles despachado. Está compuesto por cinco (5) islas de llenado, las cuales realizan el llenado por el fondo de las cisternas. Dichas islas poseen a su vez una serie de picos por los cuales se efectúa la descarga del combustible en las cisternas, siendo estos veintidós (22) en total. Los combustibles distribuidos son: Gasolinas sin plomo de 91 y 95 octanos, Diesel, Jet A-1 y kerosene, siendo este último despachado de manera ocasional. Estos son traídos a la planta desde una serie de tanques de almacenamiento ubicados en la refinería PLC, por medio de un sistema de bombeo ubicado dentro de las instalaciones de la planta SITOR, las cuales se dividen a su vez en subsistemas de acuerdo al combustible que manejan. Dicho sistema está compuesto por once (11) bombas de tipo centrífugas, las cuales se encuentran dispuestas en paralelo y se distribuyen de la siguiente manera: tres (3) bombas para el manejo de Diesel (131-A, 131-B y 131-C), dos (2) para la gasolina de 91 octanos (GA-01 y GA-02), dos (2) para la gasolina de 95 octanos (GM-01 y GM-02) y cuatro (4) para jet-A1 (208, 209, Jet 01 y Jet 02).

La Planta de Distribución de Combustibles Puerto La Cruz, forma parte de las ocho (08) Plantas que integran la Gerencia de Distribución Oriente (SISOR).

### 1.2.1. Ubicación de la Planta de Distribución de Combustible - Puerto La Cruz

Está ubicada en el Municipio Sotillo del Estado Anzoátegui, Calle el Taladro, en las instalaciones de la refinería Puerto La Cruz, ocupando una extensión aproximada de (06) Hectáreas. En ella se localiza la estación principal de bombeo del sistema SISOR y el llenadero de cisterna Guaraguao. En la figura 1.1 se muestra la ubicación de la planta de Distribución de Combustible Puerto La Cruz.



Figura 1.1. Ubicación De La Planta de Distribución de Combustible Puerto La Cruz

## **1.2.2. Descripción de las áreas de la Planta de Distribución de Combustible - Puerto La Cruz**

### **1.2.2.1. Múltiple de recepción y transferencia de producto**

El flujo proveniente de refinería, es conducido por líneas y válvula manuales individuales para cada tipo de producto hacia los tanques e islas de llenado.

### **1.2.2.2. Patio de tanques**

Esta área está ubicada dentro las instalaciones de Refinería Puerto la Cruz. Como su nombre lo indica, es el lugar donde se encuentran ubicados los tanques de almacenamiento, los cuales están destinados a la recepción directa de productos desde muelle guaraguao o refinería.

Este patio contiene, muchos tanques que pertenecen a la Refinería Puerto La Cruz, La Planta es custodio únicamente del tanque 211 con una capacidad de 5 Mbbls utilizado para almacenar JET A1, en el caso de El Llenadero de asfalto (EL Chaure) el TK 21 y TK 22 respectivamente.

### **1.2.2.3. Llenadero de cisterna**

Las instalaciones para cargar a los camiones cisternas con cualquiera de los productos separados consisten en un par de tanques de almacenamiento y de bombas para cargar los productos.

En este lugar están ubicadas las cinco (5) islas de llenado que suministran producto a los camiones cisternas.

#### **1.2.2.4. Estación de bombas**

- Estación de Bomba N° 1 (Bombas de Refuerzo): Se encuentran las bombas B-201 y B-202 que como su nombre lo indica sirven de refuerzo a las bombas principales.
- Estación de Bomba N° 2 (Bombas Principales): A través de esta estación se despacha la gasolina 91, gasolina 95, jet A1, con las bombas B -203, B-204, B 205 asociadas al múltiple de transferencia /Poliducto.
- Estación de Bomba N° 3 (Bombas del Llenadero): En esta área se encuentran las bombas: GM-1 y GM-2 a través de estas se despachan gasolina 95, GA-1 y GA-2, se despacha gasolina 91.
- Estación de Bomba N° 4 (Bombas de Diesel): Esta estación comprende las bombas 131A, 131B, 131C para Diesel.
- Estación de Bomba N° 5 (Bombas de Jet):A través de esta estación se despacha turbó combustible JET A1 comprende las Bombas A1-1 y A1-2.
- Estación de Bomba N° 6 (Estación de Bombas de transferencia de JET):Mediante esta estación se realiza la transferencia de jet comprende las bombas B-208 y B-209.

#### **1.2.2.5. Edificio Administrativo**

Está ubicado al Sureste de la Planta, en esta se encuentran las oficinas administrativas (Facturación), Oficina Supervisor de planta, secretariado, Oficina Supervisor de mantenimiento y unidad bancaria Cajero Mercantil.



### 1.2.2.6. Sala de control de operaciones y servicios auxiliares

En este espacio se encuentra los controles para el encendido y apagado de las bombas para el llenado de las cisternas (Sistema de Parada de Planta). El panel principal del sistema de diluvio y del sistema contra incendio de llenadero, además del sistema de parada emergencia de poliducto y sistema de gas Halon. En la figura 1.2 se muestra la estructura organizativa de la planta de distribución de Combustibles Puerto La Cruz.

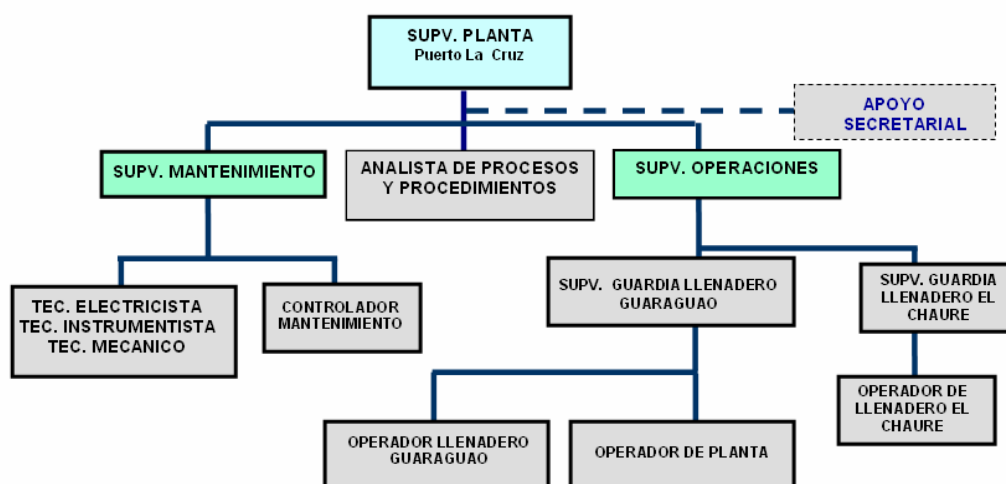


Figura 1.2. Estructura Organizativa de La Planta de Distribución de Combustibles Puerto La Cruz

### **1.3. Planteamiento Del Problema**

La planta de distribución de combustibles Puerto La Cruz (P/D PLC) constituye la instalación de mayor importancia del sistema de suministro de oriente (SISOR). Tiene como misión distribuir combustible al centro-norte del Estado Anzoátegui, oeste del Estado Sucre, este del Estado Guárico y en el caso del combustible de aviación para toda la zona oriental y sur del país. Debido a esto y a la importancia de los procesos que en ella se realizan es primordial que el servicio eléctrico sea continuo, confiable y seguro con un sistema de emergencia que sea fuente independiente de respaldo de energía eléctrica, que actúe cuando exista una falla en la alimentación normal, proporcionando energía eficiente, durante un tiempo específico a equipos y aparatos críticos necesarios e indispensables para garantizar la integridad de los trabajadores, y la operatividad de la P/D PLC.

El sistema eléctrico de emergencia de la planta cuenta con un generador diesel de 350 kVA, que actúa cuando el suministro de energía es suspendido de manera imprevista, aunque inmediatamente entra en funcionamiento este no cubre la capacidad de demanda de las cargas exigidas, es por ello que varias áreas y equipos seleccionados según un criterio de prioridad de la empresa queda sin energía eléctrica, tal es el caso de las bombas asociadas al proceso de llenado de las cisternas de combustible, que detiene totalmente la acción de despacho de combustible cuando se presenta una eventualidad de este tipo. Las fallas del sistema eléctrico de emergencia y su impacto directo en la pérdida de energía para determinadas áreas y equipos de importancia, afectan de tal forma que la P/D PLC queda detenida totalmente las actividades operacionales ocasionando pérdidas económicas.

Motivado por todo lo antes descrito se desarrolló este proyecto de trabajo de pasantía, cuyo objetivo principal fue el de adecuar el sistema eléctrico de emergencia de la planta de Distribución de Combustible – Puerto La Cruz, con la finalidad de garantizar en todo momento la actividad de llenado a través de las islas y mantener operativas las cargas más críticas asociadas al proceso de despacho de combustible por medio de un generador de emergencia que actúe en caso de pérdida total de la energía eléctrica, así como también, cuando se realicen labores de mantenimiento, además de plantear propuestas como alternativa de solución del sistema eléctrico de emergencia, para lo cual se tomó en cuenta diversos aspectos seleccionados con el análisis de cargas. El estudio se realizó según la metodología correspondiente al tipo de investigación descriptiva y proyectiva, ya que entre sus objetivos se encuentra una propuesta, así mismo se aplicaron técnicas e instrumentos para la recolección de datos cuantitativos con aportes cualitativos, los cuales fueron de apoyo para el análisis de los resultados y el desarrollo de los objetivos específico.

En cuanto a su importancia, tanto la investigación como las propuestas sirven de referencia para que la gerencia de la empresa objeto de estudio, emprenda un proceso decisivo que conlleve a establecer las mejoras que requiere el sistema actual, sustentándose en los resultados del presente estudio.

#### **1.4. OBJETIVOS.**

Los objetivos planteados para resolver el problema presente son los siguientes:

##### **1.4.1. Objetivo General.**

Adecuar el sistema eléctrico de emergencia de la Planta de Distribución de Combustibles - Puerto la Cruz.

### **1.4.2. Objetivos Específicos.**

1. Describir el sistema eléctrico, asociado al llenadero de la Planta de Distribución de Combustibles - Puerto La Cruz.
2. Realizar un estudio de carga del sistema eléctrico de la Planta de Distribución de Combustibles - Puerto La Cruz.
3. Evaluar mediante el modulo de flujo de carga de la herramienta computacional ETAP 5.03 el comportamiento actual del sistema eléctrico del llenadero, las cargas criticas y no criticas en funcionamiento conjunto con las bombas de llenado.
4. Proponer recomendaciones en el dimensionamiento del generador de emergencia, así como en el sistema de transferencia automática con base al análisis de los resultados obtenidos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Sistema de Generación de Emergencia

Los sistemas de generación de emergencia son prioritarios para la conexión de cargas críticas, necesarias para que el suministro de energía eléctrica pudiera mantenerse activo ante cualquier eventualidad de contingencia o falla. Se han realizado evaluaciones y aplicaciones para diferentes áreas, ya sea en el ámbito empresarial, como procesos industriales, hospitales, sistemas de alarmas u otros donde se han hecho indispensables estos tipos de instalaciones. En la actualidad los sistemas de generación de emergencia garantizan un respaldo oportuno y evitan de alguna manera que la interrupción de la energía eléctrica pueda producir danos o perdidas innecesarias.

Los sistemas de emergencia están constituidos por circuitos y equipos destinados a alimentar, distribuir y controlar la energía eléctrica para iluminación o fuerza, cuando se interrumpe el suministro normal de energía eléctrica. Estos sistemas deben suministrar iluminación o fuerza automáticamente a las áreas críticas y a los equipos necesarios para mantener operativas las diferentes cargas conectadas.

[1]

Se dice que los sistemas de potencia industriales y comerciales deben incluir generadores como una fuente de energía local. Esos generadores suministrarán toda o parte de la energía requerida o mejor dicho deberán proveer la potencia de emergencia si la fuente de energía normal falla.



Los sistemas de emergencia siguen los siguientes principios:

- Una fuente de poder eléctrica separada de la primera fuente de poder, operando en paralelo, eso mantiene la potencia a las cargas críticas en dado caso que la principal fuente falle.
- Una fuente de poder fiable disponible para que se puedan cambiar rápidamente y automáticamente las cargas críticas cuando la primera fuente presente falla.

Los sistemas de reserva están basados en los siguientes principios básicos:

- Una fuente fiable alternativa de energía eléctrica separada de la fuente principal de poder.
- Arranque y regulación del mando de control en el sitio para que la generación de reserva se seleccione como la fuente principal.
- Controles que transfieran las cargas de la fuente principal a la fuente de poder de emergencia que se encuentra en estado de espera.

Se debe considerar el crecimiento para cargas futuras. Los futuros requerimientos de energía necesitan frecuentemente estar conectados a los sistemas de parada y emergencia. Puede ser considerable agregar las cargas adicionales de energía existentes a la barra de poder más fiable tan pronto como las ventajas se vean reflejadas en la práctica. Si la potencia adicional no puede justificarse inicialmente, tanto el equipo como el sistema tienen que ser seleccionados y deben diseñarse para una expansión futura que sea compatible con la instalación inicial.

Los costos de operación tanto de los sistemas como del hardware son normalmente secundarios comparados con los costos iniciales de las compras de los equipos, pero deberían ser incluidos como un factor para la selección. Estos incluyen costo de combustible, frecuencia de la inspección, la facilidad de mantenimiento, medidas de control, costos de piezas e impuestos.

La calidad de la instalación debe ser alta para prevenir las pérdidas y así dar confiabilidad a la energía eléctrica diseñada dentro del sistema. Deben mantenerse los niveles de voltaje satisfactorios bajo todas las condiciones de la carga.

### **2.1.1. Generación de energía**

La generación de energía eléctrica, en términos generales, consiste en transformar alguna clase de energía no eléctrica, sea esta química, mecánica, térmica, luminosa, etc., en energía eléctrica.

### **2.1.2. Grupo electrógeno (motor – generador).**

Conjunto constituido por un motor de combustión interna accionando un generador de energía eléctrica, para proporcionar, la tensión (volts), frecuencia (Hertz) y potencia (watts), requerida para alimentar las cargas críticas o esenciales durante una falla eléctrica durante el suministro normal de energía eléctrica.

### **2.1.3. Sistema crítico.**

Sistema necesario e indispensable para la integridad de los trabajadores, la seguridad de los procesos de operación y de las instalaciones.

#### **2.1.4. Cargas críticas.**

Son aquellas que al dejar de funcionar o al funcionar inapropiadamente pone en peligro la seguridad del personal y/o ocasiona grandes perjuicios económicos.

Se dice que una carga es crítica cuando para su correcto funcionamiento necesita o bien ser alimentada por una onda de excelente características eléctricas o bien tener una alta seguridad de suministro, o ambas razones. En la actualidad las cargas críticas están presentasen una gran variedad de aplicaciones.

### **2.2. Generador Eléctrico**

Un generador eléctrico es todo dispositivo capaz de mantener una diferencia de potencial eléctrico entre dos de sus puntos, llamados polos, terminales o bornes. Los generadores eléctricos son máquinas destinadas a transformar la energía mecánica en eléctrica. Esta transformación se consigue por la acción de un campo magnético sobre los conductores eléctricos dispuestos sobre una armadura (denominada también estator).

Estas unidades son “caballos de fuerzas” que cumplen el deber de garantizar energía de emergencia. Ellos están disponibles en unidades pequeñas desde 1KVA hasta unidades más grandes de varios mil KVA. Además de proporcionar la energía auxiliar, se utilizan también para alimentar cargas máximas y a veces se usan como la fuente principal de poder.

Los generadores eléctricos o plantas de luz, como comúnmente se les conoce, son fabricadas en una gran variedad de configuraciones, aplicaciones, y capacidades, con motores diesel, a gas o motores a gasolina, como plantas de emergencia estacionarias ubicadas dentro de los edificios o comercios, o como generadores



eléctricos remolcables con la facilidad de ser transportados con mayor facilidad donde la energía eléctrica es requerida.

### **2.2.1. Principio operativo del generador de electricidad**

La electricidad es una de las formas más útiles de la energía: se distribuye con facilidad, se conecta e interrumpe instantáneamente, y se puede convertir en energía calórica, lumínica, magnética, entre otros. El principio del generador es simple: cada vez que un conductor se mueve cerca del extremo de un imán se origina en él una diferencia de tensión eléctrica (voltaje). Esta notable propiedad del magnetismo, es decir su capacidad de crear un flujo de electrones, se acepta como hecho de experiencia que cuando un conductor se mueve en un campo magnético se produce entre sus extremos una diferencia de presión eléctrica; si se conecta ese conductor a un circuito circulara en él una corriente eléctrica.

Se llama campo magnético a la zona que rodea a un imán y en la cual se manifiestan sus efectos. Para que se genere una tensión eléctrica el conductor debe moverse y atravesar las líneas de fuerza. No existirá voltaje si no se mueve, o si no se cortan las líneas de fuerza.

### **2.2.2. Clasificación de los generadores eléctricos**

Por la fuente de energía que las alimenta

- Generador de Corriente Continua
- Generador de Corriente Alterna

Por características de su velocidad

- Generador Asincrónicas
- Generador Sincrónicas

Por su forma

- Rotor de Polos salientes
- Rotor cilíndrico

### 2.2.3 Partes de un generador

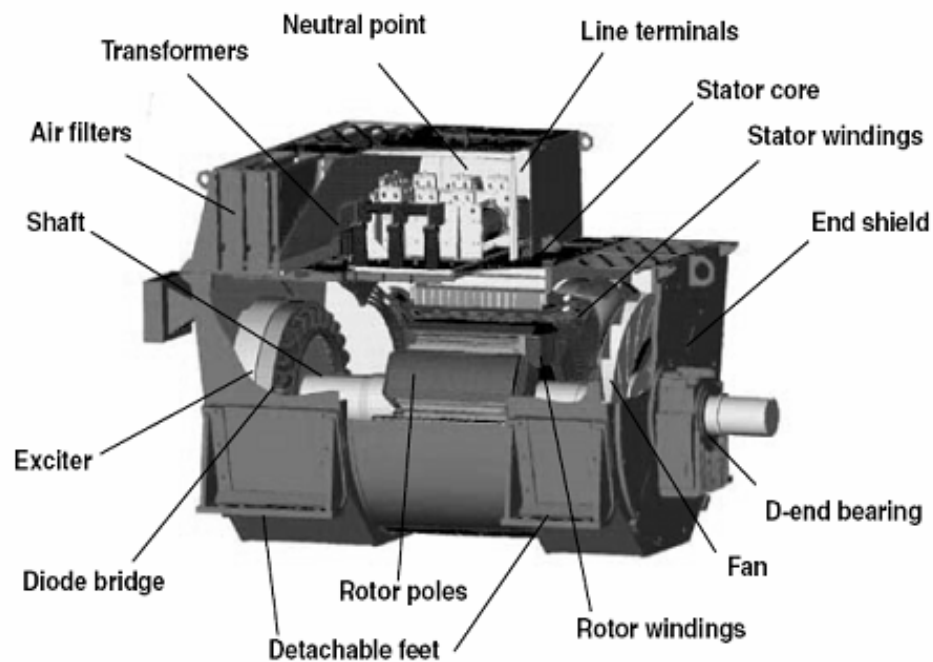


Figura 2.1. Esquemático de un Generador Sin Excitatriz

### 2.2.4. Generador sincrónico

Los generadores sincrónicos o alternadores son máquinas sincrónicas utilizadas para convertir potencia mecánica en potencia eléctrica de corriente alterna mediante la inducción de fuerzas electromotrices. Al inyectar corriente directa al rotor se crea un campo magnético, dicho campo se convierte en giratorio al momento en que el

rotor comienza a girar. El campo magnético variable corta a las bobinas que están en las ranuras del estator, induciendo de acuerdo a la Ley de Faraday, un voltaje trifásico en los terminales, produciendo un campo eléctrico en el arrollado del estator.

“Un generador de corriente alterna, consta, principalmente de un circuito magnético, un devanado de campo, un devanado de armadura y una estructura mecánica e incluye un sistema de enfriamiento y de lubricación. Los devanados de campo y del circuito magnético están dispuestos de manera tal que, al girar el eje de la máquina, el flujo magnético que eslabona el devanado de armadura cambia de modo ciclo”. [5]

La mayoría de los generadores sincrónicos son trifásicos, lo que significa que cuentan con un bobinado trifásico en el estator, por otro lado las máquinas sincrónicas monofásicas son menos comunes y por lo general de poca potencia, debido a que la construcción trifásica reduce el tamaño y el costo del generador por kilovatios.

“Las máquinas sincrónicas se conectan a sistemas en los que a su vez van conectadas también a otras máquinas sincrónicas, y entonces las tensiones y frecuencias en bornes del inducido quedan fijadas por las del sistema. Una fuente a tensión y frecuencia constantes recibe el nombre de red de potencia infinita. Cuando en el devanado del estator circula una corriente polifásica equilibrada, se crea en el entrehierro un campo magnético que gira a la velocidad del sincronismo, determinada ésta por la frecuencia del sistema, mientras que el campo producido por la corriente continua en el devanado del rotor gira con éste.

Para que se produzca y se mantenga un par motor constante unidireccional es necesario que los campos giratorios del estator y del rotor se desplacen a la misma

velocidad, y por tanto el rotor deberá moverse precisamente a la velocidad de sincronismo". [3]

En síntesis el término sincrónico proviene del hecho de que la frecuencia eléctrica producida está ligada a la velocidad de rotación de su eje.

La velocidad de sincronismo viene dada por la ecuación 2.1:

$$\eta_s = \frac{120f}{P} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

donde:

$\eta_s$ : velocidad sincrónica [rpm]

$P$ : polos

$f$ : frecuencia eléctrica [Hz.]

#### **2.2.4.1. Clasificación de los generadores sincrónicos.**

Constructivamente los generadores sincrónicos se clasifican en generadores de polos salientes y de rotor cilíndrico.

##### **➤ Generador de rotor cilíndrico.**

Esencialmente son turbogeneradores, caracterizados por las grandes velocidades de rotación adquiridas y junto con ellas, grandes fuerzas centrífugas que en el caso de polos salientes no serían tolerables.

La mayoría de estas máquinas son de dos y cuatro polos. La Figura 2.2 muestra el generador de rotor cilíndrico

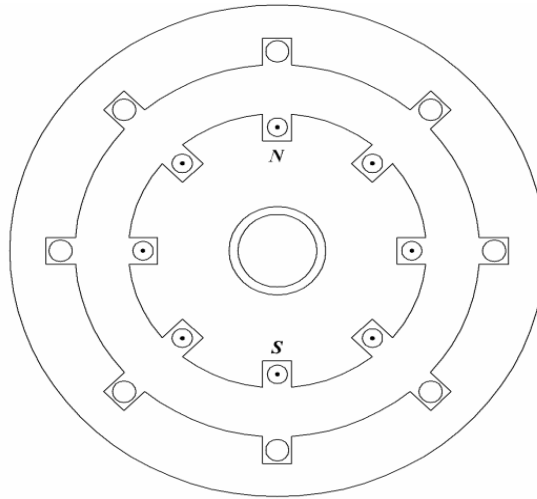


FIGURA 2. 2. Generador de rotor cilíndrico. [6]

➤ **Generador de Polos Salientes.**

Los rotores de polos salientes en generadores sincrónicos se utilizan en bajas velocidades de rotación, tales como los impulsados por ruedas de agua (Hidrogeneradores).

También son usados en motores sincrónicos. Debido a sus bajas velocidades, los generadores de polos salientes requieren de un alto número de polos. La Figura 2.3 muestra el generador de polos salientes.

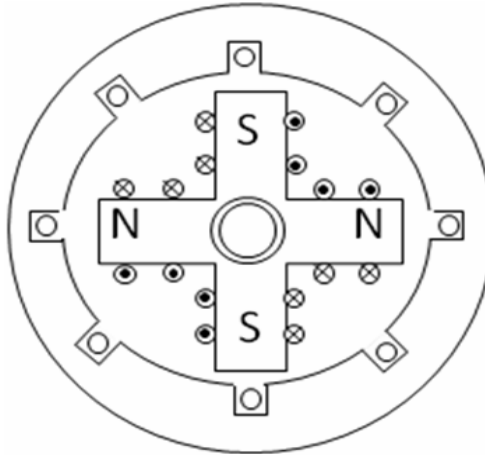


FIGURA 2. 3. Generador de polos salientes. [6]

### 2.2.5 Conexión de generadores a un sistema de potencia

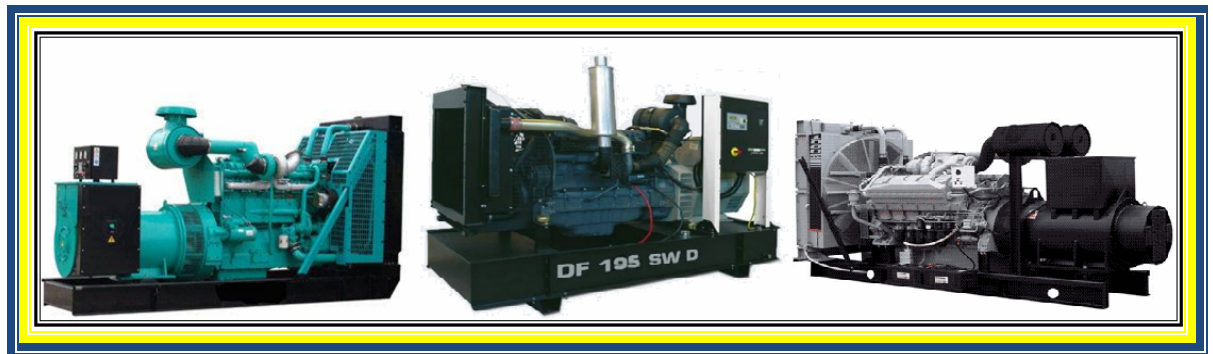
Existen dos métodos básicos principales usados en la industria para conectar generadores al sistema de potencia. Estas son conexiones directa y unitaria.

**Conexión directa:** Los generadores son conectados directamente al bus de carga sin transformación de tensión de por medio. Este tipo de conexión es un método recientemente usado en la industria para la conexión de generadores de tamaño pequeño.

**Conexión unitaria:** El generador es conectado al sistema de potencia a través de un transformador elevador. La carga auxiliar del generador es suministrada desde un transformador reductor conectado a los terminales del generador. La mayoría de los generadores grandes son conectados al sistema de potencia de esta manera, usando un transformador elevador principal con conexión estrella- delta. Al tener la generación conectado a un sistema delta, las corrientes de falla a tierra pueden ser dramáticamente reducidas usando puesta a tierra de alta impedancia. [4]

### 2.3. GENERADORES DIESEL

Un generador diesel típico de 500 kW se muestra en figura al igual que dos tipos más de generadores tanto expuestos como presurizados. Se dan tabulaciones típicas de tipos de generadores en la tabla 2.1 Los modelos individuales presentados por varias compañías pueden ser diferentes. Los de más bajas unidades de velocidad son más pesados y costosos, pero son más convenientes para las tareas continuas. [3] La figura 2.4 muestra algunos generadores Diesel.



**Figura 2.4.** Típicos de generadores diesel

#### 2.3.1. Capacidad nominal

Los generadores serán para uso de emergencia, de 480 y 277 voltios, 60 hertz, a un factor de potencia de 0,80 y accionados por motores diesel. Se espera que el generador alcance plena velocidad y esté listo para aceptar cargas en un lapso de 10 segundos después del inicio de la señal de arranque del mismo.

El generador de emergencia tendrá una capacidad nominal (kW), de acuerdo a la siguiente tabla mostrada en la tabla 2.1

**Tabla 2.1** Capacidad nominal de los Generadores.

<b>Capacidad Nominal (kW)</b>	<b>kVA a 0.8 F.P</b>
60	75
125	156,3
250	312,5
350	437,5
500	624
750	937,5
900	1125

### **2.3.2. Motores para generadores de emergencia**

El arranque exitoso de un motor de un generador requiere que el motor desarrolle suficiente torque para manejar la carga y para que los voltajes del sistema se mantengan encima de los límites críticos. La mayoría de los motores se comportan como una carga de impedancia constante durante el arranque, de cualquier manera el torque de arranque es proporcional al cuadrado del voltaje terminal. Si el voltaje terminal de un motor durante la parada es 80% de su valor nominal, el torque de arranque es 64% de su torque de rotor bloqueado nominal. Por consiguiente, el propósito de un estudio del arranque del motor es encontrar una declive máximo de voltaje que el sistema y el motor puedan resistir. Puesto que el factor de potencia de arranque de motores es bajo (típicamente de 20% a 50%) y las corrientes del rotor bloqueado son altas (típicamente de 500% a 700%), la demanda de la potencia de arranque de motores es principalmente reactiva y puede ser tan alto como diez veces la demanda de potencia reactiva de la carga completa del motor. Dependiendo del tamaño del motor con respecto al equipo generador, el arranque del motor puede representar una pequeña o una gran perturbación al generador. En los casos extremos, arrancar un motor muy grande pueden ser casi tan severos



como una condición de cortocircuito para el generador. Bajo una condición de cortocircuito, los saltos de reactancia del generador bajan desde su valor de estado firme ( $X_d$ ) al valor subtransiente ( $X_d'$ ) y entonces cambian a valores transcientes ( $X_d''$ ) y gradualmente regresa a su valor de estado firme ( $X_d$ ). Por consiguiente, para un modelo correcto de aceleración del motor en un generador, el modelo del generador debe incluir su campo y bobina amortiguadora, a fin de que el comportamiento de los subtranscientes y transcientes sea el modelo exacto. Adicional a esto, el modelo del rotor utilizado para el motor debe incluir el efecto de velocidad en la reactancia y resistencia del rotor. Esto significa que un programa de estabilidad transciente que puede incluir el efecto de excitación del generador y sistemas de gobernador, debe ser usado para los estudios de aceleración de motor.

### 2.3.3. Algunos tamaños comerciales de motores de combustión, para generadores en planta de emergencia (Diesel)

**Tabla 2.2** Tamaños comerciales de motores de combustión para generadores.

Potencia Generador (kW)	Potencia del Motor (HP)	Velocidad (RPM)	Potencia Media Efectiva	Cilindrada (Litros) (kg/cm <sup>2</sup> )	Número de Cilindros
75	112	1800	7	8,1	4
100	115	1800	6,4	12,17	6
125	202	1800	8	12,17	6
150	235	1800	10	12,17	8
200	315	1800	10	16,2	8
250	505	1800	17	14,6	6
350	660	1800	17	19,5	8
400	790	1800	18	32,2	8
600	1190	1800	18	48,3	12
900	1570	1800	18	64,5	16

## 2.4. PROTECCIONES DE GENERADORES

La frecuencia de falla en una maquina giratoria es baja con las nuevas prácticas de diseño y el mejoramiento de los materiales, pero aun pueden ocurrir fallas y resultar en severos daños y durar largos tiempo fuera de servicio. Por estas razones deben reconocerse rápidamente las condiciones anormales y la zona que produce el problema, y por consiguiente aislarlas rápidamente. Las condiciones anormales más comunes son las siguientes:

- Falla en los devanados.
- Sobrecarga.
- Calentamiento de los devanados o cojinetes.
- Perdida de excitación y perdida de sincronismo (out of step)
- Efectos motoricos de generadores.
- Operación de corriente monofásica o desbalanceada.

Muchas de estas condiciones no requieren que la unidad sea disparada automáticamente, por eso, en una subestación propiamente atendida, ella puede ser corregida mientras la maquina permanece en servicio, esas condiciones son señaladas por alarmas. Hay otras condiciones de fallas que requieren pronta remoción de la máquina de servicio.

Para cualquier condición peligrosa, la operación y costo de mantenimiento de esquemas de protección y el grado de protección que ellos aportan debe ser cuidadosamente sopesado contra los riesgos encontrados si no se aplica ninguna protección. La cantidad de protecciones variara de acuerdo al tamaño y la importancia de las maquinas.

#### **2.4.1. Interruptores**

El interruptor es un aparato mecánico de conexión, que tiene dos posiciones de reposo, capaz de establecer, soportar, e interrumpir corrientes en condiciones normales de circuito, así como en condiciones predeterminadas establecer, soportar por un lapso definido, e interrumpir corrientes en condiciones anormales especificadas de circuito tales como las de cortocircuito.

La maniobra dependiente manual puede ser inaceptable para poder garantizar el cierre, bajo condiciones de cortocircuito, en consecuencia no es en general admisible para los interruptores. Un interruptor está generalmente previsto para funcionar poco frecuentemente, aunque ciertos tipos son capaces de maniobrar frecuentemente. Las piezas conductoras que se incluyen en el circuito para cumplir la función de cerrar o abrir se denomina circuito principal; el conjunto de pieza conductoras (no incluidas en el circuito principal) cuya función es comandar la maniobra, se denomina, circuito de comando; las restantes piezas conductoras forman el circuito auxiliar (señalización, enclavamiento, etc). Las características en base a las cuales se elige y especifica un interruptor son varias. Algunas son exclusivas de los interruptores, otras en cambio son comunes a otros tipos de aparatos.

#### **2.4.2. Seccionadores**

El seccionador es un aparato utilizado para abrir o cerrar un circuito con una corriente despreciable (como ser corriente capacitiva de barras, conexiones,

longitudes muy cortas de cables, corriente de transformadores de tensión y divisores capacitivos) ó bien con un cambio insignificante de tensión entre sus terminales.

En posición de abierto el seccionador asegura distancia de aislamiento entre terminales de cada polo, y si el seccionador es en aire, esta distancia debe ser visible. Una cuchilla de tierra es un seccionador cuya función es conectar a tierra parte de un circuito, en posición de abierta una cuchilla de tierra no asegura la misma distancia de aislación que el seccionador.

## **2.5. MODULO DE TRANFERENCIA DE CARGA**

Para algunas empresas, por su giro laboral, es indispensable el suministro permanente de energía eléctrica, ya que sin ésta, la empresa tendría grandes pérdidas debido al paro de su producción. Por tal razón se hace necesario disponer de un generador eléctrico de emergencia para que en ningún momento se paraliquen aquellos servicios que son esenciales dentro del proceso de producción de la empresa.

Para esto es necesario determinar cuales son las cargas de importancia dentro del proceso de producción, para que en el momento de que falle el suministro eléctrico principal, el generador eléctrico cumpla con la demanda de carga asignada por medio de la aplicación de un sistema de transferencia de carga, mediante la disposición de un arreglo con otros dispositivos electromecánicos y sistema de control.

Hoy en día se diseñan módulos de transferencia de carga para ser operados tanto automático o de forma manual, estas dos opciones son de suma importancia cuando se toma en cuenta mantener el suministro de energía eléctrica minimizando los tiempos de interrupción y cuando se piensa en mantenimiento. Estos módulos de

transferencias cuentan con dos (02) elementos fundamentales para su operación como lo son el control de transferencia y el control maestro.

La función del control de transferencia es la de conectar las líneas de energía eléctrica provenientes del generador de la planta de emergencia a la carga, una vez que falte el suministro eléctrico por parte de la compañía proveedora, y a su vez conectar y desconectar a la carga, las líneas de alimentación principal y las de emergencia respectivamente, cuando el suministro eléctrico principal sea restablecido. El control de transferencia consta primeramente de un sensor electrónico de voltaje, este nos permite hacer la transferencia de las líneas principales a las de emergencia, una vez que se ha llegado a un mínimo o a un máximo voltaje previamente ajustado. A continuación se muestra un diagrama de bloque común de un sistema eléctrico con dos fuentes de alimentación (figura 2.5).

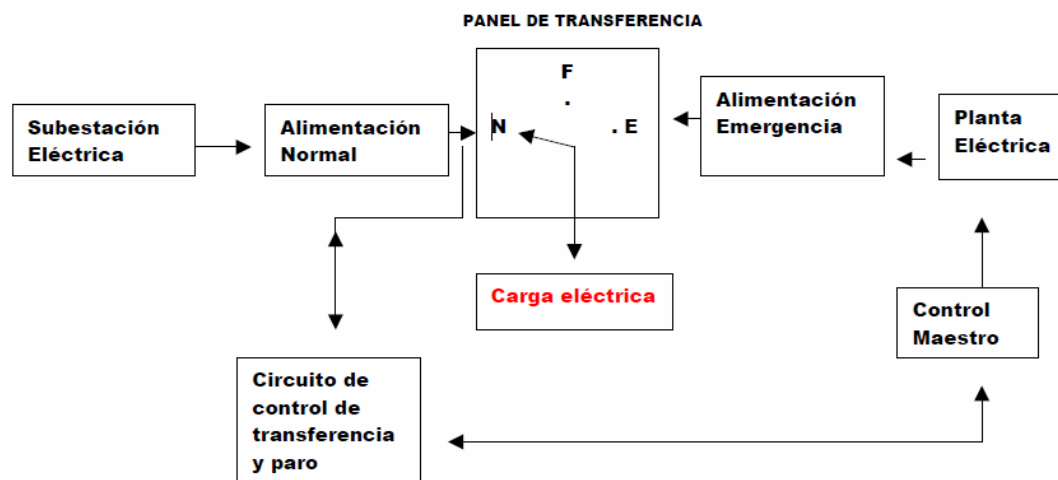


Figura 2.5. Diagrama de bloque de un sistema eléctrico con dos fuentes de alimentación.

La manera de accionar un modulo de transferencia de carga, va a depender de los criterios de diseño y de las necesidades de cada usuario, normalmente el mecanismos de activación puede estar en modalidad automática y modalidad manual.

### **2.5.1. Operación automática.**

- Los selectores del control maestro deben estar ubicados en la posición de automático. El control maestro es una tarjeta electrónica que se encarga de controlar y proteger el motor de la planta eléctrica.
- En caso de fallar la energía normal suministrada por la compañía de servicios eléctricos, la planta arrancará normalmente con un retardo de 3 a 5 segundos después del corte del fluido eléctrico. Luego la energía eléctrica generada por la planta es conducida a los diferentes circuitos del sistema de emergencia a través del panel de transferencia, a esta operación se le conoce como transferencia de energía.
- Después de 25 segundos de normalizado el servicio de energía eléctrica de la compañía suministradora, automáticamente se realiza la retransferencia (la carga es alimentada nuevamente por la energía eléctrica del servicio normal) quedando aproximadamente 5 minutos encendida la planta para el enfriamiento del motor. El apagado del equipo es automático.

### **2.5.2. Operación manual.**

- En esta modalidad, se verifica el buen funcionamiento de la planta sin interrumpir la alimentación normal de la energía eléctrica.
- El selector de control maestro debe colocarse en la posición de “Manual”.
- Como medida de seguridad para que la planta eléctrica trabaje sin carga (en vacío), se debe colocar el interruptor principal “Main” del generador en posición de apagado off.

- Se recomienda el arranque manual para realizar pruebas y mantenimiento.

## **2.6. Sistemas de distribución industriales**

Esta área se refiere a la alimentación, en zonas definidas denominadas parques industriales, a pequeña o medianas industrias localizadas por lo general en las afueras de las ciudades o centros urbanos. Las estructuras pueden ser similares a las comerciales; sin embargo, los requisitos de continuidad varían, siendo en algunos casos no muy estrictos. Por lo general la tensión de alimentación en estas zonas es mediana por lo que el desarrollo de las redes de baja tensión es mínimo. La planeación de estos sistemas se debe considerar con gran flexibilidad ya que la expansión en estas zonas industriales es grande, en especial en áreas nuevas en países en desarrollo. En la mayoría de los casos estas estructuras son desarrolladas y operadas por compañías de distribución estables.

Los sistemas de distribución se pueden desarrollar en estructuras diversas. La estructura de la red de distribución que se adopte tanto en mediana como baja tensión depende de los parámetros que intervengan en la planeación de la red. . [11]

## **2.7. Diagrama unifilar.**

El diagrama unifilar es la representación del sistema a ser estudiado. Resulta de la simplificación de un sistema trifásico equilibrado como un circuito monofásico, formado por una de las tres líneas y un neutro de retorno. Otra de las simplificaciones hechas es suprimir el cierre del circuito por el neutro e indicando sus partes componentes por medio de símbolos normalizados en vez de sus circuitos equivalentes. Los planos del apéndice A son diagramas unifilares que representan el sistema eléctrico del edificio.

La finalidad de un diagrama unifilar es suministrar de manera sencilla y concisa los datos más significativos e importantes de un sistema. La información que se representa en el diagrama depende del estudio que se está realizando. Por ejemplo, para estudios de cortocircuito es fundamental representar los equipos de maniobra y protección tales como interruptores, relés y fusibles.

## **2.8. Diagrama de impedancias.**

El diagrama unifilar debe transformarse en un diagrama de impedancias que muestre el circuito equivalente de cada componente del sistema referido al mismo lado de uno de los transformadores para estudiar el comportamiento en condiciones de carga o al presentarse un cortocircuito.

Los circuitos equivalentes para el estudio de cortocircuito de los distintos componentes del sistema son los siguientes:

-Generadores y Motores: La representación elemental de una máquina sincrónica es una fuente de tensión en serie con una impedancia. Los motores de inducción se representan igual que las máquinas sincrónicas pero se considera su contribución al cortocircuito solo en los primeros ciclos.

-Transformadores: Generalmente se representan por su circuito equivalente “T” ignorando su rama magnetizante.

-Líneas de transmisión y Cables: El circuito equivalente a utilizar depende de la longitud de la línea, usándose el modelo “ $\pi$ ” para líneas largas y medias. Las líneas y cables cortos se representan como una resistencia en serie con una inductancia.



- Cargas: Se pueden modelar como impedancias de valor constante que consumen potencia activa y reactiva. En estudios de cortocircuito se representan como circuitos abiertos.

-Sistemas externos: Se modela por el circuito equivalente de Thévenin donde la tensión equivalente depende de las tensiones internas de los generadores y la impedancia equivalente depende del resto de elementos del sistema.

El diagrama de impedancia que se describe en esta sección se denomina diagrama de secuencia positiva, ya que representan impedancias para las corrientes equilibradas de un circuito trifásico simétrico. Como se explicará más adelante, también existen diagramas de impedancias para otras secuencias (negativa y cero), siendo en esencia iguales a los de secuencia positiva pero usando otros circuitos equivalentes.

## **2.9. Flujo de carga.**

En el área de Ingeniería Eléctrica, uno de los campos más relevantes lo constituye el análisis de los Sistemas Eléctricos de Potencia (SEP). Los principales tópicos que se desarrollan son: modelación de la máquina sincrónica, regulación de tensión, cálculo de flujos de potencia, operación económica, estabilidad, entre otros.

El objetivo principal de un (SEP) es satisfacer la demanda. Como consecuencia surge el problema de por dónde debe hacerse la alimentación e incluso prever caídas de tensión, regulación de transformadores, inyección de potencia reactiva. [10]

El flujo de potencia consiste en hallar las tensiones nodales en régimen permanente, dada la configuración de un sistema eléctrico y la potencias netas complejas en cada barra del mismo.

Los estudios de flujo de potencia, más normalmente llamados estudios de flujo de carga, son sumamente importantes para evaluar el funcionamiento de los sistemas de distribución, su control y planificación para expansiones futuras. Un estudio de flujo de potencia define principalmente las potencias activa y reactiva y el vector de tensión en cada barra en el sistema.

Los principios en los estudios del flujo de potencia son fáciles, pero un estudio relativo a un sistema de potencia real sólo se puede llevar a cabo con un ordenador digital. Entonces la necesidad sistemática de cálculos numéricos requiere que se ejecuten por medio de un procedimiento iterativo; dos de los normalmente más usados son el método Gauss-Seidel y el método Newton-Raphson. [11]

En la literatura del ramo existen muchísimos métodos y con herramientas computacionales para resolver el problema de flujo de carga en sistemas eléctricos. En orden de clásica importancia se pueden mencionar los siguientes: El Método de Gauss-Seidel, El Método de Newton-Raphson, El Newton Raphson Desacoplado con Jacobianos Constantes.

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

El Método de newton-Raphson es un método fundamentado sobre sólidas bases matemáticas, que vino a popularizarse en la década de los años setenta, cuando la disponibilidad de los computadores y las técnicas de manejo matricial, adquieren auge.

El Método del newton-Raphson desacoplado trata de reducir el tiempo de procesamiento del tradicional newton-Raphson, pero perdiendo confiabilidad en su tasa de convergencia.

El Método de newton-Raphson desacoplado con jacobiano constantes es la mejor opción disponible a la fecha, aun cuando todavía presenta ciertos bemoles en su convergencia.

### 2.9.1. Modelo Matemático.

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

$$\begin{bmatrix} \overline{I}_1 \\ \overline{I}_2 \\ \vdots \\ \overline{I}_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \cdots & Y_{1n} \\ Y_{21} & Y_{22} & \cdots & Y_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ Y_{n1} & Y_{n2} & \cdots & Y_{nn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \overline{V}_1 \\ \overline{V}_2 \\ \vdots \\ \overline{V}_n \end{bmatrix} \quad (\text{Ec-2.2})$$

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 2.1 como una sumatoria:

$$I_i = \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \quad (\text{Ec-2.3})$$

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

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 **2.3**.

$$S_i = S_{Gi} - S_{Ci} = P_i + jQ_i = V_i I_i^* \quad (\text{Ec-2.4})$$

Al sustituir las ecuaciones 2.2 en la ecuación 2.3, se obtiene:

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \left( \sum_{j=1}^n Y_{ij} V_j \right)^* \quad (\text{Ec-2.5})$$

$$S_i = P_i + jQ_i = V_i \sum_{j=1}^n Y_{ij}^* V_j^* \quad (\text{Ec-2.6})$$

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

$$P_i + jQ_i = V_i \sum_{j=1}^n (G_{ij} - jB_{ij}) V_j^* \quad (\text{Ec-2.7})$$

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

La ecuación 2.6 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:

$$P_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \cos \theta_{ij} + B_{ij} \sin \theta_{ij}) \quad (\text{Ec-2.8})$$

$$Q_i = V_i \sum_{j=1}^n V_j (G_{ij} \sin \theta_{ij} + B_{ij} \cos \theta_{ij}) \quad (\text{Ec-2.9})$$

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

De las ecuaciones 2.7 y 2.8 se puede apreciar que cada nodo aporta dos ecuaciones y cuatro incógnitas, por lo que se hace necesario especificar en cada nodo dos magnitudes para que las ecuaciones anteriores puedan tener una solución.

### 2.9.2. Objetivos del Estudio de Flujo de Carga

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

- Confirmar que las tensiones en las barras estén dentro de un rango permitido o recomendado de tensión, de acuerdo con requerimientos particulares del Proyecto (Criterios de Diseño) o estándares y normas nacionales e internacionales.
- Capacidad de las Barras Principales (Amperios).
- Verificación de la máxima caída de tensión en los alimentadores.
- Tensión, corriente, potencia activa y reactiva, y factor de potencia en el sistema eléctrico.
- Determinar, si es necesario, requerimientos de compensación reactiva, para mejorar las tensiones o el factor de potencia.

- Recomendar el TAP de los transformadores de potencia para mantener estas tensiones dentro del rango.
- Determinar la carga de los transformadores de potencia y su margen de reserva, para expansiones futuras del sistema.
- Cálculo de las pérdidas técnicas.
- Verificar el factor de potencia de la interconexión de una Planta o sistema con el Sistema Eléctrico Nacional, u otro sistema [10].

### **2.9.3. Tipos de Barras**

Se ha hablado de que la inyección fundamental en la barra es su inyección de corriente. Cuando se habla de inyección nodal debe entenderse inyección nodal neta. La palabra neta significa generación local menos carga local. **(Ver figura 2.6)**

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

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

#### **2.9.3.1. Barra PQ**

También llamadas barras de carga, son aquellas donde se especifican las Z inyecciones netas de potencia activa y reactiva P neta Q neta. Estas barras son los más abundantes en un sistema de potencia pudiendo comprender más de un 90% del

conjunto de Barras. Por cierto, considerando que cargas reales y generaciones existen en muy pocas barras, es muy común que la inyección neta comprenda  $P$  y  $Q$  nulos.

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

### **2.9.3.2. Barra PV**

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

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

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

### **2.9.3.3. Barra de Referencia**

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

➤ Porque existen problemas de inestabilidad numérica en los cálculos digitales, causando problemas de redondeo que puedan conducir a la divergencia matemática.

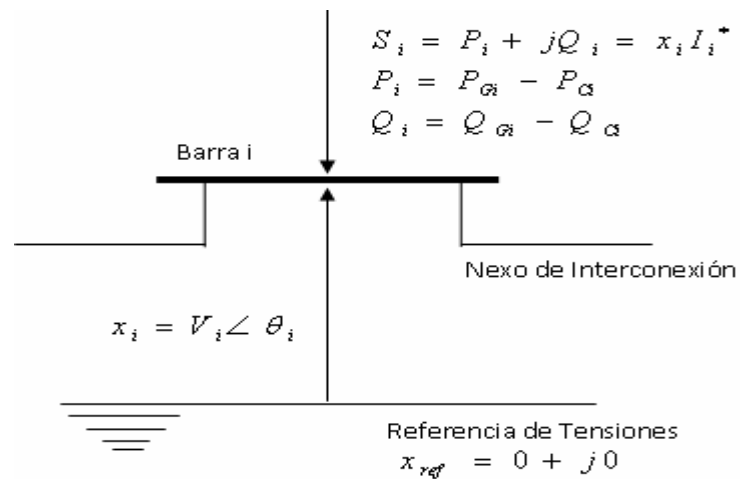
➤ Porque en los sistemas de potencia es imposible conocer antes del resultado del flujo de carga, las pérdidas de potencias complejas en el Sistema de transmisión, por lo cual se seleccionara una barra de generación para suministrar el total de dichas pérdidas, permaneciendo exclusivamente como datos del modulo  $V$  y el ángulo  $\theta$  de dicho modulo.

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

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

No debe confundirse la barra de referencia con la barra absoluta de tensiones. Para situaciones de régimen permanente, donde todos los equipos se suponen balanceados y las cargas perfectamente simétricas, los puntos neutros del sistema, tendrán la misma tensión de tierra, la cual se asume en cero absoluto. La tensión de referencia se mide con respecto a ese valor absoluto. Tomar para el ángulo de referencia cero radianes es una comodidad internacionalmente aceptada. Igualmente se podría tomar cinco grados o menos cinco grados, pero ello sol conduce a una relativa mayor dificultad para interpretar los resultados, en lo que a flujo de potencia y desviaciones angulares se refiere.





**Figura 2.6** Tipos de barras.

#### 2.9.4. Métodos para la obtención del flujo de carga.

La complejidad de obtener una solución formal para el flujo de potencia en un sistema eléctrico se debe a las diferencias en el tipo de datos especificados para las diferentes clases de barra. Aunque la formulación de ecuaciones suficientes que igualen el número de variables de estado desconocidas no es difícil, la forma cerrada de la solución no es práctica. Las soluciones digitales de los problemas de flujo de potencia 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. Así se obtiene un nuevo conjunto de valores, para el voltaje en cada barra, que se usa para calcular otro conjunto de voltajes de barra.

A cada cálculo de un nuevo conjunto de voltajes se le llama iteración. El proceso se repite hasta que los cambios en cada barra sean menores que un valor mínimo especificado.

Existen varios métodos iterativos, entre los que se encuentran:

- Gauss-seidel.
- Newton-Raphson.

#### 2.9.4.1. Método de Gauss-Seidel.

Sea la matriz

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix} \quad (\text{Ec -2.10})$$

Entonces A tiene diagonal estrictamente dominante si en cada renglón el valor absoluto del elemento diagonal es mayor que la suma de los valores absolutos de los elementos fuera de la diagonal.

$$|a_{ii}| > |a_{i1}| + |a_{i2}| + \dots + |a_{i,i-1}| + |a_{i,i+1}| + \dots + |a_{in}| = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n |a_{ij}| \quad (\text{Ec-2.11})$$

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

Teorema

Considerar un sistema de n ecuaciones con n incógnitas, es decir se tiene una matriz de coeficientes A cuadrada. Si el valor absoluto del elemento de la diagonal de cada renglón de A es más grande que la suma de los valores absolutos de los otros elementos de tal renglón entonces el sistema tiene una solución única. Los métodos iterativos de Jacobi y de Gauss-Seidel convergerán a la solución sin importar los valores iniciales.

#### 2.9.4.2. Limitaciones del método de Gauss-Seidel.

La eliminación Gaussiana es un método finito y puede ser usado para resolver cualquier sistema de ecuaciones. El método de Gauss-Seidel converge solo para sistemas de ecuaciones especiales.

#### 2.9.4.3. Eficiencia del método de Gauss-Seidel.

La eficiencia de un método es una función del número de operaciones aritméticas (suma, resta, multiplicación y división) involucradas en cada método. Para un sistema de  $n$  ecuaciones con  $n$  incógnitas, donde la solución es única. La eliminación Gaussiana involucra  $(4n^3 + 9n^2 - 7n)/6$  operaciones aritméticas. El método de Gauss-Seidel requiere  $2n^2 - n$  operaciones aritméticas por iteración. Para valores grandes de  $n$  la eliminación Gaussiana requiere aproximadamente  $2n^3/3$  operaciones aritméticas para resolver el problema, mientras que Gauss-Seidel requiere aproximadamente  $2n^2$  operaciones aritméticas por iteración. Por lo tanto si el número de iteraciones es menor o igual que  $n/3$ , el método iterativo requiere pocas operaciones aritméticas.

#### 2.9.5. Método de Newton-Raphson.

Este método consiste de proporcionar un  $X_i$  inicial de aproximación a la raíz analítica  $r$  en seguida se evalúa la función en  $X_i$  obteniendo se  $f(X_i)$  se traza una recta tangente que intercepta en  $X_{i+1}$  al eje de las  $X$ . A este punto se le llama raíz nueva de aproximación a la  $r$ .

Algoritmo:

- 1) Dada una función  $f(X)=0$  Obtener la Primera y Segunda derivada.
- 2) Elegir un valor inicial  $X_0$ . Este valor inicial debe cumplir con el criterio de

convergencia:

3) Obtener una nueva aproximación evaluando la formula general del método ( $X_{n+1} = X_n - f(X_n) / f'(X_n)$ ).

4) Evaluar la aproximación relativa ( $| (X_{n+1} - X_n) / X_{n+1} | < \text{Tolerancia}$ ).

Tenemos la fórmula de Newton-Raphson. Además, existe un estudio de la convergencia del método, en donde  $G(x)$  se acota, teniendo la fórmula de convergencia como:

$$f(\varphi) = f(x_0) + f'(x_0)(\varphi - x_0) = 0 \quad (\text{Ec-2.12})$$

Cabe señalar que el método de Newton-Raphson es convergente en forma cuadrática, es decir, que el número de cifras decimales correctos se duplica aproximadamente en cada iteración, o el error es aproximadamente proporcional al cuadrado del error anterior.

La ventaja de este método es que, al ser un método iterativo, éste entrega una sucesión, resoluciones aproximadas, convergiendo más rápidamente al valor buscado y se usan menos operaciones aritméticas. [10]

## **2.10 ESTUDIO DE ARRANQUE DE MOTORES.**

El análisis de arranque de motores se realiza con la finalidad de evaluar la máxima caída de tensión que se produce en el sistema eléctrico durante el arranque de un determinado motor.

Sistemas de arranque de motores; para que tenga una vida útil prolongada se debe adoptar un eficiente sistema de arranque, logrando también costos operacionales

reducidos, además de dar al equipo de mantenimiento de la industria tranquilidad en el desempeño de las tareas diarias [8].

### 2.10.1 Arranque de motores.

Se denomina arranque de un motor al régimen transitorio en el que se eleva la velocidad del mismo desde el estado de motor detenido hasta el de motor girando a la velocidad de régimen permanente. El conjunto que se pone en marcha es inercial y disipativo, incluyendo en este último concepto a las cargas útiles, pues consumen energía.

El estudio del arranque de los motores tiene una gran importancia práctica, ya que la elección correcta de las características de los motores eléctricos y arrancadores a instalar están basados en el conocimiento de las particularidades de éste régimen transitorio.

Recordemos que el comportamiento dinámico del conjunto motor-maquina accionada está regido por la siguiente ecuación diferencial:

$$\mathbf{T_m - T_r = J. dw / dt} \quad (\text{Ec-2.13})$$

Donde  $T_m$  es el par motor,  $T_r$  el par resistente,  $J$  es el momento de inercia del conjunto motor-maquina accionada y  $w$  es la velocidad angular de dicho conjunto.

Por lo tanto, para que el conjunto comience a girar se necesita que el par motor supere al par resistente, de manera de generar una aceleración angular de arranque. El proceso de arranque finaliza cuando se equilibra el par motor con el par resistente, estabilizándose la velocidad de giro del motor.

Como la cupla motora es el producto de la corriente absorbida por el flujo del campo magnético, además de un factor que caracteriza al tipo de máquina, este mayor par de arranque generalmente está asociado a una mayor corriente de arranque, la que no debe superar determinado límite por el calentamiento de los conductores involucrados. Aunque se suele enfocar el diseño de estos sistemas de arranque en atención a las corrientes y cuplas involucradas, no deben dejarse de lado otros aspectos que también resultan importantes, como por ejemplo el consumo de energía disipada en forma de calor y las perturbaciones sobre la red de baja tensión.

Estas perturbaciones incluyen principalmente las caídas de tensión (muy notables en los elementos de iluminación), que pueden afectar el funcionamiento de otros elementos conectados a la misma, lo que resulta crítico en las instalaciones con muchos motores que realizan frecuentes arranques. Por otro lado, los dispositivos de arranque pueden ser de operación manual o por contactores. Estos últimos permiten efectuar el mando a distancia del motor con cables de secciones pequeñas (sólo se requiere la corriente necesaria para la bobina del contactor), lo que facilita el accionamiento y diseño del dispositivo de control por trabajar con intensidades reducidas [7].

## **2.10.2. Tipos de arrancadores de motores.**

### **2.10.2.1. Arrancadores de motores asincrónicos.**

#### **2.10.2.1.1. Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla.**

Los motores de corriente alterna con rotor en jaula de ardilla se pueden poner en marcha mediante los métodos de arranque directo o a tensión reducida (excluimos de esta exposición a los motores monofásicos).

En ambos casos, la corriente de arranque generalmente resulta mayor que la nominal, produciendo las perturbaciones comentadas en la red de distribución. Estos inconvenientes no son tan importantes en motores pequeños, que habitualmente pueden arrancar a tensión nominal.

Por ejemplo, el código municipal fija los límites de corriente en el arranque indicados en la tabla 2.3.

**Tabla 2.3.** Límites de corrientes en el arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla

Potencia (HP)	Iarranque/IN
Hasta 3	4,0
3 a 6	3,5
6 a 9	3,1
9 a 12	2,8
12 a 15	2,5
15 a 18	2,3
18 a 21	2,1
21 a 24	1,9
24 a 27	1,7
27 a 30	1,5
Mas 30	1,4

La máxima caída de tensión en la red no debe superar el 15% durante el arranque. Los circuitos con motores deben contar con interruptores que corten todas las fases o polos simultáneamente y con protecciones que corten automáticamente cuando la corriente adquiera valores peligrosos.

En los motores trifásicos debe colocarse una protección automática adicional que corte el circuito cuando falte una fase o la tensión baje de un valor determinado.

#### **2.10.2.1.2. Arranque directo de motores asincrónicos con rotor jaula de ardilla.**

Se dice que un motor arranca en forma directa cuando a sus bornes se aplica directamente la tensión nominal a la que debe trabajar.

Si el motor arranca a plena carga, el bobinado tiende a absorber una cantidad de corriente muy superior a la nominal, lo que hace que las líneas de alimentación incrementen considerablemente su carga y como consecuencia directa se produzca una caída de tensión. La intensidad de corriente durante la fase de arranque puede tomar valores entre 6 a 8 veces mayores que la corriente nominal del motor. Su principal ventaja es el elevado par de arranque: 1,5 veces el nominal.

Siempre que sea posible conviene arrancar los motores a plena tensión por la gran cupla de arranque que se obtiene, pero si se tuvieran muchos motores de media y gran potencia que paran y arrancan en forma intermitente, se tendrá un gran problema de perturbaciones en la red eléctrica.

Por lo tanto, de existir algún inconveniente, se debe recurrir a algunos métodos de arranque por tensión reducida que se describen a continuación.

#### **2.10.2.1.3. Arranque a tensión reducida de motores asincrónicos con rotor jaula de ardilla.**

Este método se utiliza para motores que no necesiten una gran cupla de arranque. El método consiste en producir en el momento del arranque una tensión menor que la nominal en los arrollamientos del motor. Al reducirse la tensión se reduce proporcionalmente la corriente, la intensidad del campo magnético y la cupla motriz.



Entre los métodos de arranque por tensión reducida más utilizados podemos mencionar el de arrancador estrella-triángulo, el de autotransformador de arranque y el de arrancador electrónico.

#### **2.10.2.1.4. Arranque de motores asincrónicos con rotor en jaula de ardilla por conmutación estrella-triángulo.**

El arranque estrella-triángulo es el procedimiento más empleado para el arranque a tensión reducida debido a que su construcción es simple, su precio es reducido y tiene una buena confiabilidad.

El procedimiento para reducir la tensión en el arranque consiste en conmutar las conexiones de los arrollamientos en los motores trifásicos previstos para trabajar conectados en triángulo en la red de 3 x 380 Voltios.

Los bobinados inicialmente se conectan en estrella, o sea que reciben la tensión de fase de 220 V, y luego se conectan en triángulo a la tensión de línea de 380 V; es decir que la tensión durante el arranque se reduce 1,73 veces.

Por ser ésta una relación fija, y dado que la influencia de la tensión sobre la corriente y la cupla es cuadrática, tanto la corriente como el par de arranque del motor se reducen en tres veces.

Además, es necesario que el motor esté construido para funcionar en triángulo con la tensión de la línea (380 / 660 V). Si no es así, no se lo puede conectar.

Además el estator debe tener sus seis bornes accesibles (situación que no se da en todos los motores, como por ejemplo en las bombas sumergibles). Para ello se

abren los circuitos de las bobinas del estator y se las conecta al conmutador. En este caso al motor ingresan 6 cables, más el de puesta a tierra.

La conmutación de estrella a triángulo generalmente se hace en forma automática luego de transcurrido un lapso (que puede regularse) en el que el motor alcanza determinada velocidad.

En el caso más simple tres contactores realizan la tarea de maniobrar el motor, disponiendo de enclavamientos adecuados. La protección del motor se hace por medio de un relé térmico. El térmico debe estar colocado en las fases del motor. La regulación del mismo debe hacerse a un valor que resulta de multiplicar la corriente de línea por 0,58. La protección del circuito más adecuada también es el fusible.

Algunas indicaciones que se deben tener en cuenta sobre el punto de conmutación son: el pico de corriente que toma el motor al conectar a plena tensión (etapa de triángulo) debe ser el menor posible; por ello, la conmutación debe efectuarse cuando el motor esté cercano a su velocidad nominal (95% de la misma), es decir cuando la corriente de arranque baje prácticamente a su valor normal en la etapa de estrella.

Asimismo, el relé de tiempo debe ajustarse para conmutar en este momento, no antes ni mucho después. Habitualmente, un arranque normal puede durar hasta 10 segundos, si supera los 12 segundos se debe consultar al proveedor del equipo. Si no se cumple con lo anterior, el pico de corriente que se produce al pasar a la etapa de triángulo es muy alto, perjudicando a los contactores, al motor y a la máquina accionada. El efecto es similar al de un arranque directo.

Finalmente digamos que el dispositivo estrella-triángulo tiene el inconveniente de que la cupla de arranque que se obtiene a veces no es suficiente para hacer arrancar máquinas con mucho momento de inercia, en cuyo caso se utilizan los dos métodos que se describen a continuación. Ambos permiten conectar motores trifásicos con motor de jaula, los cuales traccionan, por ejemplo, bombas sumergibles.

#### **2.10.2.1.5. Arranque de motores asíncronos con rotor en jaula de ardilla por autotransformador de arranque.**

El autotransformador de arranque es un dispositivo similar al estrella-triángulo, salvo por el hecho de que la tensión reducida en el arranque se logra mediante bobinas auxiliares que permiten aumentar la tensión en forma escalonada, permitiendo un arranque suave.

Su único inconveniente es que las conmutaciones de las etapas se realizan bruscamente, produciendo en algunas ocasiones daños perjudiciales al sistema mecánico o a la máquina accionada. Por ejemplo, desgaste prematuro en los acoplamientos (correas, cadenas, engranajes o embragues de acoplamiento) o en casos extremos roturas por fatiga del eje o rodamientos del motor, producidos por los grandes esfuerzos realizados en el momento del arranque. Una variante menos usada es la conexión Kusa, en la que durante el proceso de arranque se intercala una resistencia en uno de los conductores de línea.

#### **2.10.2.1.6. Arranque de motores asíncronos con rotor en jaula de ardilla por dispositivos electrónicos.**

Los arrancadores electrónicos son una mejor solución que los autotransformadores gracias a la posibilidad de su arranque suave, permitiendo un aumento en la vida útil de todas las partes involucradas.

Los mismos consisten básicamente en un convertidor estático alterna-continua-alterna ó alterna-alterna, generalmente de tiristores, que permiten el arranque de motores de corriente alterna con aplicación progresiva de tensión, con la consiguiente limitación de corriente y par de arranque. En algunos modelos también se varía la frecuencia aplicada.

Al iniciar el arranque, los tiristores dejan pasar la corriente que alimenta el motor según la programación realizada en el circuito de maniobra, que irá aumentando hasta alcanzar los valores nominales de la tensión de servicio. La posibilidad de arranque progresivo, también se puede utilizar para detener el motor, de manera que vaya reduciendo la tensión hasta el momento de la detención

Estos arrancadores ofrecen selección de parada suave, evitando por ejemplo, los dañinos golpes de ariete en las cañerías durante la parada de las bombas; y detención por inyección de corriente continua para la parada más rápida de las masas en movimiento.

Además poseen protecciones por asimetría, contra sobretensión y sobrecarga, contra falla de tiristores, vigilancia del tiempo de arranque con limitación de la corriente, control de servicio con inversión de marcha, optimización del factor de potencia a carga parcial, maximizando el ahorro de energía durante el proceso y permiten un ahorro en el mantenimiento por ausencia de partes en movimiento que sufran desgastes.

#### **2.10.2.1.7. Arranque de motores asincrónicos con rotor bobinado.**

En un motor asincrónico, la velocidad a la que se produce la máxima cupla es función de la resistencia del circuito rotórica. En particular, la máxima cupla de

arranque se tiene cuando dicha resistencia es aproximadamente igual a la reactancia del motor.

En los motores de corriente alterna con rotor bobinado, para efectuar el proceso de puesta en marcha se instala un reóstato de arranque conectado a los anillos rozantes del motor de manera de aumentar a voluntad la resistencia rotórica total.

En este método, el motor arranca con toda la resistencia en serie con el circuito del rotor. Luego por medios manuales o automáticos, en forma continua o escalonada, se va reduciendo la resistencia a medida que la máquina gana velocidad, hasta que en régimen permanente el reóstato queda en cortocircuito.

Cabe acotar que se construyen rotores tipo jaula del tipo de ranura profunda que produce una cupla de arranque algo similar a la de un rotor bobinado con reóstato de arranque. En el momento del arranque la circulación de corrientes secundarias localizadas en las cercanías del entrehierro tienen una mayor densidad de corriente, bloqueando el flujo magnético hacia el interior del núcleo, por lo que el conjunto se comporta como si tuviera mayor resistencia efectiva. Al aumentar la velocidad, disminuye la frecuencia secundaria y cesa ese efecto transitorio.

#### **2.10.2.1.8. Caída de tensión en el arranque de motores asíncronos.**

El arranque de un motor puede producir perturbaciones a veces inamisibles por la caída de tensión y el consumo de corriente. En algunos casos es necesario el accionamiento simultáneo de 2 o más motores de gran potencia en lo que agrava más las condiciones del sistema de alimentación por lo que es necesario realizar un estudio de ambos casos, lo cual se lo realizara a continuación.

Los motores eléctricos como algunas cargas específicas, por ejemplo los hornos de arco provocan oscilaciones perjudiciales a la operación de ciertos equipos principalmente los electrónicos.

Existen dos puntos importantes con relación a los cuales se debe calcular la caída de tensión durante la partida de los motores. El primero es de interés de la concesionaria que normalmente limita la caída de tensión en el punto de entrega de su sistema de distribuidor, este valor por lo general de 2% de la tensión nominal primaria. El segundo punto es de interés del proyectista que debe limitar la caída de tensión en los terminales de conexión de los motores o en otros puntos considerados sensibles del sistema. Además se debe calcular el torque de arranque del motor y compararlo con el valor del torque resistente, con el fin de asegurar o no la capacidad de un motor para accionar la carga acoplada a su eje.

## **2.11. ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO.**

### **2.11.1. Corriente cortocircuito.**

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

La magnitud de la corriente que fluirá a través de un cortocircuito depende principalmente de dos factores:

Las características y el número de fuentes que alimentan al cortocircuito.

La oposición o resistencia que presente el propio circuito de distribución, a la circulación de la corriente detalla.

Las fuentes principales de corrientes de cortocircuito son los generadores existentes en el sistema de potencia local y la generación remota de la red que le suministra energía eléctrica (red pública), sin embargo, los motores sincrónicos y de inducción que antes de la falla representaban una carga para el sistema, en condiciones de cortocircuito, se comportan como generadores durante un tiempo relativamente corto.

La oposición que presenta el propio circuito de distribución al flujo de la corriente de cortocircuito se denomina "impedancia" en términos eléctricos y depende de la configuración del sistema eléctrico, y se calcula a partir de la impedancia de cada uno de los componentes del sistema.

Otros factores que influyen sobre la magnitud de la corriente de cortocircuito son el momento, de tipo y ubicación la falla [12].

Los efectos de las corrientes de cortocircuitos son muy variados, pero los más importantes son el debido al efecto Joule (calentamiento de los equipos eléctricos debido a la gran circulación de corriente), esfuerzos electromecánicos en las máquinas eléctricas y destrucción física del lugar de la falla cuando se producen grandes arcos eléctricos. De los efectos de las fallas por cortocircuito, el más notorio es la interrupción del suministro eléctrico debido a la necesaria apertura del circuito eléctrico por parte de los dispositivos de protección para despejar la falla y evitar mayores daños en el sistema.

Aun cuando se diseñe muy cuidadosamente un sistema de potencia, este estará siempre expuesto al daño que puedan causar flujos de corriente en condiciones de cortocircuito tales como sobrecalentamientos y arcos eléctricos destructivos. Para asegurar que los equipos de protección puedan aislar fallas rápidamente y minimizar el daño de cada uno de los componentes del sistema de potencia y el riesgo del

personal, el estudio de corrientes de cortocircuito debe ser incluido en el diseño de los sistemas de potencia y también cuando se hagan modificaciones a los sistemas existentes.

### **2.11.2. Características de la corriente de cortocircuito**

El proceso que ocurre en el sistema de potencia al producirse una falla causada por un cortocircuito es esencialmente de carácter transitorio. La corriente en régimen normal es una onda sinusoidal a 60 hertz de frecuencia y amplitud constante, no así cuando sucede un cortocircuito. La forma de onda en este caso sigue teniendo una forma sinusoidal a 60 hertz pero va decreciendo exponencialmente desde un valor inicial máximo hasta su valor en régimen estacionario.

Para estudiar el sistema en este estado transitorio se divide el periodo de ocurrencia de la falla en una serie sucesiva de intervalos "casi estacionarios" los cuales son el periodo subtransitorio, transitorio y estacionario o permanente, y se aplica el concepto de impedancia para determinar la corriente correspondiente a cada uno de estos estados o intervalos.

### **2.11.3. Falla**

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

### **2.11.4. Falla en un Sistema de Potencia**

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



Los efectos de las fallas sobre el sistema son variados:

- Originan, debido a las corrientes elevadas que se producen, efectos dinámicos y térmicos sobre los equipos; estos se pueden ver afectados severamente si la falla no se despeja rápidamente.
- Las fallas generalmente producen variaciones transitorias de tensión, que causan problemas a muchos procesos industriales debido a la magnitud y duración de esta.
- Las fallas producen oscilaciones en los rotores de las maquinas sincrónicas, que pueden poner en peligro la estabilidad del sistema. [1]

#### **2.11.5. Tipos de Fallas en un Sistema de Potencia**

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

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

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

- **Falla de Línea a Tierra:** Este tipo de falla como se menciona antes es la común, porque puede tener como origen diferentes causas, entre las cuales tenemos: falla de aislamiento, contacto del conductor de fase con la estructura, descargas atmosféricas, contactos de ramas de árboles con conductores. (ver figura 2.7)

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

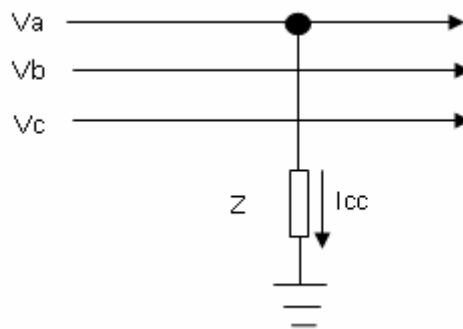
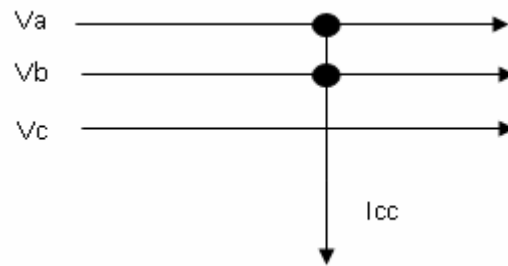


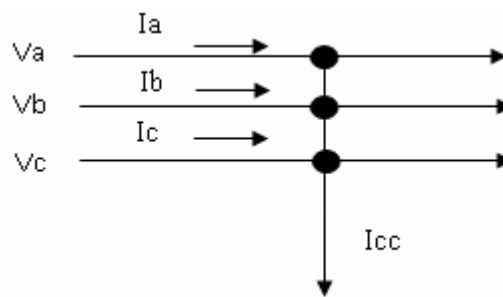
Figura 2.7. Falla de Fase a Tierra.

- **Falla de Línea a Línea:** Se origina por el contacto de dos fases, su magnitud es aproximada igual al 87% de la falla trifásica. (ver figura 2.2)



**Figura 2.8.** Falla de Fase a Fase.

- **Falla Trifásica:** Este tipo de falla como ya se ha mencionado, es la menos frecuente y sus causas son accidentales, esta corriente es la que somete a los equipos de una instalación a sus mayores esfuerzos debido a los efectos térmicos y electrodinámicos productos de las grandes potencias de cortocircuito generadas por la falla. [1] (Ver figura 2.3)



**Figura 2.9.** Falla de Trifásica.

### **2.11.6. Prevención de Fallas**

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

- Utilizando el aislamiento necesario de acuerdo a la tensión de servicio, a las condiciones de operación y ala localización de los elementos del sistema de potencia.
- Coordinando adecuadamente el aislamiento en las diferentes partes del sistema.
- Utilizando cables de guarda, para interceptar descargas atmosféricas.
- Uso adecuado de pararrayos.
- Evitar sobretensiones en el sistema.
- Mantenimiento adecuado en el sistema para detectar fallas incipientes y evitar que se conviertan en fallas severas.
- Resistencia mecánica del diseño, para disminuir las probabilidades de falla originadas por animales, polvo, etc.

### **2.11.7. Disminución de los Efectos de una Falla**

- Consiste en diseñar el sistema de tal manera de disminuir las magnitudes de las corrientes de fallas, para ello se debe evitar la concentración excesiva de

generación en un solo punto y los equipos deben tener suficiente impedancia para limitar las corrientes de fallas.

- Diseñar los equipos para que puedan soportar la máxima corriente de falla durante un breve tiempo sin sufrir deterioros, bien sea por efecto dinámico y térmico.
- Desconexión rápida de la falla, para evitar mayores daños a los equipos; para esto se utilizan dispositivos de protecciones que detecten la falla y otros aíslan la falla como los interruptores de potencia o disyuntores.

## **2.12. PROGRAMA PARA EL ANÁLISIS DE LOS TRANSIENTES ELÉCTRICOS (ETAP)**

### **2.12.1. Descripción del producto**

ETAP es un programa de análisis de sistemas eléctricos de potencia totalmente gráfico que corre en los sistemas operativos Microsoft® Windows® 2000, XP y 2003. Además de los módulos de simulación estándar para análisis off-line, ETAP puede utilizar datos de operación en tiempo real para la supervisión avanzada y simulación en tiempo real, optimización y desprendimiento inteligente de carga en tiempo real [2].

ETAP ha sido diseñado y desarrollado por ingenieros para ingenieros, con el fin de manejar las diversas disciplinas de los sistemas de potencia en un paquete integrado con múltiples interfaces, con vistas como redes AC y DC, canal para cables, malla de tierra, tableros, coordinación y selectividad de dispositivos de protección, y Control de diagramas de sistemas AC y DC.

ETAP le permite trabajar directamente con diagramas unilineales, sistemas de canalización subterráneos de cables, sistema tridimensional de cables, coordinación tiempo-corriente de protecciones y gráficos de selectividad, esquemas de sistemas de información geográficos (GIS), así como sistemas de mallas de puesta a tierra tridimensionales. El programa ha sido diseñado de acuerdo a tres conceptos claves

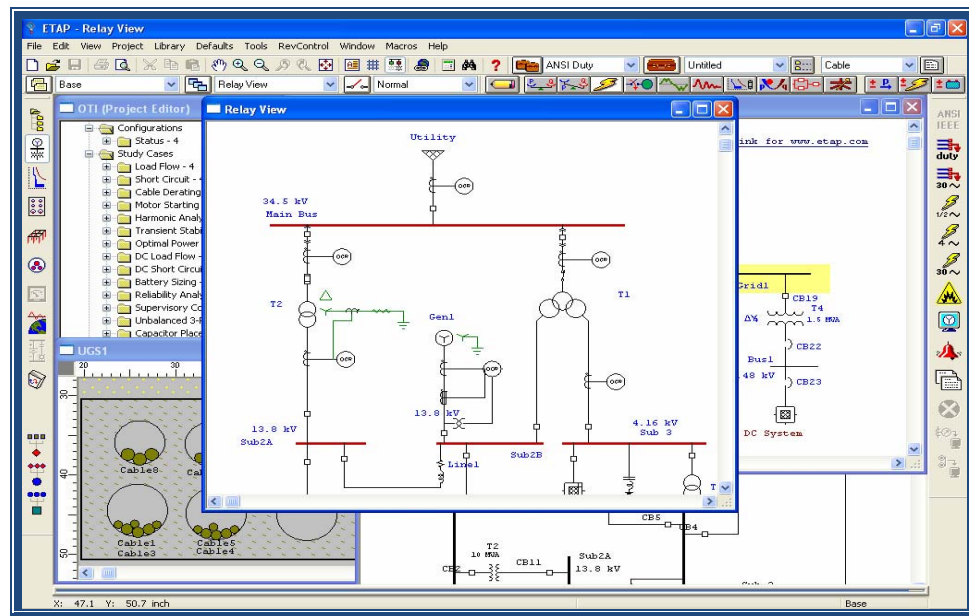


Figura 2.12. Vista general de un despliegue de pantalla del programa.

### 2.12.2. Operación en realidad virtual

La operación del programa se asemeja a la operación de un sistema eléctrico real tanto como es posible. Por ejemplo, cuando se abre o cierra un interruptor de circuito, pone un elemento fuera de servicio o cambia el estado de operación de motores, los elementos y subsistemas desenergizados son indicados en el diagrama unilineal en gris. ETAP incorpora nuevos conceptos para determinar la coordinación de dispositivos de protección directamente desde el diagrama unilineal.

### **2.12.3. Integración total de datos**

ETAP combina los atributos eléctricos, lógicos, mecánicos y físicos de los elementos del sistema en la misma base de datos. Por ejemplo, un cable no sólo contiene datos representando sus propiedades eléctricas y dimensiones físicas, sino también información indicando las canalizaciones a través de las cuales está tendida. Así, los datos para un cable individual pueden ser usados para análisis de flujo de carga o cortocircuito (los cuales requieren parámetros eléctricos y conexiones) como para cálculos de disminución de la capacidad de transporte (ampacity derating), los cuales requieren datos de tendido físico. Esta integración de los datos otorga consistencia a través del sistema y elimina múltiples entradas de datos para el mismo elemento.

### **2.12.4. Simplicidad en la entrada de datos**

ETAP mantiene un track de los datos detallados para cada aparato eléctrico. Los editores de datos pueden acelerar el proceso de entrada requiriendo el mínimo de datos para un estudio en particular. Para lograr esto, han estructurado los editores de propiedades en la forma más lógica de ingresar datos para diferentes tipos de análisis o diseño.

El diagrama unilineal de ETAP permite una cantidad de características para ayudar a construir redes de diversa complejidad. Por ejemplo, cada elemento puede tener individualmente variadas orientaciones, tamaños y símbolos (IEC o ANSI). El diagrama unilineal también permite añadir múltiples dispositivos de protección en una rama entre un equipo y una barra.

ETAP proporciona una variedad de opciones para presentar o ver un sistema eléctrico. Estas vistas son llamadas presentaciones. La ubicación, tamaño, orientación y símbolo de cada elemento puede ser diferente en cada presentación. Adicionalmente, los dispositivos de protección y relés pueden ser desplegados (visibles) u ocultos (invisibles) para alguna presentación en particular. Por ejemplo, una presentación puede ser una vista de relés donde todos los dispositivos de protección son desplegados. Otra presentación puede mostrar un diagrama unilineal con algunos interruptores de circuito expuestos y el resto oculto (un layout más adecuado para resultados de flujo de carga).

Entre las características más poderosas de ETAP están las redes compuestas y los elementos de motores. Los elementos compuestos permiten anidar gráficamente elementos de una red dentro de sí misma, con una profundidad arbitraria. Por ejemplo, una red compuesta puede contener otras redes compuestas, dando la capacidad de construir redes eléctricas complejas manteniendo aún un diagrama limpio y ordenado, desplegando lo que se desea enfatizar, pero manteniendo el siguiente nivel de detalle del sistema al alcance de un clic. Power is at your fingertips.

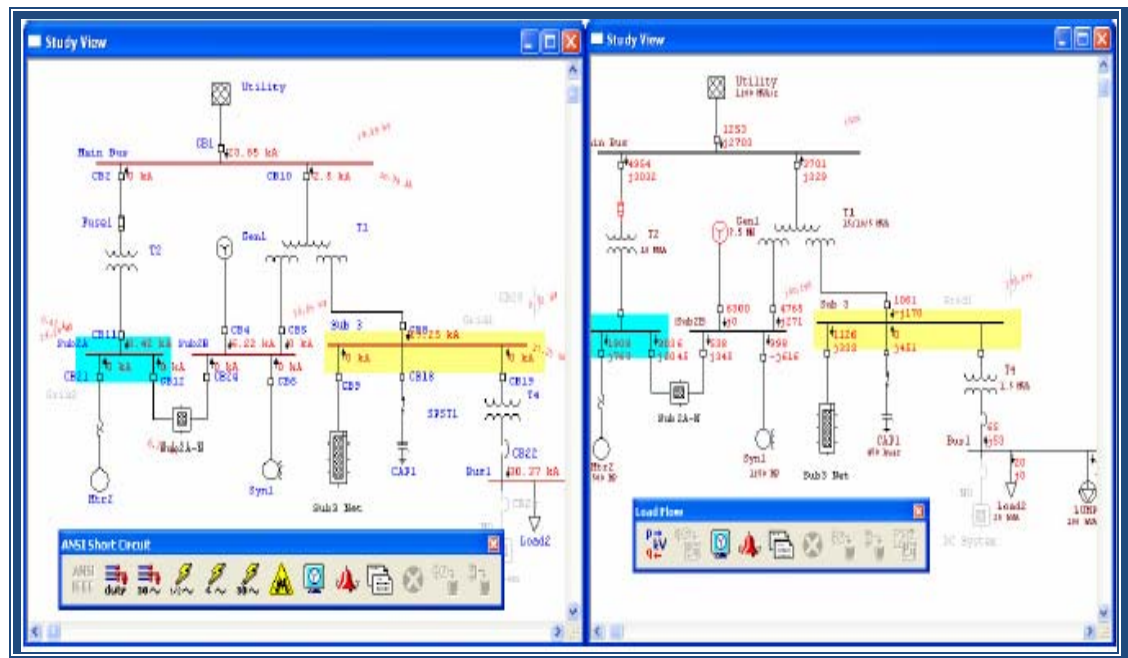
Se puede considerar que ETAP es la base de datos mejor y más integrada para sistemas eléctricos, permitiendo tener múltiples presentaciones de un sistema para diferentes propósitos de diseño o análisis.

#### **2.12.5. Modelado**

- Operación en realidad virtual.
- Integración total de los datos (atributos eléctricos, lógicos, mecánicos y físicos).
- Sistemas radiales y enmallados.
- Subsistemas aislados ilimitados.



- Sin limitaciones en conexión de sistemas.
- Múltiples condiciones de carga.
- Anidado de subsistemas multi-nivel.
- Avanzadas técnicas de matriz dispersa (sparse matrix).
- Control de acceso de usuario y validación de datos.
- Cálculos asincrónicos, permiten que múltiples módulos calculen simultáneamente.
- Base de datos transitoria, reduce el riesgo de pérdida de base de datos durante una pérdida de potencia o energía eléctrica.
- Software programado en 32-bit, diseñado para Windows 2000/XP/2003.
- Modelamiento monofásico y trifásico, incluyendo tableros y subtableros.



**Figura 2.8** Ejemplo de estudios simultáneos de Derrateo de cables, corto circuito y flujo de carga.

### 2.12.6. Características del programa

- Cinco niveles de chequeo automático de errores.
- Línea de ayuda dinámica y mensajes de error.
- Generador de mensajes para seguimiento de uso y acceso al programa.
- Múltiples niveles de acceso de usuario.
- ODBC (conectividad para bases de datos abiertas) - utiliza Microsoft Access, SQL, Oracle, etc.
- Maneja datos de mantención vía información, notas y páginas de comentarios.
- Mezcla archivos de proyectos ETAP independientes.
- Convierte archivos de proyecto entre bases de datos como Microsoft Access, SQL y Oracle.
- Integra sistemas monofásicos, trifásicos y DC.
- Integra diagrama unilineal y sistemas de canalización subterráneos.
- Integra diagrama unilineal y módulo de coordinación, selectividad de dispositivos.
- Base de datos común para todos los estudios.
- Simplicidad en la entrada de datos.
- Múltiples subsistemas y máquinas oscilantes.
- Autoguardado y transacción controlado por el usuario.
- Configuración por defecto de todas las componentes controlado por el usuario.
- Datos típicos para motores, generadores, transformadores, reactores, gobernadores y excitadores.
- Retardos de tiempo LTC individuales (inicial y operativo).
- Sin limitaciones de voltaje.
- Conexión ilimitada de dispositivos de medición y protección a ramas y cargas.
- Conexión ilimitada de cargas a una barra individual.

- Cualquier frecuencia de sistema.
- Sistemas de unidades métricas e inglesas.
- IDS (definición de los nombres de las variables) de componentes de 25 caracteres.
- Entrada de datos de fabricantes.
- Demanda de carga individual y global y factores de diversidad.
- Resistencia del cable sensible a la temperatura para todos los estudios.
- Navegador de elementos.
- Cargas concentradas.
- Cables de equipamiento para cargas, eliminando requerimientos para barras terminales.
- Registro de datos "editado por" y "revisado por".
- Registro de fecha de todos los cambios de datos.
- Editores inteligentes con campos de datos definidos por el usuario.
- Requerimientos de entrada de datos dependiente del análisis.
- Soporte de múltiples usuarios en red.
- Base de datos compatible con los módulos de tiempo real de ETAP, supervisión, simulación y control.

## CAPÍTULO III

### DESCRIPCION DEL SISTEMA ELECTRICO

#### **3.1. Descripción del Sistema Eléctrico de Potencia de La Refinería Puerto La Cruz**

La Refinería Puerto la Cruz dispone de un suministro desde la red de interconexión eléctrica nacional a través de una línea de doble terna de 230 KV provenientes de la Subestación Guanta II (CADAFE), las cuales alimentan la subestación principal “A” (VALCOR) donde se realiza la transformación de tensión a 34,5 KV, mediante dos transformadores de 230/34,5 KV, luego se distribuye a la S/E “B”, a la S/E “D” para la transformación de tensión a los niveles requeridos, a fin de alimentar las diferentes cargas asociadas a las plantas de procesos (motores, iluminación, servicios auxiliares, etc.).

Por otra parte, desde la S/E “A” (VALCOR) completa la conexión con Planta Eléctrica, mediante dos circuitos en 34.5 KV que a través de dos transformadores de 34.5/13.8 KV, se reduce la tensión para acoplarla a la barra de 13.8 KV ubicada en planta eléctrica (Ver figura 3.1), que en caso de cualquier contingencia, ante la posibilidad de inconvenientes, paradas forzadas de mantenimiento o de cualquier otra índole, la S/E “A” se hace cargo de toda la carga existente en la refinería.

Planta eléctrica esta constituida, por tres turbogeneradores a gas, generando niveles de tensión de 13,8 KV. Los cuales alimentan el sistema de distribución que está conformado por tres patios de celda de potencia (Subestaciones), llamados Patio de Celda RPLC, OSAMCO (Optimización de Sistemas de Almacenamiento y Manejo



de Crudos Oriente) y El Chaure (muelle y terminal), las cuales se encargan de distribuir la energía a cada sector a través de circuitos individuales con sus respectivas protecciones.

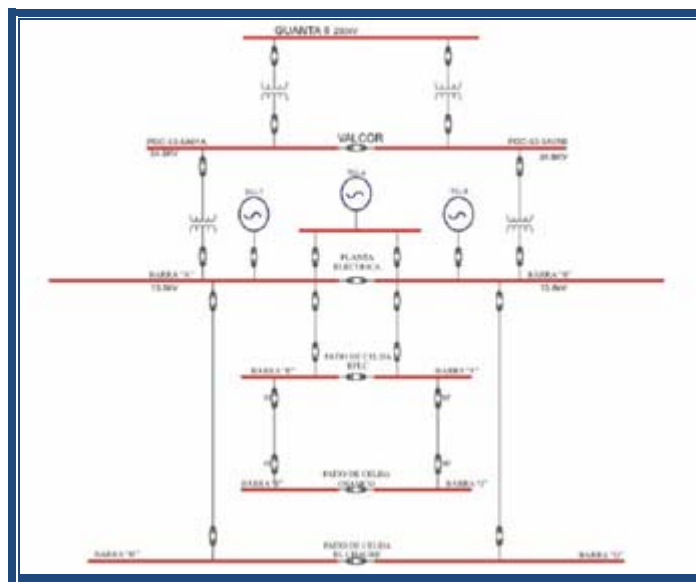


Figura 3.1. Diagrama Unifilar Simplificado De La RPLC

### 3.2. Descripción Del Sistema Eléctrico De Potencia De La Planta de Distribución de Combustibles – Puerto La Cruz

La Planta de Distribución de combustibles Puerto La Cruz esta alimentada desde el Patio de Celda de la RPLC a través de los circuitos 16A / 16B (proveniente de las barras A y B de planta eléctrica de la RPLC) cada uno de estos circuitos se encarga de alimentar a las secciones denominadas Barra “E” y Barra “F” (Ver figura 3.1), las cuales se encuentran acopladas por medio de un interruptor de aire de 2000 amperios. Desde esta barra parten nueve circuitos, los **circuitos 2F y 3E** se encargan

de alimentar a la Subestación eléctrica SISO, responsable del suministro eléctrico de la Planta.

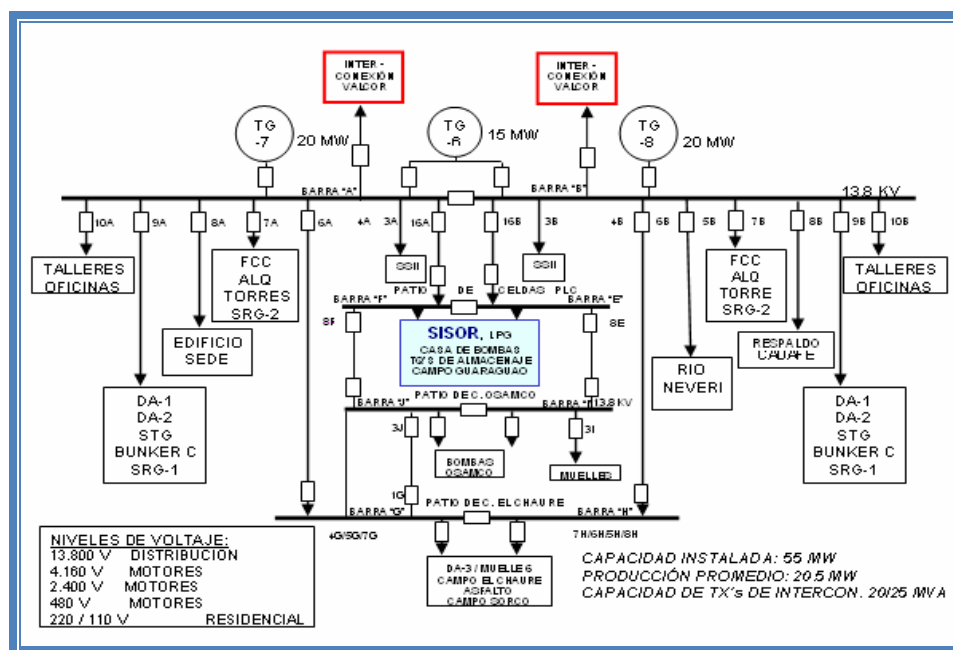


Figura 3.2. Diagrama de la Refinería Puerto La Cruz

Los circuitos **2F** y **3E** alimentan las barras de 13.8 KV (SISOR-2 y SISOR-1) donde se realiza la transformación de 13.8/2.4 KV mediante dos transformadores que alimentan la barra SISOR 2-3 y donde se realizan los procesos en el nivel de 2.4 KV.

De igual manera a las barras de 13.8 KV están conectados dos transformadores de potencia de 13.8/0.48 KV que alimentan las barras NA00, NA01 Y NA02 respectivamente, donde se realizan los procesos a nivel de 0.48 KV y se encuentran instaladas las bombas que abastecen las islas de llenados.

La barra NA00 es de cobre solido con una capacidad de corriente de 600 Ampere, 480 Voltios y soporta una corriente de corto circuito de 30.000 Ampere. En ella se encuentra un generador de emergencia diesel de 350 KVA, 480 Voltios que

energiza esta barra en caso de pérdida de energía en la alimentación normal del sistema.

La barra NA01 es de cobre sólido con una capacidad de corriente de 1200 Ampere, 480 Voltios y soporta una corriente de corto circuito de 42.000 Ampere. Existe un enlace de barra entre las barras NA00 y NA01 con un interruptor de 1200 Ampere que permanece normalmente cerrado (NC) en condiciones normales de operación.

La barra NA02 es de cobre sólido con una capacidad de corriente de 1200 Ampere, 480 Voltios y soporta una corriente de corto circuito de 42.000 Ampere. Existe un enlace de barra entre las barras NA01 y NA02 con un interruptor de 2000 Ampere que permanece normalmente abierto (NA) en condiciones normales de operación.

En general los niveles de tensión que operan en esta Planta son 13.8 KV en la alimentación, 2.4 KV y 0.48 KV para los procesos y 220 V y 110 V para los servicios generales. En la figura 3.3 se muestra el diagrama unifilar de la planta de Distribución de Combustible Puerto La Cruz

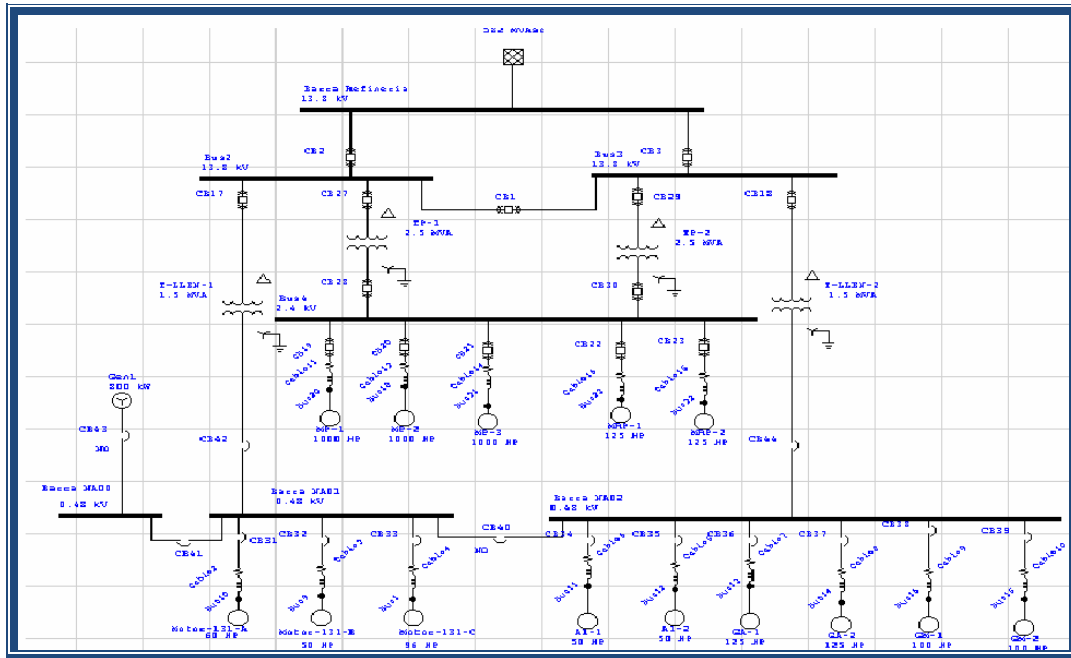


Figura 3.3. Diagrama de la Planta de Distribución de Combustible Puerto La Cruz.

### 3.2.1. Transformadores de Potencia

Para poder obtener los niveles de tensión deseados la empresa cuenta con transformadores de potencia que dependiendo de los niveles de tensión, pueden ser sumergidos en aceite o de tipo seco, se utilizan para reducir de 480 V a 220 V o 110 V que son las tensión utilizadas para los servicios generales en áreas donde no se pueda utilizar los transformadores sumergidos en aceite.

En los niveles de 13.8/2.4 KV se encuentran dos transformadores de potencia de 2500/3125 KVA inmerso en aceite con circulación natural y también cuenta con un sistema de enfriamiento con ventilación forzada de aire. **(Ver figura 3.4)**





**Figura 3.4** Transformador de Potencia de 2500 KVA

En los niveles de 13.8/0.48 KV se encuentran dos transformadores de potencia de 1500 KVA inmerso en aceite con circulación natural. (Ver figura 3.5)



**Figura 3.5** Transformador de Potencia de 1500 KVA

Los transformadores N° 3 y 4 de la tabla 3.1 son los que mantienen energizado el sistema eléctrico del llenadero de la planta de Distribución de Combustibles Puerto La Cruz.

Tabla 3.1 Datos de los transformadores de potencia

UBICACION	CAPACIDAD	CLASE	VOLT	VOLT	IMPEDANCIA	CONEXIÓN	CONEXION	DESDE LA BARRA
FABRICANTE	EMFRIAMIENTO	TEMP	PRIMARIO	SECUNDARIO		G. VECTORIAL	A TIERRA	HASTA LA BARRA
SISOR	2500/3125	LIQUID-FILL	13800	2400	5,67%	Delta/Estrella	Resistor	SISOR - 2
CAIVET	0A/FA	55/65 °C				DYn1	400 Amp- 10seg	SISOR 2 - 3
SISOR	2500/3125	LIQUID-FILL	13800	2400	5,67%	Delta/Estrella	Resistor	SISOR - 1
CAIVET	0A/FA	55/65 °C				DYn1	400 Amp- 10seg	SISOR 2 - 3
SISOR	1500	LIQUID-FILL	13800	480	5,90%	Delta/Estrella	SOLIDO	SISOR - 2
CAIVET	0NAN	60 °C				DYn5		SISOR 2 - 5
SISOR	1500	LIQUID-FILL	13800	480	5,90%	Delta/Estrella	SOLIDO	SISOR - 1
CAIVET	0NAN	60 °C				DYn5		SISOR 1 - 4

### 3.2.2 Motores eléctricos

Como la operación principal de la planta es el bombeo de combustible, se necesita una serie de equipos eléctricos necesarios para llevar a cabo el proceso. Este es el caso de los motores eléctricos que son el principal equipo involucrado con los procesos de las plantas, debido a que son los que impulsan y mueven los combustibles a sus diferentes destinos. **(Ver figura 3.6)**



Figura 3.6. Motores de Inducción

Tabla 3.2 Datos de los motores asociados al llenadero

TAG	MARCA	VOLT	AMP	RPM	HP	FASES	FRAME	FS	OPERA	TIPO
GA-1	SULZER	460	145	1784	125	3	444T	1,15	CONT	MOTOR BOMBA
GA-2	SULZER	460	145	1784	125	3	444T	1,15	CONT	MOTOR BOMBA
GM-1	SULZER	230/460	230/115	1187	100	3	444T	1,15	CONT	MOTOR BOMBA
GM-2	SULZER	230/460	230/115	1187	100	3	444T	1,15	CONT	MOTOR BOMBA
131-A	KSB VENEZOLANA	230/460	71.5	1780	60	3	364T TE	1,15	CONT	MOTOR BOMBA
131-B	PACIFIC PUMPS	460	57.5	1770	50	3	326T	1	CONT	MOTOR BOMBA
131-C	ABB MOTORS	460	133	3540	96	3		1,15	CONT	MOTOR BOMBA
A1-1	KSB VENEZOLANA	230/460	112/56	3550	50	3	386TS	1	CONT	MOTOR BOMBA
A1-2	KSB VENEZOLANA	230/460	112/56	3550	50	3	386TS	1	CONT	MOTOR BOMBA

Los datos de los motores que se muestran en la tabla 3.2 son los que mantienen operativas las islas de llenado, identificados de la siguiente manera: El color verde para la gasolina de 95 óptanos, el color naranja para la gasolina de 91 óptanos, el color gris para el diesel automotor y el color azul para el Jet A1.

Vale mencionar que también se despacha kerosene; pero este se hace con las mismas bombas del Jet A1.

### 3.2.3. Conductores eléctricos

Las condiciones particulares de las instalaciones eléctricas en la PD/PLC imponen una serie de restricciones al uso de conductores eléctricos, principalmente por la presencia de sustancias químicas en el ambiente. Por lo tanto los conductores deben ser de aislamiento de etileno propileno reticulado (EPR) que ofrece inmejorables propiedades, como estabilidad térmica, resistencia excepcional a la ionización, o de aislamiento de polietileno reticulado (XLPE) que ofrece magníficas propiedades como alta rigidez dieléctrica, baja absorción de humedad y bajas pérdidas dieléctricas, recubiertos de una chaqueta o cubierta protectora de PVC. Los

conductores utilizados en la PD/PLC comprenden conductores de mediana tensión (de 600 V hasta 13.8 kV) y conductores de baja tensión (menores de 600 V), esto debido que los niveles de tensión en las instalaciones esta en el rango de los 13.8 kV hasta los 110 V. **(ver figura 3.7)**



Figura 3.7. Conductores de Potencia conectados a una Barra de Distribución

#### **3.2.4. Interruptores de Potencia**

Los interruptores de potencia de la PD/PLC están asociados a la protección o maniobra (apertura y cierre) de diversos equipos eléctricos, estos se encuentran en las subestaciones eléctricas o en los centros de control de motores (CCM) empotrados en los gabinetes o switchgear. **(Ver figura 3.8)**



**Figura 3.8.** Interruptores de Potencia del Centro de Control de Motores

### **3.2.5 Generador de emergencia**

El generador de emergencia es DMT C Serie, serial TJ-19-527-8/14-2, con potencia de 150 – 350 KW en aplicaciones de emergencia y voltaje de 480/277 Voltios de conexión trifásica. El tipo de combustible que utiliza es Diesel y el motor es marca CUMMINS, serial 30506192, modelo NTH-AB-55C2, con potencia de 470-535 HP y velocidad de 1800 rpm. **(Ver figura 3.9)**

El regulador de voltaje es electrónico con regulación de  $\pm 1\%$  de vacío a plena carga.

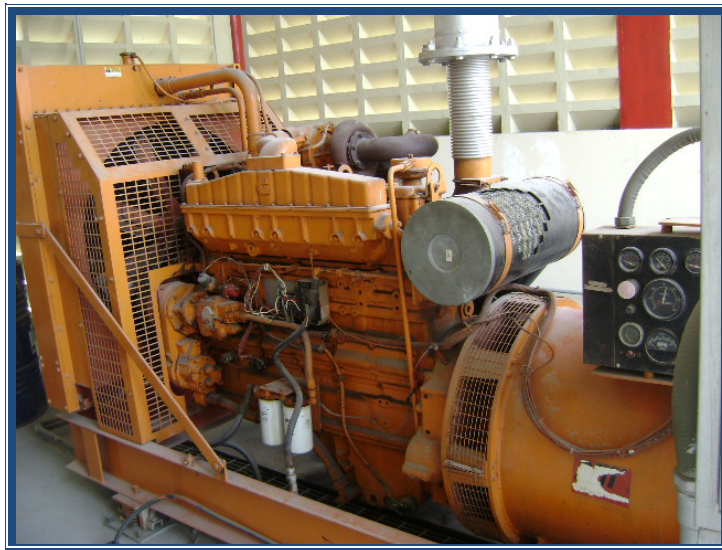


Figura 3.9. Generador de emergencia

## **CAPÍTULO IV**

### **DESARROLLO DEL PROYECTO**

#### **4.1. DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMERGENCIA DEL LLENADERO DE GUARAGUAO**

Para poder cubrir la demanda de combustible exigida y realizar la adecuación del sistema eléctrico de emergencia de la Planta de Distribución de Combustible Puerto la Cruz, para un sistema eléctrico confiable, se propone el siguiente sistema de emergencia, este consiste en incorporarle al sistema actual a nivel de 0.480 kV un generador de emergencia en la barra de potencia NA00, el cual tendrá como carga lo siguiente:

- En la barra NA00 se encuentran conectadas la carga de los servicios auxiliares: sistema de alumbrado de la planta (sala de control, isla de llenado y patio de bombas.), equipos de sistemas automatizados (servidores y consolas del SCADA del sistema de control de la planta, PLC y remotas del sistema de control, sistema contra incendios y sistema de parada de emergencia) y UPS.
- En la barra NA01 se encuentran conectadas tres (03) bombas asincrónicas de 60, 50, 96 HP respectivamente (donde dos de ellas trabajarán a servicio continuo y las restantes de respaldo en caso de maniobras).
- En la barra NA02 se encuentran seis (06) bombas asincrónicas las cuales tienen capacidad de: dos (02) de 125 HP, dos (02) de 100 HP y dos (02) de 50 HP, las cuales pueden funcionar todas en el caso más crítico.



## 4.2. ESTUDIOS Y RESULTADOS.

### 4.2.1. Análisis de carga.

Para suministrarle potencia a las cargas conectadas al sistema es necesario saber cuanta potencia consumirán y la capacidad del generador que las alimentara, para esto se consideró lo siguiente:

- Las cargas del sistema eléctrico serán clasificadas de acuerdo a su tipo de servicio: vital, esencial y no esencial, y a su ciclo de operación: continuo, intermitente y de reserva.
- Se calcularán las demandas de 15 minutos y 8 horas considerando los factores de operación y de coincidencia respectivos, como se especifica en la norma PDVSA 90619.1.050.
- La demanda de ocho (8) horas se utilizará para el cálculo de la capacidad del generador.
- La demanda de quince (15) minutos se utilizará para el cálculo de la barra de potencia NA00.
- La información presentada corresponde a datos de levantamiento de campo y datos referenciales de equipos.

Para las cargas conectadas en la barra NA00 mencionada anteriormente se procedieron a elaborar los siguientes cálculos:



Datos:

$$VN = 480 \text{ VOLTIOS}$$

$$S = 174 \text{ KVA}$$

$$FP = 0.80$$

$$P = S * FP$$

Donde:

P: potencia activa (KW).

S: potencia aparente (KVA).

FP: factor de potencia.

$$P = 174 * 0.80 = 139,2 \text{ KW}$$

$$I_{\text{secundario}} = \frac{P}{\sqrt{3} * VN * FP} = \frac{139.200}{\sqrt{3} * 480 * 0.80} = 209.54 \text{ Ampere}$$

$$a = \frac{I_{\text{primario}}}{I_{\text{secundario}}}$$

$$I_{\text{primario}} = a * I_{\text{secundario}} = 209.54 * 0.60 = 125,724 \text{ Ampere}$$

$$S = V * I_{\text{primario}} = 277 * 125.724 = 34.83 \text{ KVA}$$

Para las cargas conectadas en la barra NA01 y NA02 se elaboraron los cálculos de las corrientes reales de operación de los motores dando como resultados los siguientes valores, los cuales se pueden observar en la **Tabla 4.1**.

**Tabla 4.1.** Valores nominales y reales de operación.

Motor	Inominal (Amp)	Potencia (Hp)	Vnominal (Volt)	Fp	VTrabajo (Volt)	I Trabajo (Amp)
GA-1	145	125	460	0,81	480	138,96
GA-2	145	125	460	0,81	480	138,96
GM-1	115	100	460	0,82	480	110,21
GM-2	115	100	460	0,82	480	110,21
131-C	133	96	460	0,68	480	127,46
131-A	71,5	60	460	0,79	480	68,52
131-B	57,5	50	460	0,82	480	55,10
A1-1	56	50	460	0,84	480	53,67
A1-2	56	50	460	0,84	480	53,67
PROMEDIO GENERAL DEL FACTOR DE POTENCIA				0,80		

Con los valores obtenidos de potencia, corrientes y factor de potencia en las barras NA00, NA01 y NA02 respectivamente, se procedió a la determinación de la capacidad del generador de emergencia y de las demás cargas de los equipos conectados a las mismas, se presenta en el **Apéndice A, tabla A-1**.

### **4.3. SIMULACIÓN DE ARRANQUE DE MOTORES**

#### **4.3.1. Metodología**

Por lo general, las normas de diseño y fabricación de motores eléctricos, establecen que un motor trifásico de inducción, que se alimenta al voltaje y la frecuencia nominal debe soportar durante 15 segundos, sin frenarse y acelerarse bruscamente, un par de arranque igual a 1,6 veces el valor nominal. Para el desarrollo de este estudio de arranque de los motores se realizó con la ayuda del modulo “Motor Acceleration Analysis” de la herramienta ETAP 5.0.3. Este simulador permite obtener los niveles de voltaje en los terminales del motor y en la barra donde esta conectado y también los niveles de corriente de arranque mediante la norma americana ANSI y la norma europea IEC. Para la visualización del comportamiento del sistema ante el arranque de los motores se tomó en consideración lo siguiente:

- El programa provee de dos (2) métodos para el arranque de los motores, el método dinámico donde se tiene que conocer el torque de la carga y el modelo estático donde se le introduce el tiempo en el cual el motor toma la carga. Este estudio se realizó de manera más detallada utilizando el modelo estático y se utilizó el modelo dinámico para el estudio del motor más grande (125 HP).
- Los niveles de caída de tensión durante el arranque de los motores se tomaron de acuerdo ha como se especifican en las normas (IEEE 141-1993): 20% en los terminales del motor durante el arranque y 15% en la barra.

- Los niveles de tensión una vez que los motores se estabilizan, deben estar acorde a los especificados por la norma ANSI C84.1 observar en el Apéndice B, tabla B-1.
- Para este análisis se considerará que todas las cargas están trabajando en condiciones normales de operación.
- No se considerará el arranque simultáneo de motores.

#### 4.3.2. Resultados

El estudio de arranque de motores se realizó para dos casos:

Caso N°1: cuando las barras NA01 y NA02 están siendo alimentadas por los transformadores de potencia T-571 y T-574 con una relación de voltaje de 13800/480 voltios siendo este último el valor de voltaje al cual están conectados los motores asíncronos. Dejando en cuenta que la aplicación del estudio sobre el sistema dará las conclusiones de cómo se comporta el sistema con el funcionamiento del arranque de los motores. Observar la **Tabla 4.2**.

**Tabla 4.2.** Resultado de caída de tensión en arranque de motores de las barras y los motores del caso N°1

Identificación de la Barra	Tension Nominal (KV)	Tension Inicial $t=0$ (%)	Tension durante el arranque $t=1.5$ (%)	Caida de Tension (%)	Tension despues del arranque $t=$
Barra-NA01	0.480	99.901	99.481	0.519	99.557
Barra-NA02	0.480	100	97.103	2.897	98.909
Bus 1 0 Motor-131-A	0.480	99.901	98.276	1.724	98.353
Bus 9 Motor-131-B	0.480	98.895	98.470	1.53	98.547
Bus 1 Motor-131-C	0.480	99.901	98.839	1.161	98.915
Bus 1 1 Motor-A1-1	0.480	100	95.477	4.523	97.314
Bus 1 2 Motor-A1-2	0.480	100	95.477	4.523	97.314
Bus 1 3 Motor-GA-1	0.480	100	96.233	3.767	98.055
Bus 1 4 Motor-GA-2	0.480	100	96.233	3.767	98.055
Bus 1 5 Motor-GM-1	0.480	100	96.263	3.737	98.085
Bus 1 6 Motor-GM-2	0.480	100	94.490	5.51	98.085

Caso N°2: cuando las barras NA00, NA01 y NA02 están siendo alimentadas por generador con un voltaje de 480 voltios y una potencia de 900 KW y 1207 HP, en las barras están conectados los motores asíncronos los cuales sirven para el despacho de combustibles del llenadero de Guaraguao.

Teniendo en cuenta que la aplicación del estudio sobre el sistema arrojará resultados que servirán como conclusiones de cómo se comporta el sistema con el funcionamiento del arranque de los motores durante la alimentación de un generador de emergencia. Observar la **Tabla 4.3**.

**Tabla 4.3.** Resultado de caída de tensión en arranque de motores de las barras y los motores del caso N°2

Identificación de la Barra	Tension Nominal (KV)	Tension Inicial $t = 0^-$ (%)	Tension durante el arranque $t =$	Caida de Tension (%)	Tension despues del arranque $t = 3.0+$ (%)
Barra-NA00	0.480	100	81.216	18.784	91.102
Barra-NA01	0.480	100	81.216	18.784	91.102
Barra-NA02	0.480	100	81.216	18.784	91.102
Bus 4 Motor-131-A	0.480	100	79.731	20.269	89.784
Bus 5 Motor-131-B	0.480	98.995	79.971	20.029	89.997
Bus 6 Motor-131-C	0.480	100	80.427	19.573	90.401
Bus 8 Motor-GA-1	0.480	100	80.172	19.828	90.174
Bus 9 Motor-GA-2	0.480	100	80.172	19.828	90.174
Bus 1 0 Motor-GM-1	0.480	100	80.208	19.792	90.207
Bus 1 1 Motor-GM-2	0.480	100	79.030	20.97	90.207
Bus 1 2 Motor-A1-1	0.480	100	79.256	20.744	89.365
Bus 1 3 Motor-A1-2	0.481	100	79.256	20.744	89.365

## 4.4. SIMULACIÓN DE FLUJO DE CARGA

### 4.4.1. Metodología

Los estudios de flujo de carga, son sumamente importantes para evaluar el funcionamiento de los sistemas de potencia, dada esta necesidad de la empresa para

detectar anomalías antes distintas condiciones de operación, se realizó el estudio de flujo de carga, empleado el software computacional ETAP

Para el estudio de flujo de carga, se tomarán como patrón los límites de tolerancia en cuanto a niveles de tensión de acuerdo a la Norma ANSI C84.1-1995 (observar el **Apéndice C tabla C-1**), la cual establece un límite de  $\pm 5\%$  de la tensión establecida en condiciones normales de operación, y en condición de contingencia tendrá un rango permisible de  $\pm 10\%$ . (Ver **Tabla 4.4**.)

**Tabla 4.4.** Límites de caídas de tensión establecidos por la norma ANSI C84.1-1995

Tensión Nominal de las Barras (voltios)	Condiciones Nominales		Condiciones de Contingencia	
	Limited Superior	Limited Inferior	Limited Superior	Limited Inferior
13.800 voltios	14.490/105%	13.460/97.5%	14.5200/105.2%	13.110/95%
480 voltios	504/105%	456/95%	508/105.8%	440/91.67%

Esta parte del trabajo se realizó con la ayuda de la herramienta computacional ETAP 5.03 utilizando el módulo “load flow analysis”.

Esta herramienta permite realizar la corrida de flujo de carga por medio de tres métodos numéricos. El método que se utilizó fue el de Newton-Rhapson.

A continuación se simularán una serie de escenarios que nos van a permitir observar el flujo de carga en condiciones normales y de emergencia del sistema eléctrico de potencia de la PD/PLC, estos escenarios se ilustran en la **Tabla 4.5**.

**Tabla 4.5.** Escenarios presentes en la simulación de Flujo de Carga

Escenario	Designación	Detalle	Niveles de tensión
Escenario N° 1	Situación actual del sistema	Estado normal	13800/480 voltios
Escenario N° 2	Situación de baja operación	Estado menos crítico	13800/480 voltios
Escenario N° 3	Situación en caso de fallo de un transformador	Estado más crítico	13800/480 voltios
Escenario N° 4	Situación en caso de fallo de un transformador	Estado menos crítico	13800/480 voltios
Escenario N° 5	Situación de operación con el generador de emergencia	Estado más crítico	480 voltios
Escenario N° 6	Situación de operación con el generador de emergencia	Estado menos crítico	480 voltios

#### 4.4.2. Resultados

A continuación se presentarán los resultados arrojados por el estudio de flujo de carga en el sistema eléctrico de potencia del llenadero de Guaraguao para los distintos escenarios que se plantearon anteriormente.

- Escenario N°1: El Sistema Opera con un Nivel de Tensión por Debajo de lo Ideal en situación actual.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar cómo se comporta el sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao cuando existe una variación de tensión a nivel de 0.48 KV.

En el **Apéndice D figura D-1**. Se representan la subestación del sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao operando bajo esta condición, se pudo observar que los niveles de tensión disminuyeron, y el sistema puede operar con dichos niveles, siendo las barras NA01 y NA02 las del objeto de estudio y éstas presentan niveles de tensiones cercanos a los estandarizados, los cuales son aceptado por la norma ANSI C84.1-1995. (Ver **Tabla 4.6**.)

**Tabla 4.6.** Niveles de tensión y potencia del escenario N°1

Subestacion	Buses	Voltaje (kv)	Voltaje (%)	P(MW)	Q (MVAR)
SISOR	Barra NA01	0.48	99.712	0.049	0.023
	Barra NA02	0.48	98.965	0.042	0.019
	Bus N°1-131-C	0.480	99.072	0.077	0.033
	Bus N°10- 131-A	0.480	98.511	0.049	0.022
	Bus N°11-A1-1	0.480	97.371	0.041	0.019
	Bus N°12-A1-2	0.480	97.371	0.041	0.019
	Bus N°13-GA-1	0.480	98.112	0.101	0.044
	Bus N°14-GA-2	0.480	98.112	0.101	0.044
	Bus N°15-GM-1	0.480	98.142	0.080	0.034
	Bus N°16-GM-2	0.480	98.142	0.080	0.034

- Escenario N°2: El Sistema Opera con un Nivel de Tensión por Debajo de lo Ideal en situación de baja operación.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar cómo se comporta el sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao cuando existe una variación de tensión a nivel de 0.48 KV.

En el **Apéndice D figura D-2**. Se representan la subestación del sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao operando en condición de baja operación y se pudo observar que los niveles de tensión disminuyeron, sin embargo, puede operar

con dichos niveles de tensiones cercanos a los estandarizados, los cuales son aceptado por la norma ANSI C84.1-1995. (Ver **Tabla 4.7.**)

**Tabla 4.7.** Niveles de tensión y potencia del escenario N°2

Subestacion	Buses	Voltaje (kv)	Voltaje (%)	P(MW)	Q (MVAR)
SISOR	Barra NA01	0.48	99.829	0.077	0.033
	Barra NA02	0.48	99.489	0.042	0.019
	Bus N°1-131-C	0.480	99.072	0.077	0.033
	Bus N°11-A1-1	0.480	97.903	0.041	0.019
	Bus N°13-GA-1	0.480	98.640	0.101	0.044
	Bus N°15-GM-1	0.480	98.670	0.080	0.034

- Escenario N°3: El Sistema Opera en la situación de fallo de un transformador en su condición más crítica.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar cómo se comporta el sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao cuando existe una variación de tensión a nivel de 0.48 KV en caso del fallo de uno de los dos (02) transformadores, operando los motores en su condición mas critica

En el **Apéndice D figura D-3.** Se representan la subestación del sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao operando en la situación de condición de fallo de un transformador en su condición mas critica de operación se pudo observar que los niveles de tensión disminuyeron muy poco y el sistema puede operar con dichos niveles de tensiones cercanos a los estandarizados, los cuales son aceptado por la norma ANSI C84.1-1995. (Ver **Tabla 4.8.**)



**Tabla 4.8.** Niveles de tensión y potencia del escenario N°3

Subestacion	Buses	Voltaje (kv)	Voltaje (%)	P(MW)	Q (MVAR)
SISOR	Barra NA01	0.48	98.663	0.049	0.023
	Barra NA02	0.48	98.663	0.042	0.197
	Bus N°1-131-C	0.480	98.016	0.077	0.033
	Bus N°10- 131-A	0.480	97.448	0.049	0.022
	Bus N°11-A1-1	0.480	97.064	0.041	0.019
	Bus N°12-A1-2	0.480	97.064	0.041	0.019
	Bus N°13-GA-1	0.480	97.807	0.101	0.044
	Bus N°14-GA-2	0.480	97.807	0.101	0.044
	Bus N°15-GM-1	0.480	97.837	0.080	0.034
	Bus N°16-GM-2	0.480	97.837	0.080	0.034

- Escenario N°4: El Sistema Opera en la situación de fallo de un transformador en su condición de baja operación.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar cómo se comporta el sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao cuando existe una variación de tensión a nivel de 0.48 KV en caso del fallo de uno de los dos (02) transformadores operando los motores en su condición de baja operación.

En el **Apéndice D figura D-4**. Se representan la subestación del sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao operando en la situación de condición de fallo de un transformador en su condición de baja operación se pudo observar que los niveles de tensión disminuyeron y el sistema puede operar con dichos niveles de tensiones cercanos a los estandarizados, los cuales son aceptado por la norma ANSI C84.1-1995 ver **Tabla 4.9**.

**Tabla 4.9.** Niveles de tensión y potencia del escenario N°4

Subestacion	Buses	Voltaje (kv)	Voltaje (%)	P(MW)	Q (MVAR)
SISOR	Barra NA01	0.48	99.313	0.077	0.033
	Barra NA02	0.48	99.313	0.042	0.019
	Bus N°1-131-C	0.480	98.670	0.077	0.033
	Bus N°11-A1-1	0.480	97.725	0.041	0.019
	Bus N°13-GA-1	0.480	98.463	0.101	0.044
	Bus N°16-GM-1	0.480	98.493	0.080	0.034

- Escenario N°5: El Sistema Opera con el Generador de emergencia con un Nivel de Tensión por Debajo de lo Ideal en la situación más crítica.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar cómo se comporta el sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao cuando existe una variación de tensión a nivel de 0.48 KV con la operación del generador de emergencia. En el **Apéndice D figura D-5**. Se representan la subestación del sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao operando bajo esta condición y se pudo observar que los niveles de tensión del sistema permanecen entre los estandarizados en la norma ANSI C84.1-1995. Y puede operar con dichos niveles de tensión. (Ver **Tabla 4.10**.)

**Tabla 4.10.** Niveles de tensión y potencia del escenario N°5

Subestacion	Buses	Voltaje (kv)	Voltaje (%)	P(MW)	Q (MVAR)
SISOR	Barra NA01	0.48	100	0.049	0.023
	Barra NA02	0.48	100	0.102	0.045
	Bus N°4-131-C	0.480	98.802	0.077	0.033
	Bus N°6- 131-A	0.480	99.362	0.049	0.022
	Bus N°8-A1-1	0.480	99.156	0.101	0.044
	Bus N°9-A1-2	0.480	99.156	0.101	0.044
	Bus N°10-GA-1	0.480	99.185	0.080	0.034
	Bus N°11-GA-2	0.480	99.185	0.080	0.034
	Bus N°12-GM-1	0.480	98.423	0.041	0.019
	Bus N°13-GM-2	0.480	98.423	0.041	0.019

- Escenario N°6: El Sistema Opera con el Generador de emergencia con un Nivel de Tensión por Debajo de lo Ideal en condición de baja operacion.

Este escenario se realiza con la finalidad de observar cómo se comporta el sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao cuando existe una variación de tensión a nivel de 0.48 KV con la operación del generador de emergencia.

En el **Apéndice D figura D-6**. Se representan la subestación del sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao operando bajo esta condición y se pudo observar que los niveles de tensión del sistema permanecen entre los estandarizados en la norma ANSI C84.1-1995. Y puede operar con dichos niveles de tensión. (Ver **Tabla 4.11.**)

**Tabla 4.11.** Niveles de tensión y potencia del escenario N°6

Subestacion	Buses	Voltaje (kv)	Voltaje (%)	P(MW)	Q (MVAR)
SISOR	Barra NA01	0.48	100	0.077	0.033
	Barra NA02	0.48	100	0.102	0.045
	Bus N°6-131-C	0.480	99.362	0.077	0.033
	Bus N°8-A1-1	0.480	99.156	0.101	0.044
	Bus N°10-GA-1	0.480	99.185	0.080	0.034
	Bus N°12-GM-1	0.480	98.423	0.041	0.019

#### 4.5. ESTUDIO DE CORTOCIRCUITO

El sistema eléctrico de potencia de la planta del llenadero de Guaraguao, requiere la adecuación del sistema eléctrico de emergencia para satisfacer la demanda de suministro de combustible a la región, debido a esto surge la necesidad de realizar los cálculos de los niveles de cortocircuito, cuyos resultados serán utilizados para posteriormente realizar la coordinación de protecciones en dicho sistema.

#### 4.5.1. Metodología del Cálculo

El estudio de cortocircuito se realizó con la ayuda del modulo “short-circuit analysis” de la herramienta ETAP 5.0.3. Este simulador permite obtener los niveles de corrientes de cortocircuito mediante la norma americana ANSI y la norma europea IEC, para este estudio utilizamos la norma ANSI.

**Tabla 5.1.** Resultados de la simulación de corto circuitos

SISTEMA ELECTRICO (LLENADERO GUARAGUAO)						
Servicio	Punto de fallas	Corrientes	Tipos de Fallas			
			Trifasicas (KA)	Linea-Tierra (KA)	Linea-Linea (KA)	Linea-Linea-Tierra (KA)
TRANSFORMADOR	Barra NA00	1/2 Ciclos	30.3	30.4	26.3	30.4
	Barra NA01		30.3	30.4	26.3	30.4
	Barra NA02		31.9	31.5	27.7	31.8
	Barra NA00	30 Ciclos	29.3	29.7	25.4	29.5
	Barra NA01		29.3	29.7	25.4	29.5
	Barra NA02		29.3	29.7	25.4	29.5
GENERADOR	Barra NA00	1/2 Ciclos	13.5	12.2	11.8	13.2
	Barra NA01		13.5	12.2	11.8	13.2
	Barra NA02		13.5	12.2	11.8	13.2
	Barra NA00	30 Ciclos	5.2	7.7	5.9	6.2
	Barra NA01		5.2	7.7	5.9	6.2
	Barra NA02		5.2	7.7	5.9	6.2

## **CAPÍTULO V**

### **PROPUESTA TECNICA**

#### **5.1. CARACTERISTICA DEL EQUIPO GENERADOR AUXILIAR**

Esta especificación incluye el diseño y la fabricación de un conjunto generador eléctrico, destinado para el suministro de energía eléctrica en sustitución de la energía normal cuando ésta falla por causas fortuitas o por razones de mantenimiento.

##### **5.1.1 Normas.**

Tanto el conjunto motor-generador como los accesorios estarán diseñados, fabricados y probados de conformidad con las más altas normas de fabricación.

Como mínimo, éstas deben satisfacer las secciones relacionadas con los códigos, normas y requisitos de las siguientes organizaciones:

- “National Electric Manufacturers Association”. (NEMA).
- “Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc”. (IEEE).
- “American National Standards Institute”. (ANSI).
- “National Fire Protections Association”. (NFPA).
- “National Electrical Code” (CEN).

Cuando esta especificación sea más rigurosa que las normas anteriores, ésta privará sobre dichas normas. Asimismo, estas especificaciones deberán cumplir con todos los códigos, normas y reglamentos aplicables en Venezuela.



### 5.1.2. Especificaciones.

La intención y propósito de estas especificaciones es asegurar que la empresa adquiera e instale un equipo generador diesel, ya que se trata de un equipo de emergencia auxiliar que debe ser capaz de suministrar un servicio continuo con el rendimiento nominal o la duración de cualquier falla en la alimentación normal del sistema.

El generador y el motor deben ser fabricados por una compañía y tanto esta compañía como su vendedor o distribuidor autorizado deberán ser los únicos responsables del rendimiento del equipo generador, del motor y de sus accesorios.

Deben ser equipos nuevos y probados de acuerdo con las más altas normas de fabricación e instalación del proveedor.

El proveedor debe suministrar a la empresa en su cotización la siguiente información:

- Catálogo del equipo, tanto del motor como del generador, y los requisitos para la cimentación.
- Literatura que describa el grupo motor generador indicando su capacidad de generación eléctrica, así como tablas y gráficas que indiquen su variación con altura sobre el nivel del mar.
- Catálogo y/o literatura que describa el equipo auxiliar que va a suministrar.

Los siguientes datos deben expresarse en forma tabulada:

- Marca del motor
- Número de cilindros
- Diámetro de los cilindros en cm o pulg.
- Carrera en cm o pulg.
- Desplazamiento del pistón en  $\text{cm}^3$  o  $\text{pulg}^3$
- Velocidad del pistón en m/min ó pies./min. y los R.P.M. nominales
- Rendimiento nominal en KW-BMEP (presión media afectiva al freno)
- Marca y tipo de generador
- Capacidad eléctrica del generador en KVA ó KW
- Tipo de excitador

## **5.2. CAPACIDAD NOMINAL PARA EL MOTOR.**

La potencia nominal del motor deberá ser la potencia disponible en el acoplamiento del motor después de sustraer las perdidas por cualquier tipo de servicio, altura, temperatura, ambiente, calidad de combustible y después de sustraer la potencia absorbida por el equipo auxiliar impulsador por el eje del motor. Los motores que tengan capacidad nominal por encima de 500 Kw (670 HP), bien sea en servicio continuo o intermitente, deberán ser designados y nominados de conformidad con los requisitos de las normas de la Asociación de Fabricantes de Motor Diesel. (Diesel Engine Manufacture's Association Standard).

Los motores con capacidad nominal menor o igual a 500 Kw (670 HP) deberán ser clasificados de conformidad con los requisitos exigidos por las normas internacionales reconocidas nacionalmente.

La presión medida efectiva de diseño al freno (BMEP) no deberá exceder los límites mostrados en la tabla 5.1, establecidos para motores, tanto en servicio continuo, como intermitente.

Tabla 5.1. Característica de los motores al freno.

TIPO DE MOTOR	MAXIMO kg/cm <sup>2</sup>	BMEP Kpa
Apiración natural	5,8 Kg/cm <sup>2</sup> (85 psi)	590
Supercargado de 2 ciclos	7,8 Kg/cm <sup>2</sup> (115 psi)	790
Supercargado 4 ciclos (s/enfriamiento)	8,2 Kg/cm <sup>2</sup> (120 psi)	830
Supercargado 4 ciclos (s/enfriamiento)	10,9 Kg/cm <sup>2</sup> (160 psi)	1100

### 5.3. DISPOSICION DEL EQUIPO.

El equipo deberá constar de un motor conectado a un generador, de uno o dos cojinetes, a través de un acoplamiento flexible, montados sobre una base común fabricada de acero estructural.

Se deberán suministrar aisladores de vibración del tipo de resorte, que permitan fijar el equipo con pernos, a una base de concreto o acero estructural. Cada punto de fijación apernado, debe estar provisto de un aislador de vibración.

Tanto el conjunto motor-generador como los accesorios deberán estar totalmente cableados y ensamblados de una manera práctica. Tanto los cables como los terminales llevarán etiquetas indicativos de los números de los mismos.



## **5.4. EL MOTOR Y LOS ACCESORIOS.**

### **5.4.1. El Motor.**

El motor debe ser un motor de combustión interna por compresión de diesel, pudiendo ser indistintamente de 2 ó 4 tiempos con inyector de combustible para cada cilindro, sólida del tipo v ó vertical de líneas.

#### **5.4.1.1. Caballos de Fuerza.**

Los proveedores deben proporcionar las curvas específicas de la capacidad del motor para sus usos auxiliares, y la capacidad en caballos de fuerza por kilowatt, ya corregidos respecto a las condiciones de altura y temperatura del lugar a que se destine el equipo, las cuales deberán mostrar la aprobación del fabricante.

#### **5.4.1.2. Velocidad.**

La velocidad máxima de los motores no debe exceder de 1800 R.P.M. al funcionamiento normal a plena carga.

En los motores actuales que se usan para impulsar generadores, los R.P.M. varían desde 225 hasta 1800, y la velocidad de los pistones desde aproximadamente 198 hasta 457 m/min (650-1500 pres./min.); la velocidad de rotación generalmente varía inversamente en relación al rendimiento en kilowatts de la unidad, es decir, se usan bajas R.P.M. con elevados rendimientos unitarios de KW y altas R.P.M. con bajo rendimiento unitario en kilowatts; a pesar de la cercana relación entre la velocidad de rotación y el pistón es posible variar una sin afectar apreciablemente la otra.

La velocidad del pistón para motores que operen en servicios intermitentes o continuos, no deberán exceder 7,6 m/ (1500 pies/min).

Las frecuencias naturales de torsión de un sistema cuyo equipo es impulsado por un motor, incluyendo los acoplamientos y las cajas de engranajes, deberán estar cercanos al 10% de la velocidad de cualquier eje del sistema rotativo. Si esto resultase impráctico, se deberán usar amortiguadores para limitar los esfuerzos en los ejes debido a vibraciones torsionales hasta 3500 psi (24,15 MPa) durante todo el rango de operación. Las aplicaciones que requieran velocidad constante deberán ser consideradas para tener un rango de  $\pm 10\%$ .

Los reguladores de velocidad deberán regirse por la norma NEMA SM21; Clase D para motores de generadores. Los reguladores de velocidad deberán ser adecuados para recibir señales de control remoto si son especificadas. La velocidad del tacómetro deberá estar entre 0 y 115%.

#### **5.4.2. Los Accesorios.**

Se deberán suministrar los accesorios necesarios, incluyendo los siguientes, si fuese requerido:

- **Radiador para servicio pesado y un ventilador:** El motor debe equiparse con un radiador y ventilador del tipo y capacidad recomendado por el fabricante. El ventilador debe ser de soplo (o de succión). Debe venir provisto de una protección apropiada para impedir el contacto accidental con las aspas del abanico, bandas u otras partes móviles. Para instalaciones en un espacio cerrado, el proveedor debe especificar las dimensiones del núcleo del radiador y el flujo de aire de enfriamiento en  $m^3/min$  ó en  $pies^3/min$  necesarios para el enfriamiento apropiado del motor y del generador.

➤ Gobernador para caída de velocidad: La velocidad del motor debe ser controlada por un gobernador completamente hidráulico para mantener una velocidad gobernada dentro de 18 ciclos, y de 50 a 60 ciclos desde un rendimiento del generador sin carga hasta plena carga. La frecuencia a cualquier carga constante, incluyendo carga cero, debe permanecer dentro de un ancho de banda de estado estable de  $\pm 0.25\%$  de la frecuencia nominal. El gobernador no debe variar por segundos que varíe la frecuencia, y la frecuencia promedio no deberá variar en una forma cíclica que exceda un ciclo por segundo.

➤ Sistema de combustible: Para motor el que usa normalmente el fabricante de motores diesel (bomba de inyección tipo PT); debe contar con un filtro primario y secundario de elemento reemplazable, una bomba de transferencia de combustible para elevar hasta el tanque de uso diario, inyectores con atomizadores de orificio múltiple, un tablero de concentración para conexiones de tubería y mangueras, válvulas solenoides, tuberías y mangueras instaladas en la máquina.

Debe montarse un tanque de combustible de uso diario, con capacidad mínima para 4 horas de operación continua, sobre o cerca del motor para proporcionar una alimentación inmediata de combustible a la bomba después de haber arrancado el motor. El combustible debe suministrarse al tanque por medio de una bomba eléctrica de transferencia de combustible, o una bomba de transferencia de combustible accionada por el motor.

El tanque debe ser cilíndrico horizontal, equipado con una válvula flotador registrable para controlar en forma automática la cantidad de combustible que se le suministre, un indicador de nivel, válvula de purga, y un acabado anticorrosivo.

El consumo de combustible del motor con todos los accesorios que se accionan, no debe exceder de 340g. (0.75 lb) de combustible por kilowatt, hasta cualquier carga de entre 50 y 100% de la carga nominal.

- Sistema de Lubricación: El motor debe tener una bomba de aceite lubricante de tipo engranes para suministrar el aceite a presión a los baleros de los muñones del cigüeñal, a los pistones, a los pernos de los pistones, a los engranes de tiempo, a los baleros de levas y al mecanismo que permite la elevación de las válvulas. Debe contar con filtro de aceite de flujo completo colocado convenientemente para dar el servicio. Los filtros deben estar equipados con una válvula de derivación, accionada por un resorte, para asegurar la circulación de aceite si los filtros se obstruyen.
- Camisas de los cilindros: El motor deben estar equipados con camisas para los cilindros de tipo seco o húmedo indistintamente cambiables, y estar hechos de aleación de acero de grano fino.
- Filtros de aire: El motor debe tener instalado uno o más filtros purificadores de aire de tipo seco, de elemento reemplazable, o bien de tipo viscoso, o sea un filtro de aire en baño de aceite de un sólo paso.
- Sistema de arranque: El motor debe estar equipado con un sistema de arranque de suficiente capacidad para arrancar el motor completo a una velocidad que permita el arranque con diesel de forma manual o eléctrica.
- Instrumentos del motor: El tablero montado sobre el motor debe contener los siguientes instrumentos de medición para el mantenimiento y vigilancia apropiada del motor:

- Manómetro para medir la temperatura del agua del motor.
  - Manómetro para medir la presión del aceite lubricante del motor.
  - Tacómetro medidor de revoluciones del motor.
  - Horómetro contador de horas de trabajo del motor.
- Sistema de carga del acumulador: Cargador automático ajustable o de flotación para carga de 60<sup>a</sup>, para mantener la batería a plena capacidad. El circuito eléctrico de la unidad debe contar con un amperímetro para corriente directa con rango adecuado y un fusible de protección. Generador y regulador de voltaje, los cuales llevarán los grupos cuando así se especifique. Se considera satisfactorio si el generador es capaz de reemplazar las pérdidas de carga por el arranque en el acumulador en menos de 30 minutos en operación normal del motor a 25° C ó más.
- Sistema de escape: Debe suministrarse con el motor un silenciador apropiado, con una capacidad volumétrica mínima de 6 a 8 veces la capacidad de los émbolos. El silenciador puede ser de absorción o de paso recto. La supresión de chispas deberá ser máxima.
- Tipo de aspiración: Para motores diesel, los cuales pueden ser de dos tipos:
- Aspiración natural hasta 1,676m (5,500 pies) sobre el nivel del mar.
  - Aspiración por turbocargador arriba de 1,676m (5500 pies) sobre el nivel del mar.

Para nuestro caso se debe tomar la aspiración natural.

## **5.5. EL GENERADOR Y LOS ACCESORIOS.**

### **5.5.1 El Generador.**

El generador deberá ser de tipo sincrónico de corriente alterna de campo giratorio, impulsado a través de un acoplamiento flexible. El generador deberá de ser de tipo regulado externamente, equipado con un excitador sin escobillas.

El aislamiento debe ser Clase B, F o cualquier combinación de los mismos. En ningún caso, el incremento en la temperatura deberá exceder los límites de la norma NEMA para la clase de aislamiento utilizado.

La desviación en la forma de onda no deberá exceder del 5%. El generador deberá cumplir con los límites de la norma NEMA. Se deberá suministrar termopares o RTD'S incrustados en las bobinas. Los encerramientos eléctricos deberán ser apropiados para el ambiente y clasificación del área especificada.

### **5.5.2. Capacidad nominal.**

La capacidad nominal del generador de emergencia será apropiada para alimentar las cargas vitales y ciertos porcentajes de la carga esencial y mantener niveles adecuados de tensión durante el arranque de las mismas. El dimensionamiento inicial del generador debe incluir un 20 por ciento de contingencia, que permita un crecimiento por diseño. Para nuestro caso la capacidad nominal de generador debe ser de 1000 KVA, 800 KW. Ver resultados del análisis de carga para el calculo del generador en el **apéndice A, tabla A-1**

El generador será para uso de emergencia, de 480 voltios, 60 hertz, a un factor de potencia de 0,80 y accionado por motor diesel. Se espera que el generador alcance plena velocidad y este listo para aceptar cargas en un lapso de 10 segundos después del inicio de la señal de arranque del mismo.

### **5.5.3. Los Accesorios.**

- Deberá incluir un regulador de tensión automático del tipo estático e estado solido. No se deberá requerir energía externa desde una batería.
- Cuando se especifique el arranque por ciclos, se deberá suministrar un dispositivo para permitir por lo menos cuatro intentos de arranque de diez segundos de duración, con intervalos de diez segundo. Una señal de alarma deberá ser activada después de una falla en el primer ciclo de arranque; se debe producir un bloqueo con reposición manual, después que se produzcan cuatro intentos infructuoso de arranque. Se suministrara luces indicadoras, las cuales indicaran las condiciones de arranque y bloqueo. Cuando se especifique el arranque por ciclos, las baterías tendrán suficientes capacidad para cinco ciclos completos consecutivos, sin necesidad de recargarlas.
- Cuando se especifique un cargador automático estático de batería, este deberá tener capacidad para cargar las baterías en ocho horas (carga lenta). El cargador deberá tener un amperímetro dc, un voltímetro dc, protección de fusibles, de entrada ac y salida dc, un interruptor de carga rápida/lenta, un sincronizador de compensación de 0 a 24 horas y contactos de alarma para baja tensión de batería. Cuando se especifique un cargador automático estático y por el contrario no se especifique un alternador incorporado al motor, se deberá suministrar un interruptor de transferencia automática, un transformador y los controles para energizar el cargador por la perdida de la tensión normal de entrada, cuando el generador este funcionando.

- Las cajas de conexiones deberán ser de tamaños adecuados y estar ubicadas para permitir un fácil acceso.
- Se deberá dar espacio para los conectores de los tubos o de los cables, un área razonable para manejar el cable con un radio mínimo de doblado de 12 veces el diámetro exterior del cable, conos de esfuerzos “tipo corto para interiores”.
- Los terminales de los cables deberán estar clara y permanentemente identificados.
- Se suministrara una etiqueta en la que se identifiquen todos los detalles del calentador y deberá ir fija permanentemente al estator del generador. También se proporcionara un dispositivo para desconexión local.

## **5.6. PRUEBAS.**

Se debe verificar principalmente que cumpla con la capacidad del equipo requerida, así como con las pruebas determinantes sobre su comportamiento de operación, las cuales deben efectuarse en fábrica o en el lugar de su instalación una vez terminada ésta en su totalidad. Estas comprobaciones o pruebas se harán conjuntamente por el personal del proveedor y el personal de la empresa, que para el caso se designe.

### **5.6.1. Pruebas en fábrica.**

- Precalentar el motor a una temperatura de 60°C (140°F), parándolo enseguida.
- Arranque inicial con carga de 75% de su capacidad solicitada, con previa determinación y ajuste de acuerdo a la altura para la cual fue requerida la planta, verificando el tiempo de estabilidad del voltaje y frecuencia.



- Aplicar cargas variables dentro del rango de 75-100%, con una periodicidad de tiempo e intensidad dentro de lo normal.
- Duración de la prueba: 1 hora.
- Aplicar la carga al 100% durante 2 horas.
- Tomar lecturas de instrumentos indicadores cada 10 min.
- En las pruebas se debe observar que el comportamiento del motor y del alternador sea normal de acuerdo a las especificaciones de fábrica.
- Debe verificarse las veces que se considere necesario.
- Recabar certificado referente a la capacidad.

#### **5.6.2. Pruebas en el lugar de instalación.**

- Precalentar el motor a una temperatura de 60°C (140°F), parándolo enseguida.
- Verificar el tiempo en segundos de arranque del motor; éste debe estar entre 5 y 20 seg.
- Verificar el tiempo en segundos de restablecimiento total de la energía de emergencia a partir de la interrupción.
- Verificar la frecuencia inicial, con todas las diferentes cargas aplicadas durante las pruebas.

- Verificar la tensión iniciada en el voltímetro del equipo, comparando éste con otro voltímetro.
- Verificar la carga en Amperes, para determinar el porcentaje de carga aplicada con relación a la capacidad requerida, comprobando también el funcionamiento del amperímetro.
- Verificar la tensión con carga balanceada y desbalanceada.
- Verificar la estabilidad de tensión con carga balanceada, con diferencia máxima de 5% entre fases.
- Verificar el tiempo en minutos en que la temperatura del sistema de enfriamiento sube de 60°C (140°F) a un rango normal, para determinar el funcionamiento del termostato cuando es de refrigeración por agua.
- La presión del lubricante debe verificarse en el arranque y cuando la máquina alcanza su temperatura normal de trabajo.
- Verificar la temperatura del motor y del alternador con las diferentes cargas aplicadas.
- Verificar el funcionamiento del cargador del acumulador eléctrico.
- Verificar la presión hidráulica de arranque especificada por el fabricante, así como su efectividad de acción.

- Verificar el funcionamiento del arranque neumático, de la presión del compresor, válvulas, y de su efectividad de acción.
- Durante las diferentes condiciones de trabajo aplicadas, verificar la temperatura del lubricante; ésta debe estar de acuerdo a las especificaciones del fabricante cuando exista termómetro para el caso.
- Verificar la salida de gases de escape desde el arranque y en las diferentes condiciones de carga aplicada.
- Cuando se disponga de carga suficiente para poder aplicarse a la capacidad máxima del equipo requerido, la prueba se efectuará continuamente durante 2 horas tomando anotación de lecturas de los instrumentos cada 10min y verificando también la temperatura del alternador.
- Verificar el funcionamiento del selector de arranque en todas sus posiciones.
- Verificar el arranque con simulación de falla de energía normal.
- Verificar el tiempo de retardo de transferencia y de paro del motor al restablecimiento de la energía normal; la transferencia debe ser en 2 minutos, y de 5 minutos cuando esté funcionando el motor en vacío.
- Comprobar el funcionamiento de los dispositivos de protección y las luces indicadoras del bloqueo.
- Verificar la efectividad de la amortiguación de vibración del equipo en funcionamiento con y sin carga.

- Recabar un juego de catálogos de partes e instructivos de fábrica, así como un juego de planos reales de circuitos eléctricos y dibujos; un juego quedará en el área correspondiente o el área responsable de la conservación y el mantenimiento de la unidad y el otro formará parte del expediente del equipo que con todas sus características deberá estar en la Subdirección de Conservación y Mantenimiento.
- Cuando la prueba de capacidad al 100 % durante 2 horas ha sido ya efectuada en fábrica, puede ser omitida en el lugar de instalación.

## **5.7. CONSIDERACIONES PARA LA SELECCIÓN**

### **5.7.1. Caída de Tensión**

En general la capacidad nominal en KW de la máquina será seleccionada de forma tal que el arranque de cualquiera de las cargas, o etapas de carga no cause una caída de tensión por debajo del 80 por ciento de la tensión nominal de operación de la barra, la cual es aproximadamente 465 voltios. En caso donde el requerimiento de arranque de los motores dé como resultados un generador de un tamaño mayor de lo requerido por la carga conectada, se considera el método de arranque por etapas. Para este estudio se toma el tiempo de arranque de los motores por etapas de 20 segundos.

### **5.7.2. Sistema de Puesta a Tierra.**

Los devanados del generador se conectaran en estrella. Cuando se alimenten cargas de fase a neutro, se requiere que el sistema sea neutro corrido sólidamente puesto a tierra. Los sistemas de 480 voltios pueden tener puesta a tierra de alta resistencia o no estar puesto a tierra cuando no se utilicen un conductor neutro para alimentar cargas monofásicas. Se utilizarán switches de transferencia automática,

controles de transferencia automática, relés, de acuerdo a lo indicado en la Especificación [PDVSA-N-201](#).

### **5.7.3 Re-arranque en secuencia.**

En los casos que las condiciones del proceso lo permita, la mejor forma de mantener bajos los requerimientos de arranque es desarrollar una secuencia para arrancar los motores por etapas, comenzando por los motores mas grandes. El intervalo normal entre etapas es entre 10 y 20 segundos. Para este estudio se tomo el tiempo de 20 segundos, aunque se puede disminuir el intervalo de tiempo a un mínimo aceptable.

### **5.7.4 Estrategia de Control.**

Se debe proporcionar controles del sistema de acuerdo a lo establecido en la Especificación [PDVSA-N-201](#), Sección 20.

## **5.8. SISTEMA DE TRANSFERENCIA AUTOMATICA.**

### **5.8.1. Especificaciones.**

Ante un fallo en el suministro eléctrico, las conmutaciones automáticas de fuentes permiten asegurar la continuidad de servicio de una instalación, con un mínimo tiempo de interrupción, mediante la desconexión de los circuitos alimentados por la fuente de suministro normal, y su inmediata conexión a otra fuente que esté disponible.

La maniobra de conexión y desconexión debe realizarse mediante interruptores automáticos ya que éstos, además, permiten proteger adecuadamente las líneas que

alimentan. Generalmente la instalación se halla conectada a la red de distribución, que es la fuente normal, por medio de un interruptor, mientras que, por otro interruptor puede conectarse a la fuente auxiliar o de emergencia que en nuestro caso es un grupo generador. El suministro normal se realiza desde dos transformadores, por lo que, junto al interruptor del generador y el interruptor del enlace de barras son cuatro los interruptores que han de intervenir en la maniobra.

La maniobra de desconexión de las líneas y posterior conexión al generador se inicia cuando un vigilante de tensión detecta un fallo en el suministro normal. Un controlador automático iniciará la maniobra de conexión a la tensión auxiliar en caso de pérdida total de energía, en el tiempo más breve posible, no pudiendo estar en algún momento ambas conectadas, un enclavamiento mecánico entre los interruptores impide esta posibilidad, lo que hace inevitable el paso por un "cero" de tensión. En caso de pérdida de energía de uno de los dos transformadores se procederá al cierre del interruptor de enlace de barras y el sistema operara con un solo transformador.

### **5.8.2. Suministro.**

El sistema de conmutación automática de fuentes debe suministrarse:

- Como conjuntos terminados preparados para conectarse entre si.
- Como un equipo completo instalado en un armario.

### **5.8.3 Controladores Automáticos.**

Para asegurar que la maniobra se realice con éxito, hay que tener en cuenta las características mecánicas y tiempos necesarios para la maniobra de los mandos eléctricos que accionan los interruptores, verificar que pueden cumplir las órdenes, evitar su solape y repetirlas si se produce un fallo. Estas, y otras funciones

complementarias, las realiza el controlador automático según un programa establecido para cada tipo de conmutación.

La placa del controlador forma un conjunto montado en chapa, preparada para su montaje en la puerta del armario de distribución o mediante una cubierta abisagrada, en un armario modular. El frontal debe incluir el esquema de la conmutación y rótulos en los pulsadores indicando su función. La ejecución estándar representa la fuente de suministro normal como dos transformador en el lado izquierdo, y la fuente de suministro auxiliar como un generador en el lado derecho. Existen cuatro tipos de controladores según el tipo de interruptor que se va a maniobrar, el tipo de conmutación y las funciones complementarias que desee realizar. El controlador debe incorporar el enclavamiento eléctrico entre los interruptores, según el tipo de conmutación, para evitar maniobras manuales erróneas. Un selector-llave permite elegir el modo de funcionamiento. En modo automático las maniobras son ordenadas por un pequeño autómatas según unos programas estándar correspondientes al tipo de conmutación. Los controladores debe suministrarse con bornes numerados para conectar a los de igual numeración en los interruptores

#### **5.8.4 Características generales.**

El frontal dispone de pulsadores pilotos que indican el estado de los interruptores y permiten la maniobra cuando el selector llave está en posición Manual.

Los pilotos ámbar indican que tensión está disponible.

Los pulsadores luminosos indican:

- Verde: El correspondiente interruptor está abierto.
- Rojo: El correspondiente interruptor está cerrado.
- Verde y Rojo: El correspondiente interruptor está disparado.

El selector-llave permite elegir el modo de funcionamiento:

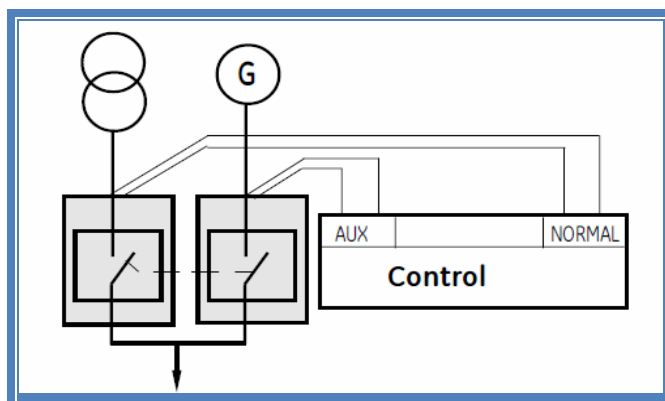
- Automático: Los pulsadores quedan anulados.
- Manual: Permite maniobras con los pulsadores.
- Bloqueo: El sistema no realiza ni permite maniobras.

La llave puede extraerse en cualquiera de las tres posiciones.

- El disparo por sobreintensidad de un interruptor impide cualquier maniobra hasta el rearme manual de los interruptores.
- El controlador puede recibir una orden externa de "Paro de Emergencia" mediante un contacto libre de potencial de un pulsador de alarma (con retención) o un relé diferencial. El sistema mantiene los interruptores abiertos mientras este contacto esté cerrado.

### 5.8.5 Alimentación del sistema.

El controlador no necesita fuente auxiliar. La pérdida de la tensión de red no implica la apertura del interruptor, que permanecerá cerrado hasta el inicio de la transferencia cuando la tensión auxiliar esté disponible. La alimentación se realiza por pequeños interruptores de protección marcados como NORMAL y AUX, para recibir tensión (220Vca) tomada aguas arriba de los interruptores de la fuente normal y auxiliar, para alimentar el sistema y realizar las maniobras.

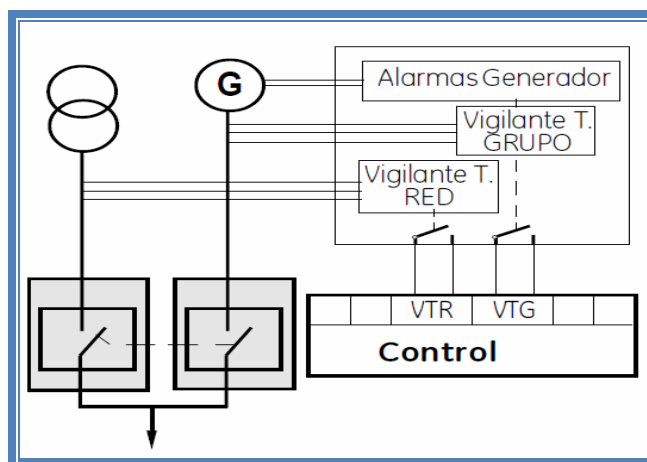


**Figura 5.1.** Alimentación del sistema de conmutación.



El controlador dispone de bornes para entrada de señales de presencia de tensión, que se suministran puenteados con hilo negro y rojo. Estos puentes deben retirarse para conectar los contactos de respectivos vigilantes de las tensiones de suministro. Como opción, uno o ambos vigilantes pueden suministrarse integrados en el controlador.

Cuando la fuente auxiliar es un generador, normalmente, estos vigilantes suelen estar incorporados en el equipo de maniobra del grupo para realizar el arranque automático. Además suelen disponer de sistemas de control de frecuencia, la excitación, presión de aceite, temperatura, y otras seguridades mecánicas. Estos vigilantes son accesibles por dos contactos libres de potencial, que cierran o abren según estén o no disponibles las respectivas tensiones.

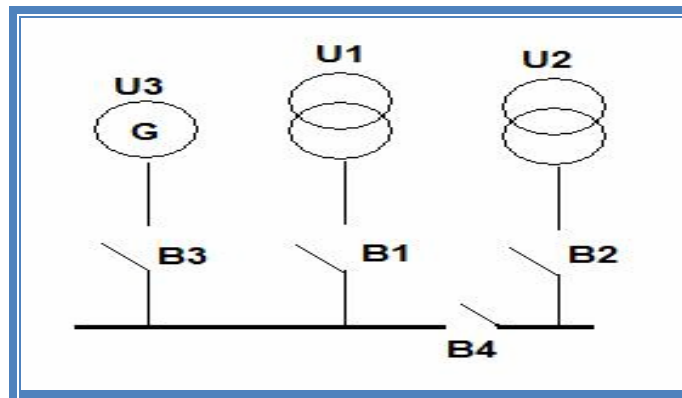


**Figura 5.2.** Entradas de señales de tensión.

#### 5.8.6. Procedimiento para alimentar cargas.

El suministro se realiza por dos transformadores que le entregan potencia a dos barras independientes. Cada acometida puede alimentar también al otro circuito. El

interruptor de acople o de enlace de barra solo puede cerrar cuando algunos de los otros dos este abierto. El interruptor del generador de emergencia solo se accionara cuando los interruptores de los transformadores estén abiertos y posterior debe cerrarse el interruptor de acople o enlace de barra.



**Figura 5.3.** Procedimiento para la transferencia.

**Tabla 5.2.** Procedimiento para la transferencia.

	B1	B2	B3	B4
STOP	0	0	0	0
+U1+U2-U3	1	1	0	0
+U1-U2+U3	1	0	0	1
-U1+U2-U3	0	1	0	1
-U1-U2+U3	0	0	1	1

### 5.8.7. Placas de control.

En la parte trasera del controlador están los bornes para conectar a los de igual numeración del regletero de los interruptores y para las funciones complementarias. Los bornes para los vigilantes de tensión, se suministran puenteados, el puente debe retirarse para conectar los contactos de los respectivos

vigilantes de las tensiones de las fuentes, o los contactos de tensión disponible del generador.

## CONCLUSIONES

- El sistema eléctrico del llenadero de la Planta de Distribución de Combustible Puerto La Cruz, depende básicamente de la alimentación de patio de celdas de refinería, al no poder obtener esta fuente de energía, el equipo Generador entra en marcha alimentando las cargas mas criticas del sistema.
- Para el estudio de Flujo de carga de este sistema y bajo la condición normal de operación, las tensiones de servicio y utilización de todas las barras y cargas del sistema se encuentran dentro de los rangos recomendados, según lo descrito en las normas ANSI C84.1.
- Bajo las condiciones de operación en situación de contingencia, el sistema puede operar con un solo transformador de 1,5 MVA; 13.8/0.480 KV que alimenta el sistema eléctrico del llenadero de Guaraguao.
- Según los resultados obtenidos del estudio de arranque de motores, en las condiciones de operación dadas, los valores de caída de tensión de las barras no superan el 15% limite; de igual manera no se supera el 20 % en los terminales del motor, por lo que no se hace necesario un sistema de arranque a tensión reducida o el ajuste del taps de los transformadores.
- De acuerdo a los resultados arrojados por el estudio de corto circuito las máximas corrientes de corto circuito trifásicas registradas en las barras NA00, NA01 y NA02 de 480 voltios, que fue en el caso de operación de contingencia del sistema, es de 30.3 KA, 30.3 KA y 31,9 KA respectivamente, por lo que las barras deben tener un valor nominal de corto circuito de 42 KA (según la Guía de Ingeniería PDVSA 90619.1054. Control de Motores)



- 
- Para la puesta en marcha de las cargas de los servicios auxiliares y las bombas de despacho de combustible del llenadero de Guaraguao, el generador de emergencia debe tener una capacidad nominal de 1000 KVA, 800 KW, 480 voltios, 60 hertz, a un factor de potencia de 0,80. El cual cumple con los criterios de ser igual o mayor que la carga rodante, y la caída de tensión en el arranque satisface el 20% indicado.

## RECOMENDACIONES

- Adquirir un Generador Diesel con más capacidad del que existe actualmente (350 KVA), que cumplan con las siguientes características: 1000 KVA, 800 KV de tipo sincrónico a un factor de potencia de 0,8.
- Se recomienda la sustitución de la barra NA00 por otra que contenga las mismas capacidades de corriente nominal, corriente de corto circuito y voltaje de las barras NA01 y NA02.
- Apoyado por el estudio de corto circuito, se recomienda realizar un estudio de coordinación de protecciones.
- Los trabajos eléctricos que se realicen no deben afectar el normal funcionamiento del llenadero, por lo que aquellas labores que afecten el normal funcionamiento, deben coordinarse previamente y realizarse en horarios no hábiles.
- El equipo Generador que se encuentra actualmente puede ser colocado en el edificio administrativo de la Gerencia de la planta, previo estudio de ingeniería.
- La maniobra de conexión y desconexión del equipo Generador debe realizarse mediante interruptores automáticos ya que éstos, además, permiten proteger adecuadamente las líneas que alimentan.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Rondon, L. (2005) **“Estudio del sistema eléctrico del llenadero de la refinería P.L.C. para la operación de emergencia utilizando un generador auxiliar”**
2. Larez. D. (2006) **“Diseño del sistema eléctrico perteneciente al área de recolección y bombeo de agua al centro operativo San Joaquín, ubicado en el distrito Gas Anaco”**. Trabajo de grado presentado ante la universidad de oriente como requisito parcial para obtener el título de ingeniero electricista.
3. IEE Std 446-(1995). **“Recommended Practice for Emergency and Standby Power System for Industrial and Comercial Applications”**
4. CHAPMAN, S. J. (1994). **“Máquinas eléctricas”**, Editorial McGraw Hill, México.
5. IEEE (1998). **“Tutorial IEEE de Protección de Generadores Sincrónicos”**, The Power Engineering Education Committee N.Y, U.S.A.
6. FITZGERALD, A. (1995) **“Máquinas Eléctricas”**. Quinta edición. Editorial McGraw - Hill.
7. KOSOW, I. (1982). **“Máquinas eléctricas y transformadores”**. Edición en español, editorial Reverte, S.A.
8. WAYNE B. (2000) **“Manual del Motor Eléctrico”**. Editorial McGraw-hill. Caracas, Venezuela.



- 
9. García, J. (1999) “**Instalaciones Eléctricas en media, y baja tensión**”. 1ra Edición, Editorial Paraninfo, España.
  10. STEVENSON, JR. (1994) “**Análisis de Sistemas Eléctricos de Potencia**”. 2da Edición, Mc Graw – Hill, México.
  11. INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. (1990). **IEEE Recommended Practices for Electric Power Systems in Commercial Buildings**. IEEE Std. 241.
  12. CUADERNO TECNICO N° 158 SCHNEDER ELECTRIC ESPAÑA S.A, (2000). **Cálculo de corrientes de cortocircuito**. Versión Española.



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

<b>TÍTULO</b>	<b>“ADECUACIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE EMERGENCIA DE LA PLANTA DE DISTRIBUCIÓN DE COMBUSTIBLE – PUERTO LA CRUZ”</b>
<b>SUBTÍTULO</b>	

**AUTOR (ES):**

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>CÓDIGO CULAC / E MAIL</b>
<b>León G. Juan F.</b>	<b>CVLAC:15.416.839 E MAIL: juanfleon82@hotmail.com</b>

**PALÁBRAS O FRASES CLAVES:**

**Generador de Emergencia**

**Flujo de Carga**

**Analisis de Carga**

**Corto circuito**

**Etap Power Station**

**Transferencia Automatica**

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

ÀREA	SUBÀREA
Ingeniería y Ciencias Aplicadas	Electricidad

**RESUMEN (ABSTRACT):**

**En el siguiente trabajo se realizó un estudio para la adecuación del sistema eléctrico de la Planta de Distribución de Combustible – Puerto La Cruz. Durante un corte total de energía, un generador auxiliar Diesel puede garantizar el suministro de energía a equipos que no pueden ser interrumpido su alimentación. Se realizó el levantamiento del sistema eléctrico para así conocer detalladamente la carga instalada, posteriormente se realizó un estudio de análisis de carga, con la herramienta computacional ETAP 5.03 se realizó el estudio de flujo de carga completo tomando en cuenta las distintas condiciones de operación que puede tomar el sistema y los estudios de arranque de motores y cortocircuito para hacer un estudio más detallado del sistema. Así como también, se realizaron propuestas para el dimensionamiento de un nuevo equipo de generación de emergencia y para el sistema de transferencia automática.**

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

<b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>	<b>ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL</b>				
<b>Gutiérrez Alexander</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS X</b>	<b>TU</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Suarez Luis</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU X</b>	<b>JU</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Mercado Verena</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
<b>Rodríguez Pedro</b>	<b>ROL</b>	<b>CA</b>	<b>AS</b>	<b>TU</b>	<b>JU X</b>
	<b>CVLAC:</b>				
	<b>E_MAIL</b>				
	<b>E_MAIL</b>				

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

<b><u>2009</u></b>	<b><u>12</u></b>	<b><u>10</u></b>
<b>AÑO</b>	<b>MES</b>	<b>DÍA</b>

**LENGUAJE: SPA**

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

ARCHIVO (S):

NOMBRE DE ARCHIVO	TIPO MIME
	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.

ESPACIAL: \_\_\_\_\_ INELMECA \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TEMPORAL: \_\_\_\_\_ 10/2008-06/2009 \_\_\_\_\_ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Electricista

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre-Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Eléctrica.

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui

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

**DERECHOS:**

**“Los Trabajos de Grado son de Exclusiva Propiedad de la Universidad de Oriente y Solo Podrán ser Utilizados para Otros Fines con el Consentimiento del Consejo de Núcleo Respectivo, el Cual Participara al Consejo Universitario”.**

**León G. Juan F.**

**AUTOR**

**Suarez Luis**

**TUTOR**

**Mercado Verena**

**JURADO**

**Rodríguez Pedro**

**JURADO**

**Mercado Verena**

**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**