

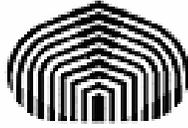
**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DESARROLLO DE UNA GUÍA PARA LA SELECCIÓN Y  
ESPECIFICACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE  
EMERGENCIA**

**REALIZADO POR:  
MANUEL ANTONIO SOSA CÁRDENAS**

**INFORME FINAL DE PASANTÍA  
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR COMO  
REQUISISTO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**SARTENEJAS, ABRIL DE 2007**



**UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DESARROLLO DE UNA GUÍA PARA LA SELECCIÓN Y  
ESPECIFICACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE  
EMERGENCIA**

**REALIZADO POR:**

**MANUEL ANTONIO SOSA CÁRDENAS**

**TUTOR ACADÉMICO: ING. ROBERTO ALVES**

**TUTOR INDUSTRIAL: ING. JOSÉ JULIÁN VÁSQUEZ**

**INFORME FINAL DE PASANTÍA  
PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR COMO  
REQUISISTO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTRICISTA**

**SARTENEJAS, ABRIL DE 2007**



UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR  
**DEX** Decanato de Extensión

Coordinación de Cooperación Técnica y Desarrollo Social

Fecha: 04/05/2007

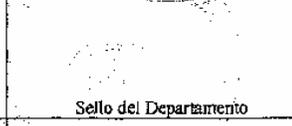
ACTA DE EVALUACIÓN DEL PERÍODO JUL-DIC 2006

TIPO DE PASANTÍA: LARGA  INTERMEDIA

Título: DESARROLLO DE UNA GUÍA PARA LA SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

Apellidos y Nombre del Estudiante: GOSA C. MANUEL A.

Carnet N°: 01-34471 Carrera: INGENIERÍA ELÉCTRICA

CALIFICACIÓN	APROBADO <input checked="" type="checkbox"/>	REPROBADO <input type="checkbox"/>
TUTOR ACADÉMICO	Firma: <u>[Firma]</u> Nombre: <u>ROBERTO ALVAREZ</u> C.I.: <u>6328431</u>	 Sello del Departamento  Sello de la Coordinación de Carrera  Sello del Departamento
TUTOR INDUSTRIAL	Firma: <u>—</u> Nombre: <u>NO - PRESENTE</u> C.I.: <u>—</u>	
JURADO	Firma: <u>[Firma]</u> Nombre: <u>JOSE H. VIVAS</u> C.I.: <u>10.864-372</u>	
Artículo 15 Parágrafo Único. Reglamento de los Cursos en Cooperación: Cuando el jurado examinador considere por unanimidad que el Trabajo realizado por el pasante es EXCEPCIONALMENTE BUENO, lo hará constar en forma razonada en el Acta		Validación de CCTDS (Firma y Sello)

Nota: En caso de inasistencia del Tutor Industrial, el jurado examinador quedará conformado por el Tutor Académico y Jurado; y se solicitará al estudiante la evaluación del Tutor Industrial como referencia, en este caso favor colocar No-Presente en el Acta

*Puerta de Comunidad a Comunidad*

# **DESARROLLO DE UNA GUÍA PARA LA SELECCIÓN Y ESPECIFICACIÓN DE SISTEMAS DE GENERACIÓN DE EMERGENCIA POR MANUEL ANTONIO SOSA CÁRDENAS**

## **RESUMEN**

Los sistemas de generación de emergencia representan un elemento eléctrico importante en sitios que por fallas del sistema de alimentación principal se atente contra la vida de personas, o se interrumpan procesos que no puedan detenerse por riesgo a dañar productos o puedan crear algún tipo de riesgo. Además, estos sistemas pueden ser integrados para que suministren potencia a cargas que por ser interrumpidas generen pérdidas económicas.

Los elementos eléctricos y mecánicos que constituyen el grupo moto-generador, son piezas que deben ser perfectamente especificadas y seleccionadas para el perfecto funcionamiento del mismo, puesto que este debe estar en servicio cuando sea requerido y sin previo aviso, y reestablecer el servicio durante la falla o al menos hasta que se eliminen todos los peligros por detención de los procesos.

La potencia nominal de las cargas y la potencia de arranque de las mismas son las variables que determinan la capacidad del generador. La potencia de arranque es la variable más importante puesto que esta es la que el generador debe soportar una vez que puede entrar en servicio, y además, genera una caída de tensión en los bornes del generador que puede dejar fuera de funcionamiento a las cargas vitales de un sistema.

Este trabajo se desarrolló en la empresa INELECTRA s.a.c.a., con el objetivo de optimizar los procesos de oferta de los proyectos, sin utilizar un mayor número de horas hombres en programas complicados para una etapa corta de tiempo.

Este trabajo está dedicado en especial a DIOS, a mi PAPÁ, MAMÁ y HERMANA, quienes me han apoyado a lo largo de toda la carrera, y en todos los momentos de mi vida.

Además, a mis ABUELOS quienes me han aportado tanto durante todos estos años, y en especial a mi abuelo Carlos V. Cárdenas quién fue mi inspiración para estudiar la carrera de ingeniería eléctrica.

## **AGRADECIMIENTOS Y RECONOCIMIENTOS**

Con esta página deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma me han ayudado en la realización de este trabajo.

En especial a DIOS y a mis PADRES, quienes me han brindado la oportunidad de poder vivir, haber sido educado, y de poder lograr este trabajo.

A mi HERMANA, quien me ha apoyado y guiado durante toda mi vida.

A mis ABUELOS, TÍOS, PRIMOS y FAMILIARES, por todos los ratos que pasamos juntos y su apoyo incondicional, en especial el de mi abuelo BEBO por la inspiración hacia la electricidad, y por apoyarme durante todo mi trabajo en la empresa.

A los PANAS de IE: Sara, Nathy, Leo, Daniel F., Daniel A., Mats, Verena, por todos aquellos momentos que estudiamos juntos. También a todos aquellos con los que se compartió un salón de clases o un rato en la sala de lectura.

A mis amigos de otras carreras y del colegio quienes siempre me han brindado un apoyo incondicional.

A Cristi, por todo el apoyo durante el trabajo y la motivación en todo este tiempo.

Por último, quiero agradecer especialmente al ING. JOSÉ JULIÁN VÁSQUEZ y al ING. ROBERTO ALVES por el apoyo brindado durante todo el trabajo, por su tiempo y por su comprensión en cualquier momento de duda; También quiero agradecer a la UNIVERSIDAD SIMÓN BOLÍVAR y sus profesores por todos los conocimientos que me han aportado, y a la empresa INELECTRA s.a.ca. y su personal, por brindarme la oportunidad de trabajar en una empresa llena de conocimientos y experiencia, en un ambiente cálido de trabajo.

# ÍNDICE

<b>Acta de Evaluación</b>	<b>iii</b>
<b>Resumen</b>	<b>iv</b>
<b>Dedicatoria</b>	<b>v</b>
<b>Agradecimientos y Reconocimiento</b>	<b>vi</b>
<b>Índice</b>	<b>vii</b>
<b>Índice de Tablas</b>	<b>x</b>
<b>Índice de Figuras</b>	<b>xi</b>
<b>CAPÍTULO 1. Introducción</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. Descripción de la Empresa</b>	<b>5</b>
1.1 Historia de la Empresa	5
2.2 Misión de la Empresa	6
2.3 Visión de la Empresa	6
2.4 Estructura de la Empresa	7
2.5 Organigrama	7
2.5.1 Organigrama General	7
2.5.2 Organigrama de Proyectos	9
2.6 Departamento de Ingeniería Eléctrica	10
<b>CAPÍTULO 3. Desarrollo Teórico</b>	<b>13</b>
3.1 Conceptos Generales	13
3.2 Grupo Moto-Generador	20
3.2.1 Componentes	21
3.2.2 Descripción General de Funcionamiento	22

3.3	Modelo Equivalente de la Máquina Síncrona	23
3.4	Cálculo de la Caída de Tensión en el Generador	26
3.4.1.	Según IEEE	26
3.4.2.	Según NEMA	29
<b>CAPÍTULO 4. Desarrollo de Metodologías para la Especificación y Selección del grupo</b>		
	<b>Moto-Generador</b>	<b>31</b>
4.1	Criterios de Selección del Motor	31
4.1.1	Sistema de Arranque	31
4.1.2	Tiempo de Arranque	32
4.1.3	Gobernadores	33
4.1.4	Tipo de Combustible	34
4.1.5	Tiempo de Respaldo	35
4.2	Criterios de Selección del Generador	35
4.2.1	Voltaje	35
4.2.2	Aislamientos	36
4.2.3	Devanados y Conexiones	37
4.2.4	Excitación	39
4.2.5	Eficiencia	40
4.2.6	Puesta a Tierra	42
4.2.7	Protecciones	42
4.2.8	Interruptores de Transferencia	43
4.2.9	Circuitos	44
4.2.10	Capacidad del Generador	44

4.3	Otras Consideraciones	50
4.3.1	Ubicación	50
4.3.2	Ambientales	53
<b>CAPÍTULO 5. Herramienta Computacional Desarrollada</b>		55
5.1	Introducción	55
5.2	Hoja de Cálculo	55
<b>CAPÍTULO 6. Comparación de Metodologías en el Cálculo de Capacidades para Generadores</b>		60
6.1.	Resultados	60
6.2.	Análisis de los Resultados	68
<b>CAPÍTULO 6. Conclusiones y Recomendaciones</b>		70
7.1	Conclusiones	70
7.2	Recomendaciones	71
<b>Bibliografías</b>		72
<b>Anexos</b>		74
A.-	Esquemas de Excitación	74
B.-	Métodos de Arranque del Motor Diesel	76
C.-	Tablas Utilizadas	78
D.-	Gráfica de Aproximación de Potencia por Arranque en Etapas	82
E.-	Oferta de un Generador CATERPILLAR	83
F.-	Hoja de Especificaciones del Generador Utilizado	93
G.-	Ejemplo de Cálculo	99

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Diferencias entre Combustibles	34
Tabla 4.2. Voltajes Nominales Típicos	36
Tabla 4.3. Temperatura Correspondiente a los Aislamientos	41
Tabla 6.1. Datos del Generador Ofertado por VENEQUIP	60
Tabla 6.2. Tabla de caída de tensión y de potencia de arranque por VENEQUIP	61
Tabla 6.3. Tabla de caída tensión y potencia arranque por el modelo planteado	62
Tabla 6.4. Lista de Cargas de Emergencia Utilizadas en el Proyecto	64
Tabla 6.5. Potencias Demandadas por las Cargas de Emergencia	65
Tabla 6.6. Potencia de Arranque de las Cargas de Emergencia	65
Tabla 6.7. Potencia de Arranque de los Motores Agrupados en Etapas	66
Tabla 6.8. Datos del Generador Utilizado	67
Tabla 6.9. Caída de Tensión por Potencia de Arranque para el Generador Utilizado	67
Tabla C.1. Potencia a Rotor Bloqueado	78
Tabla C.2. Eficiencia Nominal a Plena Carga, para Motores de 600 v y Menores	79
Tabla C.3. Métodos y Características del Arranque de Voltaje Reducido	80
Tabla C.4. Tolerancias Típicas de Voltaje y Frecuencia	81
Tabla G.1 Datos de Cargas	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Organigrama General de la Empresa	8
Figura 2.2 Organigrama del Proyecto	9
Figura 3.1. Esquema de un Sistema Ininterrumpido de Potencia	15
Figura 3.2. Foto de Bancos de Baterías	15
Figura 3.3. Generador de Emergencia	16
Figura 3.4. Interruptor de Transferencia Automática (ATS)	17
Figura 3.5. Esquema Básico de una Máquina Síncrona Trifásica	23
Figura 3.6. Circuito Equivalente de la Máquina Síncrona de Polos Salientes	24
Figura 3.7. Diagrama Fasorial de la Máquina Síncrona de Polos Salientes	25
Figura 3.8. Circuito Equivalente de la Máquina Síncrona de Rotor Liso	25
Figura 3.9. Diagrama Fasorial de la Máquina Síncrona de Rotor Liso	26
Figura 3.10. Modelo Equivalente de la Máquina Síncrona para Calcular mayor Caída de Tensión por el Arranque de Motores	27
Figura 5.1. Hoja para el Cálculo de la Potencia Demandada en Estado de Emergencia	56
Figura 5.2. Hoja para el Cálculo de la Potencia de Arranque de Todos los Motores Arrancando Simultáneamente	57
Figura 5.3. Hoja para el Cálculo de la Potencia de Arranque por Etapas	58
Figura 5.4. Hoja para Introducir los Parámetros del Generador y Rango de Potencias de Arranque	58
Figura 5.5. Hoja que Muestra la Gráfica de Caída de Tensión vs. La Potencia de Arranque	59

Figura 6.1. Caída de Tensión por VENEQUIP y por el Modelo Equivalente	63
Figura 6.2. Curva de Caída de Tensión por Potencia de Arranque del Generador Utilizado (metodología desarrollada)	68
Figura A.1 Generador Auto-excitado	74
Figura A.2 Generador Excitado Separadamente o por Imán Permanente	75
Figura B.1. Arranque por Aire Comprimido	76
Figura B.2. Arranque por Baterías	77
Figura D.1. Gráfica de Compensación por el Arranque en Etapas de Motores	82
Figura G.1 Gráfica de Caída de Tensión del Generador Utilizado en el Ejemplo de Cálculo	101
Figura G.2. Gráfica de Compensación por Arranque Escalonado de las Cargas	103

# **CAPÍTULO 1.**

## **INTRODUCCIÓN**

Para suplir las cargas que se deben mantener encendidas cuando falle la alimentación del sistema eléctrico de una industria, centro comercial, oficina, hospital u otro lugar que requiera evacuar personas o mantener encendidos procesos vitales que por parada atenten contra la vida de personas, se debe contar con un sistema de generación de emergencia de energía eléctrica (Grupo Moto-generator, UPS's, Baterías Estáticas, etc.) que en el menor tiempo posible sea restablecido el servicio y se mantenga durante los procesos requeridos o duración de la falla.

Debido a la importancia de estos sistemas, se deben especificar y dimensionar adecuándose a las características y requerimientos de cada proyecto. En la fase de licitación para obtener un proyecto se deben hacer estudios aproximados para determinar el costo de este en el menor tiempo posible, por lo tanto, la compañía INELECTRA s.a.c.a. busca obtener herramientas de bajos costos y de simple funcionamiento para poder pre-dimensionar equipos eléctricos. En este caso se realizó una guía que contiene los pasos para especificar un moto-generator de emergencia en su forma básica, además se realizó una herramienta computacional en el programa Excel de Microsoft que aproxima la caída de tensión en los bornes del generador ante el arranque de motores y otras cargas.

Este trabajo tiene como objetivos disponer de una herramienta que facilite y unifique los procesos de selección y dimensionamiento de los equipos de un sistema de generación de

emergencia, mediante el establecimiento de una secuencia organizada de pasos y requerimientos utilizando criterios e información provenientes de normas, clientes y fabricantes.

Se persigue incorporar los conceptos básicos y generales normalmente usados para los sistemas de generación de emergencia y tener integrada toda la información requerida y necesaria para su selección. Asimismo, se incorporan herramientas básicas de cálculo para determinar la capacidad correcta del generador en los distintos proyectos haciendo estudios de caída de tensión para verificar la operación normal de las cargas.

Bajo la siguiente metodología se realizó el trabajo contenido en el siguiente informe. Se comenzó mediante la revisión y comprensión del alcance y los objetivos, luego se investigó en distintos materiales bibliográficos tales como el Internet, Inedones (documentos normalizados de INELECTRA s.a.c.a), pasantías y otros trabajos de grado, información de fabricantes, normas nacionales e internacionales, así como también en libros de texto.

A partir de estos, se identificaron tecnologías actuales y distintos tipos de generadores de emergencia en función del tamaño de la unidad, también el tipo de servicio a prestar, el tiempo de operación, los gobernadores, el tiempo de arranque y el tipo de combustible a utilizar, además de todos los requerimientos eléctricos tales como la tensión de operación, los aislamientos, los devanados y conexiones, la excitación, la eficiencia, la puesta a tierra, las protecciones, los interruptores de transferencia, los circuitos y la capacidad del generador.

Luego, se identificaron los parámetros y ecuaciones relacionadas con la máquina sincrónica lo cual es necesario para determinar la capacidad del generador, y se plantearon unos

pasos a seguir para poder determinar la capacidad o potencia que debe tener la unidad para la operación normal de las cargas de emergencia. También, a partir de estos pasos, se realizó una herramienta computacional que analiza la caída de tensión en los bornes del generador por el arranque de las cargas simultáneamente o agrupados en etapas.

La herramienta computacional se comparó con los resultados arrojados por el programa ETAP y con distintas curvas publicadas por los fabricantes.

El siguiente trabajo no sólo está conformado por esta introducción que se encuentra como capítulo 1, sino se desarrolla toda la metodología de la siguiente forma.

En el capítulo 2, se describe la empresa INELECTRA s.a.c.a. en cuanto a su historia, su misión y visión, además de cómo está conformada y cómo es la metodología del departamento de ingeniería eléctrica. También se mencionan los programas comerciales que se utilizan en este departamento para optimizar los cálculos.

Luego, el capítulo 3 consiste en el desarrollo teórico utilizado para comprender todos los aspectos de los sistemas de generación de emergencia y en especial los grupos moto-generadores. En este se encuentran conceptos básicos utilizados a lo largo de todo el trabajo, así como también la descripción del grupo moto-generador con su funcionamiento, y los fundamentos teóricos planteados por la IEEE y NEMA para calcular la caída de tensión en los bornes del generador por el arranque de cargas, la cual es la principal medida para determinar la capacidad del generador.

En el capítulo 4, se desarrolló la metodología mencionada en forma de una guía que da importancia a los aspectos más importantes en la especificación de un grupo moto-generador. Esta se orienta hacia los aspectos mecánicos, eléctricos y consideraciones de ubicación, a la vez plantea una serie de pasos que sirven para determinar la capacidad de un generador de emergencia.

En el capítulo 5, se desarrolló la herramienta computacional basada en los pasos que se estructuraron en el capítulo anterior para determinar la capacidad del generador. Además, en este capítulo se compararon los resultados arrojados por la herramienta computacional con cálculos realizados con el programa comercial ETAP y con curvas otorgadas por fabricantes de equipos moto-generadores.

Finalmente, en el capítulo 6, se presentan las conclusiones del trabajo realizado, la importancia del cálculo de la caída de tensión en bornes del generador para la determinación de la capacidad de este, la importancia de los aspectos mecánicos, y la comparación de los resultados de la herramienta computacional desarrollada y con los programas comerciales. Además, se plantean recomendaciones para continuar con el trabajo y la utilización de la guía y la herramienta.

## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

INELECTRA S.A.C.A., es una empresa consultora de capital venezolano dedicada a la ingeniería, procura y construcción del sector industrial, tales como: petroleras, petroquímicas, siderúrgicas, servicio eléctrico, transporte masivo, telecomunicaciones, entre otras; ejecutando proyectos de gran envergadura en Venezuela y el exterior. Esta, comprometida con el desarrollo industrial del país tiene como meta aumentar continuamente la participación nacional en sus proyectos, no sólo en ingeniería sino también en la implementación de materiales y equipos.

La filosofía de la empresa está fuertemente orientada al desarrollo y bienestar de sus recursos humanos, y promover la participación de su personal incorporándolos como accionistas para hacerlos partícipes de sus ganancias logrando su identificación con los objetivos corporativos y obteniendo beneficios de su gestión empresarial.

#### **2.1 HISTORIA DE LA EMPRESA.**

INELECTRA S.A.C.A., fue fundada en 1968 y empieza como una empresa especializada en servicios de ingeniería que incorpora posteriormente las áreas de procura y construcción. En la actualidad posee alrededor de unos 1.200 empleados. Su sede principal se encuentra ubicada en la urbanización Santa Paula, Caracas, Venezuela, además, cuenta con otras dos sedes en Caracas, una ubicada en La Urbina torre INECOM y la otra que fue inaugurada recientemente en el centro comercial Macaracuay Plaza. Esta empresa también se ha expandido en el interior del país con

sedes en Puerto La Cruz, Maturín y Maracaibo, así como también en el exterior abriendo sedes en Argentina, Colombia y México, y con la visión de ir a otros continentes.

## 2.2 MISIÓN DE LA EMPRESA

INELECTRA, S.A.C.A. es una organización privada, de estructura accionaria abierta cuya misión es prestar servicios profesionales multidisciplinarios, realizar proyectos y obras integrales de ingeniería con calidad en forma ética y responsable, para los distintos sectores industriales en Venezuela y el exterior, así como otras actividades conexas con dichos servicios. Para ello INELECTRA, S.A.C.A. se identifica con las necesidades de sus clientes para satisfacerlas de manera eficaz y eficiente, logrando niveles de rentabilidad que le aseguren su supervivencia, su crecimiento y contribuyendo al desarrollo tecnológico y económico de la unidad donde operamos, todo esto es cuadrado dentro de la política de excelencia de la Corporación.

Como parte de su filosofía, la corporación está fuertemente orientada al desarrollo y bienestar de sus recursos humanos, y promueve la participación de su personal en los beneficios de su gestión empresarial.

## 2.3 VISIÓN DE LA EMPRESA

Ser vista como la primera empresa venezolana de servicios de ingeniería, procura y construcción, que fije los estándares de la industria con la capacidad de producir dividendos, crecimiento, moral y productividad del empleado, profesionalismo, seguridad, preservación del

medio ambiente, integridad personal, aplicación de nuevas tecnologías, místicas corporativa, cumplimiento con regulaciones, relaciones con la comunidad y ética del negocio.

## 2.4 ESTRUCTURA DE LA EMPRESA

La empresa INELECTRA tiene una organización del tipo matricial. Esta cuenta con un gerente por cada departamento de la empresa, y cada uno esta conformado por un grupo de personas especializadas en esas áreas, esto permite la supervisión de cada uno de los integrantes de ese departamento y la evolución y productividad en los proyectos. Para cada proyecto se asigna un gerente general y se crea un grupo y un líder con los integrantes de los distintos departamentos, de esta manera se puede establecer una mejor coordinación mediante la directa supervisión de cada una de las actividades que se realizan en los proyectos.

## 2.5 ORGANIGRAMA

Debido a la estructura de la empresa, existen dos tipos de organigramas: el Organigrama General y el Organigrama del Proyecto.

### 2.5.1 Organigrama General:

La empresa esta conformada por un grupo o una junta en lo alto de la pirámide y sigue con la presidencia, luego cuenta con divisiones y subdivisiones. Este, está sujeto a posibles cambios. Ver Figura 2.1.

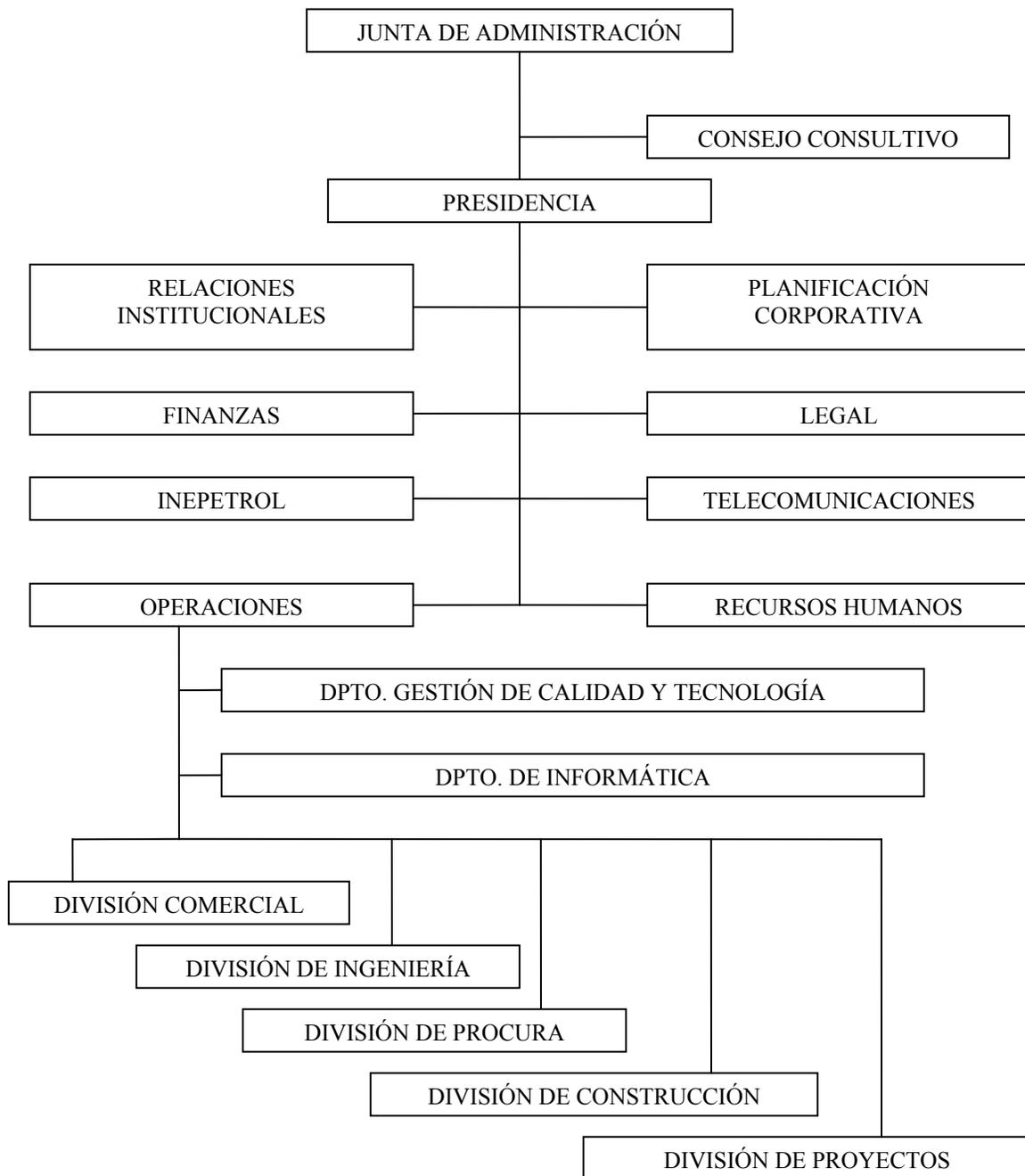


Figura 2.1. Organigrama General de la Empresa.

### 2.5.2. Organigrama del Proyecto:

Los proyectos por lo general están estructurados de la siguiente forma pero están sujetos a posibles modificaciones según el tipo de proyecto o tiempo de duración, también puede sufrir cambios a medida que se van realizando las fases de los proyectos. Ver figura 2.2.

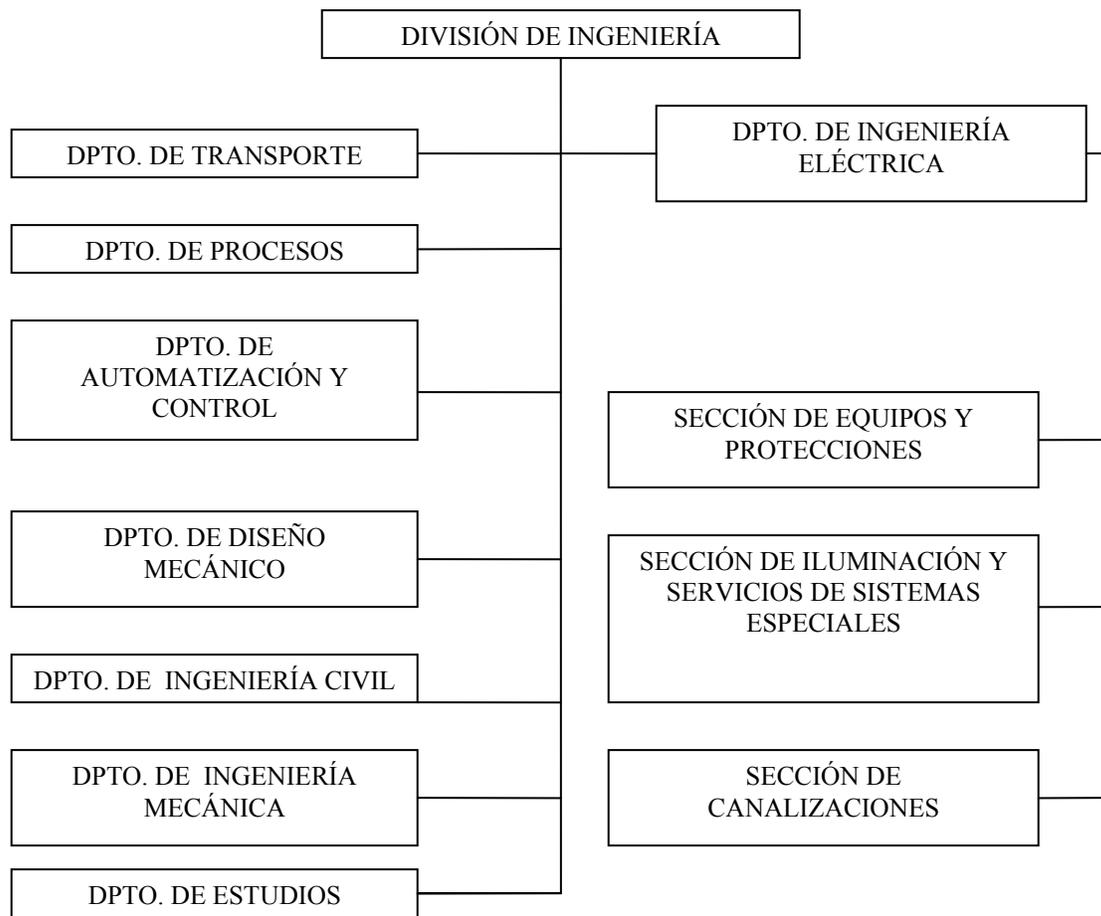


Figura 2.2. Organigrama del Proyecto.

## 2.6 DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA (DIE).

Este departamento de la Empresa tiene como filosofía el trabajo en equipo durante los proyectos y en actividades que deben realizarse para este, por lo tanto todos los integrantes deben interactuar de la mejor manera posible para el buen desenvolvimiento de este.

Las áreas que son cubiertas por este departamento en los proyectos son las siguientes:

- Potencia y Control.
- Iluminación y Servicios.
- Coordinación de Protecciones.
- Alarma y Detección de Incendio y Gas.
- Protección Catódica.
- Puesta a Tierra.
- Protección contra Descargas Atmosféricas.
- Esquemáticos de Control y Cableado
- Diagramas Unifilares.

Además, el departamento cuenta con los siguientes programas y herramientas comerciales o desarrolladas por este para optimizar los trabajos en los proyectos.

- SDE (Sistema de Diseño Eléctrico).
  1. Lista de Cargas.
  2. Lista de Cables.

### 3. Cálculo de alimentadores enterrados (en desarrollo)

- Sisma. (Sistema de Materiales)
- Tierra/ Terram. (Estudio de potenciales en mallas de tierra)
- Iluminación.
- Edsa.
- ETAP.
- AUTOCAD.

Por otro lado, todo el grupo del departamento debe cumplir con ciertas responsabilidades que benefician a la empresa en sí, estas son:

- Apoyo Técnico a los Proyectos.
- Normalización de Procedimientos y Documentos.
- Centralizar la Información Técnica en La Biblioteca:
  1. Catálogos.
  2. Libros.
  3. Documentos de Proyectos.
  4. Ineweb-Intranet.
- Apoyo al Centro de Información.
- Evaluación de Software Especializado.
- Apoyo a la División de Promoción.
- Administración del Recurso Humano:
  1. Asignación.

2. Seguimiento.

3. Adiestramiento.

- Elaboración de Cursos para Adiestramiento.
- Apoyo al Departamento de Gestión de Calidad.
- Apoyo al Departamento de Estimación de Costos.

## **CAPÍTULO 3**

### **DESARROLLO TEÓRICO**

#### **3.1. CONCEPTOS GENERALES**

##### **3.1.1. Sistemas de emergencia:**

Los sistemas de emergencia son aquellos sistemas requeridos por ley y clasificados como tales por ordenanzas municipales, decretos o códigos estatales o cualquier otro órgano gubernamental competente. Estos sistemas están diseñados para suplir automáticamente iluminación y/o fuerza en determinadas áreas críticas que en caso de falla de la alimentación o en caso de fallas de elementos del sistema que suministra, distribuye y controla la fuerza y la iluminación que atenten contra la vida humana.[1]

##### **3.1.2. Sistemas de Respaldo Requeridos por Ley:**

Los sistemas de reserva legalmente requeridos son típicamente instalados para servir cargas, tales como sistemas de calefacción y refrigeración, sistemas de comunicaciones, sistemas de ventilación y extracción de humos, sistemas de drenaje, sistemas de iluminación e industriales, que cuando son interrumpidos por fallas del suministro eléctrico normal, podrían crear riesgos o dificultar las operaciones de extinción de incendio y rescate.[1]

### 3.1.3. Sistemas de Reserva Opcionales:

Los sistemas de reserva opcionales se instalan normalmente para ofrecer una fuente auxiliar de energía eléctrica a instalaciones como edificios comerciales e industriales, granjas y edificios residenciales, para cargas como sistemas de calefacción y refrigeración, sistemas de comunicaciones, sistemas de informática y procesos industriales que, si se interrumpen debido a un corte de energía, podrían causar incomodidades, interrupciones graves de los procesos, daños a los productos o procesos en curso, etc.[1]

### 3.1.4. Sistemas de Alimentación de Energía Eléctrica:

Es el conjunto de equipos y dispositivos que interconectados entre si en forma apropiada, son capaces de tomar energía de una fuente externa transformándola, adaptándola y mejorándola para cubrir requerimientos energéticos de otros sistemas o equipos.

### 3.1.5. Sistemas de Potencia Ininterrumpidos (UPS):

Es aquel sistema que garantiza la continuidad del suministro a una carga crítica después de ocurrir una falla en la alimentación convencional sin que exista algún tiempo de transición pero con un tiempo corto de respaldo. Este se diseña para cargas de CA que no pueden dejar de operar. El sistema esta constituido por: un rectificador/cargador, un inversor, un banco de baterías, un computador estático de transferencia y un conmutador manual de transferencia.

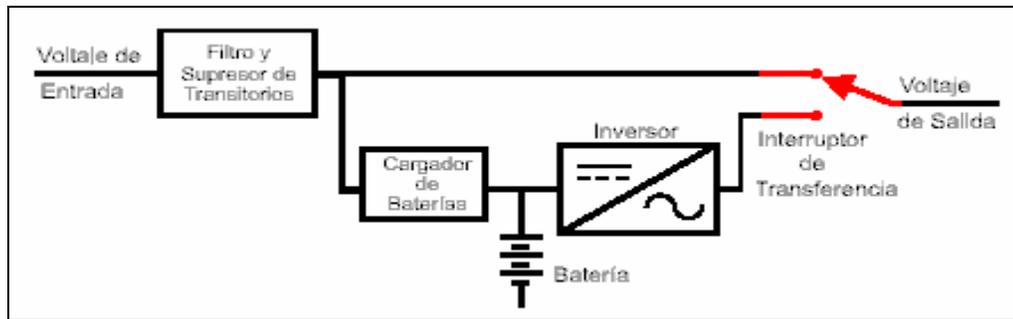


Figura 3.1. Esquema de un sistema ininterrumpido de potencia.

### 3.1.6. Banco de Baterías:

Son un grupo de baterías de tipo ácido o alcalino que garantiza la continuidad del suministro a una carga crítica después de ocurrir una falla en la alimentación convencional sin que exista algún tiempo de transición, deben respaldar por un tiempo mínimo de 1,5 horas sin que la tensión aplicada caiga por de bajo del 87,5 % del nominal. Este se diseña para cargas de CD que deben mantener una operación constante. El sistema esta constituido por: un banco de baterías y un rectificador/cargador.



Figura 3.2. Foto de Bancos de Baterías.

### 3.1.7. Sistemas de Generación de Emergencia:

Es el sistema que garantiza el suministro de potencia a la carga crítica después de ocurrir una falla en la alimentación convencional, existiendo un tiempo de transición pero con un intervalo largo de tiempo de respaldo. Este se diseña para cargas vitales de CA de alto consumo de potencia y/o que puedan parar por un tiempo estipulado. El sistema está constituido por: un motor de combustión interna, un generador síncrono acoplado al motor, y equipos de control, medición, interrupción y protección.

### 3.1.8. Generador Síncrono:

Transforma una fuente primaria de energía mecánica en energía eléctrica mediante la inducción electromagnética.



Figura 3.3. Generador de Emergencia.

### 3.1.9. Interruptores Automáticos de Transferencia (ATS):

Son interruptores que al detectar una falla en un sistema de alimentación cambian automáticamente de posición y habilitan otro sistema para alimentar las cargas. Se utilizan principalmente en los sistemas de emergencia con máquinas rotativas.

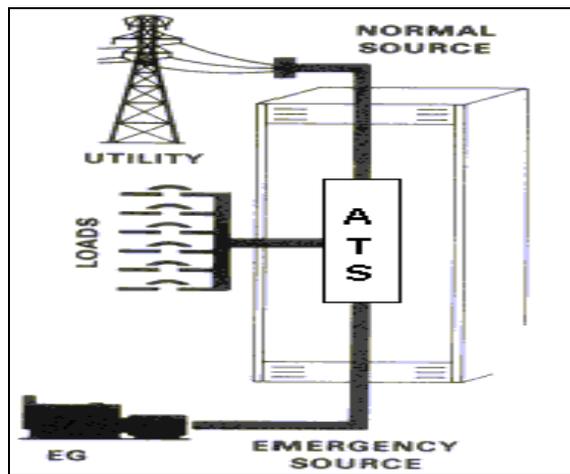


Figura 3.4. Interruptor de Transferencia Automática (ATS).

### 3.1.10. Interruptores Manuales de Transferencia.

Son interruptores que necesitan de la intervención humana para cambiar de posición y habilitar otro sistema para alimentar las cargas. Se utilizan en sistemas opcionales o donde no se requiera que sean automáticos.

#### 3.1.11. Tiempo de Arranque:

Es el tiempo que tarda el generador desde que surge la falla hasta que suministra potencia a las cargas.

#### 3.1.12. Tiempo de Respaldo:

Es la autonomía que tiene un sistema de emergencia

#### 3.1.13. Baterías:

Dos o más celdas conectadas eléctricamente para producir energía eléctrica.

#### 3.1.14. Cargas:

Conjunto de equipos demandantes de energía.

#### 3.1.15. Caída de Voltaje:

Es la caída de tensión que surge en los terminales del generador por conectar una carga, y ocurre antes de que el regulador la pueda corregir.

#### 3.1.16. Corriente de Arranque:

Es la corriente que necesita un motor para ser arrancado. Esta llega a ser varias veces su corriente nominal y es también conocida como corriente a rotor trabado.

#### 3.1.17. Arranque Simultáneo de Motores

Es el arranque en conjunto de todas las cargas esenciales o de emergencia conectadas al generador. El arranque de todas las cargas al mismo tiempo puede incurrir en grandes caídas de tensión en el generador.

#### 3.1.18. Arranque Escalonado de Motores.

Para evitar caídas de tensión no permisibles en la operación de equipos por el arranque simultáneo de motores, se establecen grupos de motores por orden de prioridad y se arrancan en intervalos de tiempo permitidos entre grupo y grupo.

#### 3.1.19. Potencia de Arranque de Motores (SkVA).

Es la potencia aparente de arranque de los motores. Viene dada por una constante correspondiente al código de diseño NEMA multiplicada por los caballos de fuerza nominales del motor. También es relacionada con la corriente de rotor trabado.

### 3.2. GRUPO MOTO-GENERADOR.

El grupo moto-generador esta conformado por un motor de combustión interna que generalmente es a gas natural o diesel, este motor genera energía mecánica rotacional la cual es transferida por un eje que esta acoplado a un generador sincrónico, este es encargado de transformar la energía mecánica rotacional en energía eléctrica, que es aprovechada por equipos, herramientas e instrumentos de industrias, comercios y otros.

El grupo moto-generador puede utilizarse para satisfacer cuatro necesidades distintas:

- Uso de emergencia o respaldo, en estos casos el generador tiene una potencia específica encargada de suplir una cierta carga durante una falla en el sistema de alimentación principal. No permite sobrecarga y tiene una capacidad para operar durante un tiempo definido.
  
- Uso como alimentación principal, en este caso el generador tiene una potencia específica menor a la nominal para suplir cargas variables o continuas durante un tiempo indefinido. Puede operar en paralelo con otro sistema de alimentación, y permite sobre carga de un 10 % por un tiempo definido.
  
- Uso como servicio continuo, en este caso el generador esta diseñado para usar el 100 % de su capacidad por un tiempo indefinido, no permite sobrecarga y generalmente opera como única fuente de alimentación. Se utiliza en sitios donde la red pública no es accesible.

- Uso de suministro de picos de carga, en este caso el generador esta diseñado para operar en los casos en que la demanda durante un tiempo determinado sobrepasa la demanda contratada con la compañía dueña de la alimentación principal. Reduce los costos de operación y consumo eléctrico.

### 3.2.1. Componentes:

Los sistemas generadores no sólo están conformados por el rotor y estator que son la base de la generación eléctrica, sino que también necesitan de partes mecánicas que logran el funcionamiento del generador y que se deben tomar en cuenta en la selección de un generador de emergencia, estas partes mecánicas son requerimientos que en base a un cliente puede ser de una manera o de otra.

Los sistemas de arranque y parada manual o automático, el motor de combustión interna, el suplemento de combustible, el sistema de lubricación, el equipo de seguridad, el gobernador, el sistema de acoplamiento y aisladores de vibración, el tablero de control del motor, el sistema de refrigeración y el sistema de aire y escape son las partes mecánicas que mas se deben tomar en cuenta en las especificaciones.

En cuanto a las partes eléctricas que se deben tomar en cuenta principalmente en las especificaciones son: El generador, el panel de control del generador, el sistema de transferencia automática, el cargador de baterías, las baterías de arranque y los bancos de carga artificiales para pruebas.

Dentro del sistema generador hay otros factores que se deben tomar en cuenta en las especificaciones y que son partes de estos, algunas de ellas son: Diseño mecánico, preparación de superficies y pintura, inspecciones y pruebas al grupo moto-generador, identificación, embalaje y transporte de ellos, también se deben evaluar las garantías.

### 3.2.2. Descripción general de funcionamiento:

En líneas generales, los sistemas de generación de emergencia funcionan de la siguiente manera:

Un sistema de control de transferencia automática monitorea el estado de la alimentación principal de electricidad. Si esta falla o los niveles de operación aceptables se violan, se inicia el arranque del grupo moto-generador y su monitoreo, para cuando los niveles de tensión y frecuencia de este sean los apropiados, se ejecutará la transferencia de carga de la alimentación principal a esta automáticamente.

Cuando el sistema de la alimentación principal es restablecido, se transfiere de nuevo la carga a este y el grupo moto-generador se detiene. Una vez detenido el grupo moto-generador se debe esperar a que enfríe para la repetición de este proceso si fuese necesario.

Todas las etapas de este proceso son automáticas y deben regirse por tiempos estandarizados, normalizados o por requerimientos particulares.

### 3.3. MODELO EQUIVALENTE DE LA MÁQUINA SINCRÓNICA

La máquina síncrona es un convertidor electromecánico de energía con una pieza giratoria denominada rotor o campo, cuya bobina se excita mediante la inyección de una corriente continua, y una pieza fija denominada estator o armadura por cuyas bobinas circula corriente alterna. Las corrientes alternas que circulan por los arrollados del estator producen un campo rotatorio que gira en el entrehierro de la máquina con la frecuencia angular de las corrientes de armadura. El rotor debe girar a la misma velocidad del campo magnético rotatorio producido en el estator para que el torque eléctrico medio pueda ser diferente de cero. Si las velocidades angulares del campo magnético rotatorio y del rotor de la máquina síncrona son diferentes, el torque eléctrico medio es nulo. [2]

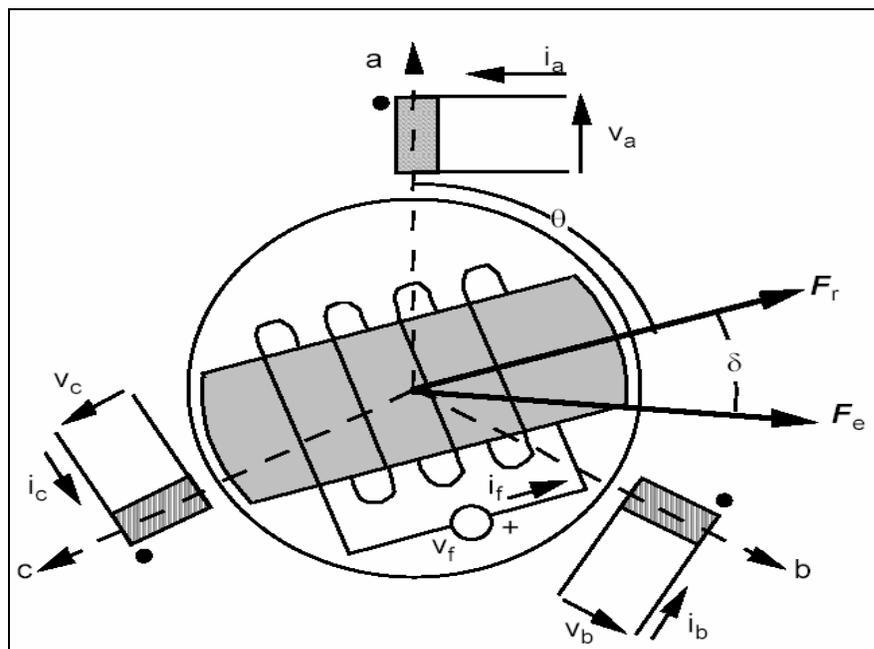


Figura 3.5. Esquema básico de una máquina síncrona trifásica.

Donde:

$F_e$  Es la amplitud de la distribución sinusoidal de la fuerza magnetomotriz del estator

- Fr Es la amplitud de la distribución sinusoidal de la fuerza magnetomotriz del rotor
- $\delta$  Es el ángulo entre las amplitudes de las dos fuerzas magnetomotrices. “ángulo de carga”

Las fuerzas magnetomotrices del estator  $F_e$ , y del rotor  $F_r$  tienen una amplitud constante, y para que el torque medio resulte constante, es necesario que el ángulo  $\delta$  entre las dos fuerzas magnetomotrices no varíe en el tiempo durante la operación en régimen permanente. Para lograr esto es necesario que las dos fuerzas giren a la misma velocidad angular. [2]

Las máquinas sincrónicas pueden ser de rotor liso o de polos salientes. A continuación se muestran los diagramas fasoriales de estos, y el modelo equivalente para cada uno:

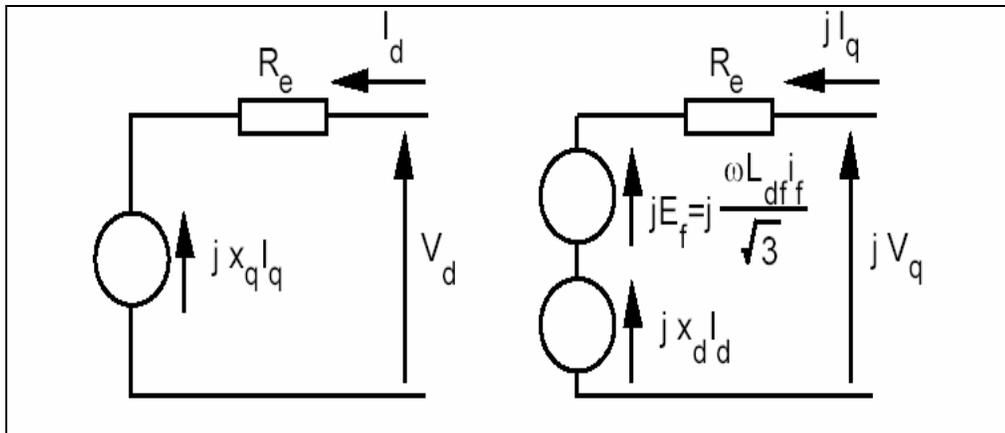


Figura 3.6. Circuito equivalente de la máquina sincrónica de polos salientes.

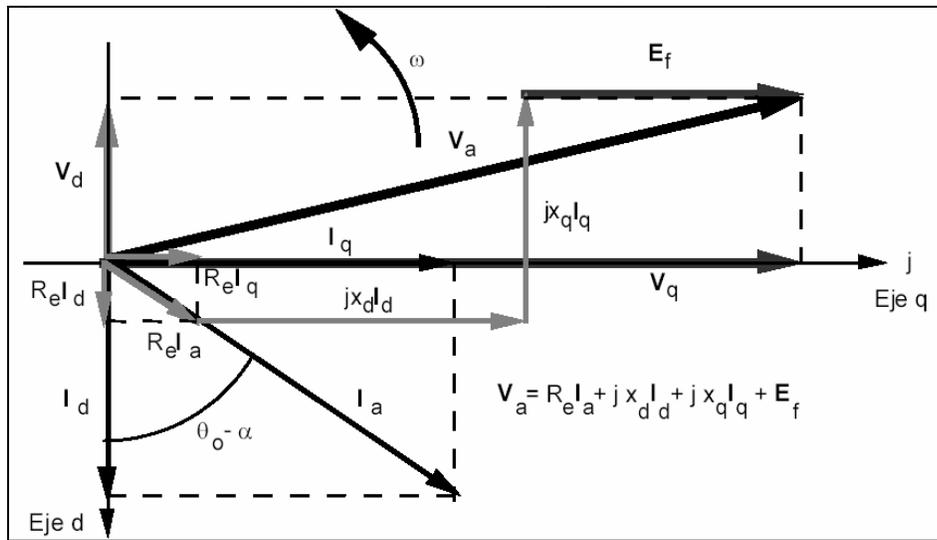


Figura 3.7. Diagrama fasorial de la máquina síncrona de polos salientes.

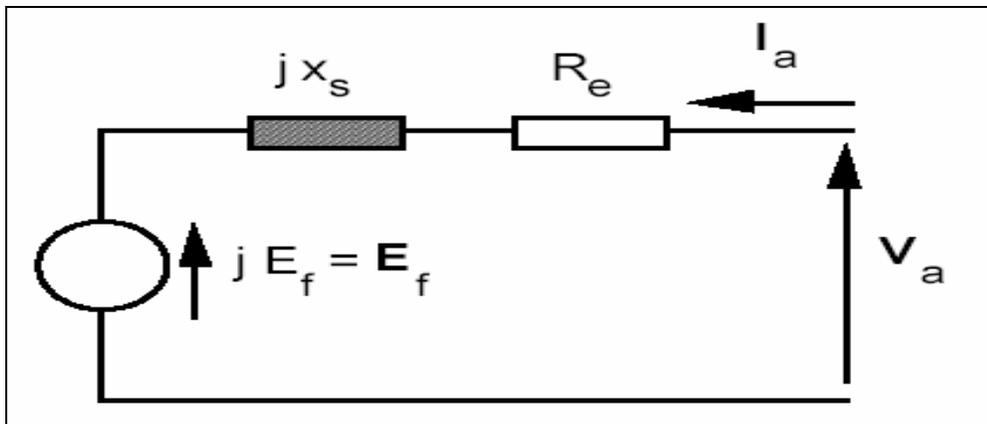


Figura 3.8. Circuito equivalente de la máquina síncrona de rotor liso.

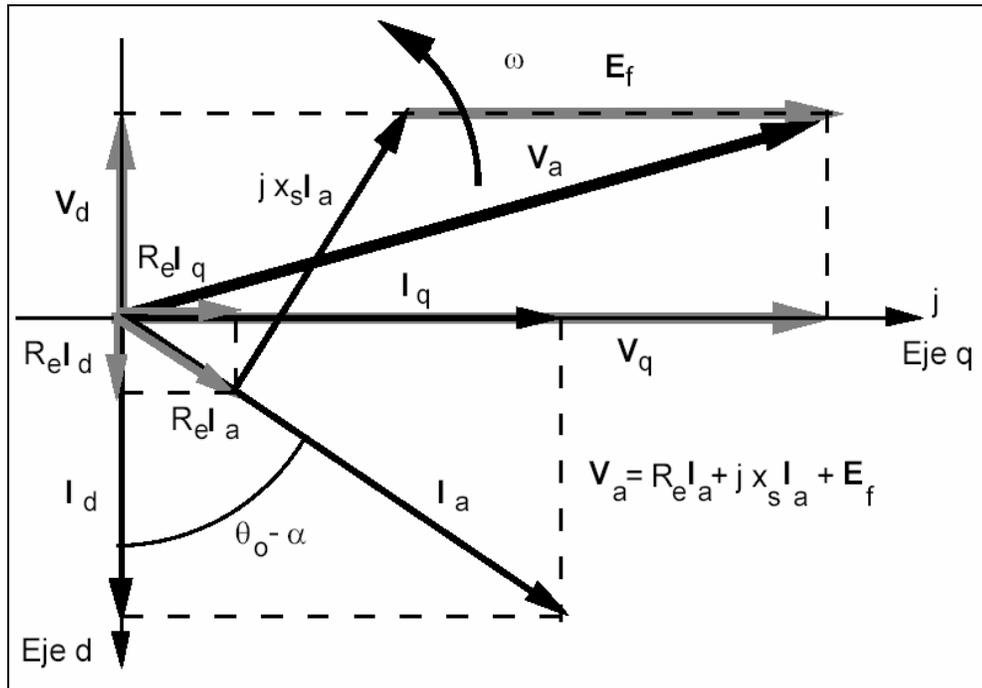


Figura 3.9. Diagrama Fasorial de la máquina sincrónica de rotor liso.

### 3.4. CÁLCULO DE LA CAÍDA DE TENSIÓN EN EL GENERADOR

#### 3.4.1. Según IEEE

A partir de los dos modelos anteriores (Ver figura 3.2 y 3.4), o principalmente del modelo de la máquina de polos salientes (utilizada con mayor frecuencia en generadores sincrónicos de emergencia), se obtiene un modelo equivalente simple el cual se utiliza para calcular en un instante determinado de tiempo la mayor caída de tensión durante el arranque de un motor. Para esto se modela una tensión interna constante detrás de la reactancia interna de la máquina,

conectados al motor modelado como una impedancia de rotor bloqueado constante (impedancia constante modelada con la potencia de arranque). [3]

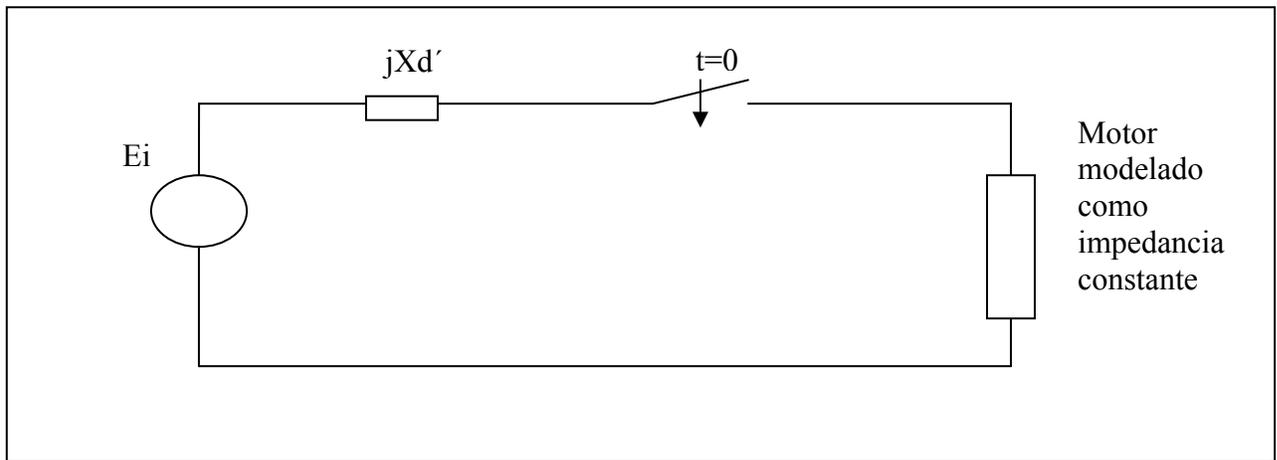


Figura 3.10. Modelo equivalente de la máquina síncrona para calcular la mayor caída de tensión por el arranque de motores.

Asumiendo las siguientes premisas se puede obtener una buena aproximación de la caída de tensión en el generador por el arranque de motores u otras cargas:

- 1) La tensión inducida del generador  $E_i$  permanece constante en la condición de vacío y con carga
- 2) Se utiliza la impedancia saturada transitoria como la reactancia interna del generador.
- 3) El motor en el arranque se comporta como una falla para el generador, puesto que la potencia de arranque aumenta en un posible número de veces la potencia nominal de operación, además de modelarse como puramente inductiva.

4) La tensión en bornes disminuye debido a que ocurren pérdidas en la reactancia interna del generador por la alta corriente que circula en ese estado.

5) Un kVA(eléctrico) es aproximadamente igual a un hp(mecánico).

6) Se parte de que el generador y los motores se encuentran conectados a una misma barra sin conductores de por medio.

Luego, a partir de las siguientes fórmulas se llega al valor de caída de tensión en porcentaje.

$$kW = \frac{hp * 0.746}{eficiencia} \quad (3.1)$$

$$SkVA = hp * CodigoNEMA * CodigoArranque \quad (3.2)$$

$$Zbase = \frac{Vbase^2}{Sbase} \quad (3.3)$$

$$Zmotor = \frac{Vnom^2}{SkVA} \quad (3.4)$$

$$Zpu = \frac{Zmotor}{Zbase} \quad (3.5)$$

$$I = \frac{E}{Xd' + Zpu} \quad (3.6)$$

$$\Delta V = Xd' * I * 100 \quad (3.7)$$

Modelando el motor como impedancia constante con las ecuaciones 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 y 3.5, y con el valor en por unidad de la reactancia transitoria del generador, se halla la corriente

generada mediante la ecuación 3.6 y asumiendo que la tensión interna del generador es uno en por unidad. Luego, con el valor de la corriente se halla la caída de tensión en el generador mediante la ecuación 3.7.

### 3.4.2. Según NEMA.

A partir de las constantes del generador, y bajo las siguientes premisas: [4]

1. Tiempo de respuesta del regulador  $< 0 = 17$  milisegundos
2. Voltaje techo del sistema de excitación  $> 0 = 1.5$   
Voltaje nominal de campo

Se puede utilizar la siguiente ecuación 3.8:

$$\Delta V = \frac{X_d'}{X_d' + X_o} * 100 \quad (3.8)$$

Donde;

$\Delta V$  = Caída de tensión en por ciento

$X_d'$  = Reactancia transitoria de la máquina

$X_o$  = Capacidad Nominal del generador (kVA) entre la potencia de la carga en el arranque (SkVA).

Si se aumenta la carga, se hallan unas gráficas que son la base para dimensionar la capacidad de un sistema de generación de emergencia, normalmente estos dos métodos se

utilizan si los fabricantes no suministran los datos. Además tienen los mismos resultados por lo que se pueden utilizar ambos.

## **CAPÍTULO 4**

### **DESARROLLO DE METODOLOGÍAS PARA LA ESPECIFICACIÓN Y SELECCIÓN DEL GRUPO MOTO-GENERADOR**

En este capítulo se desarrollan los criterios básicos que se deben seguir para seleccionar un grupo Moto-generador. Este grupo está constituido por distintos elementos, los cuales pueden ser de diferentes formas o funciones. A continuación, para cada elemento se recomienda en forma justificada la opción más práctica y más utilizada en sistemas de emergencia.

Los sistemas de emergencia deben cumplir con los términos y normas del Código Eléctrico Nacional, IEEE, IEC, NEMA, etc. Estas son complementarias entre sí pero si difieren prevalecerá la más exigente o se seguirá el requerimiento particular.

#### **4.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MOTOR:**

Los siguientes criterios abarcan sólo la parte mecánica que se debe realizar para pre-dimensionar un sistema de generación de emergencia.

##### **4.1.1. Sistema de arranque:**

Los sistemas generadores pueden ser arrancados por: un sistema de arranque por baterías o por un sistema de arranque con aire comprimido o neumático.

#### 4.1.1.1. Por Baterías.

En general el arranque se hace de esta manera, puesto que es el sistema más común y más fácil de tenerlo en sitio. En generadores pequeños se utiliza un sistema de 12 voltios y en generadores grandes se utilizan sistemas de 24 voltios. Estos sistemas están conformados por una batería que acciona un motor, y este a su vez acciona el motor de combustión interna. Las baterías tienen que ser recargables y deben cumplir con unas condiciones de operación. Ver Anexo B.

#### 4.1.1.2. Por Aire Comprimido o Arranque Neumático.

Este sistema se utiliza principalmente en plantas donde el aire comprimido está disponible y en aplicaciones de potencia principal y/o de alta capacidad. Estos sistemas están conformados por tanques con aire comprimido, tuberías, válvulas y un motor, que al ser accionadas se libera el aire comprimido para provocar el movimiento de un engranaje, esta rueda está conectada a un eje que a su vez provoca el movimiento del eje del motor diesel. Ver Anexo B.

#### 4.1.2. Tiempo de arranque:

Este tiempo depende del fabricante y del cliente, pero según ley y el Código Eléctrico Nacional, el equipo debe haber arrancado y estar suministrando potencia a las cargas vitales de emergencia en un tiempo no mayor de 10 segundos después de haberse enviado la señal de falla del sistema, si esto no se cumple el grupo moto-generador sólo será aceptado si existe una fuente que suministre los servicios de emergencia hasta que el grupo acepte la carga.

#### 4.1.3. Gobernadores:

Estos pueden ser mecánicos o electrónicos.

##### 4.1.3.1. Mecánicos.

Estos son los más económicos y deben su funcionamiento a mecanismos de contra peso que detectan la velocidad, además este tipo de gobernadores son apropiados en aplicaciones donde la variación de frecuencia no es un requerimiento.

##### 4.1.3.2. Electrónicos.

Estos son más costosos pero más precisos para regular la velocidad y mantener la frecuencia. Deben su funcionamiento a circuitos electromagnéticos que detectan la velocidad y circuitos electrónicos que regulan la alimentación del motor; Se utilizan para aplicaciones donde se requiera paralelismo y sincronización o se requiera un valor constante de frecuencia para el rango de cargas.

Para aplicaciones en sistemas de emergencia se deben utilizar gobernadores electrónicos, puesto que se debe mantener un rango de frecuencia.

#### 4.1.4. Tipo de combustible:

Se sugiere que el combustible que alimente el motor de un sistema de emergencia sea diesel, debido al bajo costo, la facilidad de almacenamiento y la confiabilidad que estos tienen en esta área. Otros combustibles utilizados en esta aplicación son: el gas natural y el gas licuado de petróleo.

Se debe hacer igualmente para cada proyecto una evaluación técnica que determine el tipo de combustible según la disponibilidad, la confiabilidad del suministro, la capacidad de almacenaje, la factibilidad económica, el tiempo y sistema de arranque, la seguridad, las regulaciones ambientales y el tiempo de operación.

La siguiente tabla muestra las características de los distintos tipos de combustibles.[5]

Diesel	Gas natural	Gas LP
Recomendado	Más económico	Poca disponibilidad
Requerimientos de emisiones	No requiere almacenaje	Almacenaje en sitio
Almacenaje en sitio	Requiere de un sistema de respaldo	Almacenaje indefinido
Duración de 2 años almacenado	Se debe mantener limpio	Problemas en climas fríos
Problemático en climas fríos	Deficiente estabilidad de frecuencia	Deficiente estabilidad de frecuencia
El motor requiere ser más robusto	El motor puede ser menos robusto	El motor puede ser menos robusto

Tabla 4.1. Diferencias entre Combustibles.

#### 4.1.5. Tiempo de Respaldo

Según el Código Eléctrico Nacional debe ser no menor a dos (2) horas, por lo que el sistema de combustible debe abastecer al motor al menos durante este tiempo.

En el caso que se requiera un mayor tiempo de respaldo se debe consultar con el fabricante sobre el tiempo que puede estar el motor en operación, puesto que este puede estar diseñado para uno en específico; si no cumple, se debe adquirir uno para esta función. Además se debe contemplar el sistema de combustible para abastecer durante el tiempo requerido.

## 4.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL GENERADOR:

Estos son los criterios básicos que se deben seguir para pre-dimensionar el generador de un sistema de emergencia.

#### 4.2.1. Voltaje:

En aplicaciones para sistemas de emergencia el voltaje de generación usualmente corresponde con el voltaje de operación de las cargas, que en general son de baja tensión (<600V). En otros usos o en usos de emergencia de gran capacidad es sugerido generar a media tensión (>600V).[5]

En Venezuela y otras partes del mundo la generación típica de emergencia en industrias es de 480Y/277 V para cargas normales y 4,16 kV para cargas grandes o cuando las cargas conectadas a 480Y/277 V requieren de una corriente mayor a 2 kA.[5] En oficinas, zonas comerciales y residenciales se puede generar a 208Y/120 V, puesto que la mayor parte de las cargas de emergencia son de iluminación o utilizan esta tensión.

A continuación se muestra una tabla de los voltajes nominales típicos:

<i>Trifásicos</i>	<i>Monofásicos</i>
208Y/277 V	120 V
240 V	120/240 V
480 V	240 V
480Y/277 V	
240/480 V	
600 V	
2400 V	
4160Y/2400 V	

Tabla 4.2. Voltajes Nominales Típicos.

#### 4.2.2. Aislamientos:

Los aislamientos en los devanados se clasifican en A, B, F y H, y corresponden a temperaturas como 60, 80, 105 y 125 °C. Además, para un clase de aislamiento de un generador se puede tener distintas temperaturas (sobre una ambiente de 40°C) dependiendo del uso que se le

de (continua, principal o de emergencia), así como también distintos valores de potencia. Si un generador opera en su rango de temperatura mas bajo tendrá una mayor vida útil; en el caso de uso del generador de emergencia como continuo no podrá exceder en 25°C la temperatura normal de operación como continuo, ya que se establece que una hora de operación a esta elevación de temperatura equivale a cuatro (4) u ocho (8) horas de operación a la temperatura normal.[4]

Por lo general en generadores entre 20 y 2.000 kW se utilizan aislamientos de clase F o principalmente de clase H. Si un generador tiene una elevación de temperatura mas baja para un rango dado, entonces resultarán menores caídas de tensión, mejor capacidad de arranque de motores, mayor capacidad de carga desbalanceada o no-lineal, y mayor capacidad de corriente de falla.[5]

#### 4.2.3. Devanados y conexiones:

Los generadores pueden diseñarse para poder obtener distintos voltajes con los mismos devanados a partir de distintas configuraciones en las conexiones, pero manteniendo la entrega de potencia (kVA) a frecuencia y factor de potencia nominal. Los generadores de acuerdo a sus configuraciones en los devanados y conexiones se clasifican en: Re-conectables, de rango amplio, de rango extendido, de rango limitado y de arranque incrementado de motor.[5]

#### 4.2.3.1. Re-conectables:

Este tipo de generador esta diseñado con salidas individuales que pueden reconectarse en configuraciones de estrella y delta. Son conocidos como de seis puntas, y cuentan con seis devanados separados que pueden ser conectados en serie o en paralelo, o en delta o estrella.

#### 4.2.3.2. De rango amplio:

Son capaces de generar a distintos voltajes manteniendo la potencia, frecuencia y factor de potencia. Tienen un rango específico tal como de 416 a 480 voltios con sólo ajustar la corriente de excitación.

#### 4.2.3.3. De rango extendido:

Estos son como los anteriores pero son capaces de mantener un rango más amplio tal como de 380 a 480 volts.

#### 4.2.3.4. De rango limitado:

Estos tienen un rango bastante limitado o están diseñados para producir un voltaje nominal específico y/o conexiones tipo estrella.

#### 4.2.3.5. Arranque incrementado de motor:

Estos se pueden describir como un generador de mayor capacidad a la requerida o a los diseñados con características especiales en el devanado para producir una capacidad más alta ante el arranque de motores.

En generadores de emergencia se utilizan en general los Re-conectables o discretos, conectados en estrella.

#### 4.2.4. Excitación:

Los Generadores pueden ser auto-excitados o excitados separadamente (Imán permanente).

##### 4.2.4.1. Auto- excitados:

Este sistema de excitación es el más económico y da un buen servicio en todas las condiciones de operación cuando es dimensionado correctamente. Además, este sistema esta auto-protegido en condiciones de cortocircuito. No tiene la mejor respuesta ante el arranque de motores, por lo que se puede requerir un generador de mayor capacidad, también dependen del magnetismo residual para energizar su campo durante el arranque, y puede que no sostengan corrientes de falla tal que se puedan disparar las protecciones aguas abajo del circuito. Ver Anexo A. [5]

#### 4.2.4.2. Excitados Separadamente o de Imán Permanente.

Este sistema no depende del generador por lo tanto no es afectado por las cargas de este. Puede sostener corrientes dos (2) o (3) veces mayor a la nominal durante diez segundos por lo que tienen una mejor respuesta ante el arranque de motores, un buen desempeño con cargas no lineales o con cortocircuitos de larga duración. Se debe proteger la excitación ante condiciones de falla, puesto que se puede embalar la máquina y operar hasta la destrucción. Ver Anexo A. [5]

Es recomendable utilizar en sistemas de emergencia industriales la excitación de Imán permanente por el número de motores y cargas no-lineales que deben suplir, en caso de que el proveedor no tenga esta opción, se debe obtener un sistema de excitación que cumpla con los requerimientos anteriores. En otros establecimientos tipo residenciales, comerciales u otros depende de su tipo de cargas, generalmente no hay tantos motores u cargas no lineales entonces es preferible utilizar el más económico.

#### 4.2.5. Eficiencia:

Los valores de eficiencia deben ser suministrados por los fabricantes o distribuidores a distintos valores de carga. En caso de que estos valores no sean suministrados se pueden calcular de acuerdo al estándar IEEE 115, con los valores nominales de potencia, voltaje, frecuencia, factor de potencia y con condiciones de cargas balanceadas.

Para la determinación de la eficiencia se deben incluir las siguientes pérdidas:

- Pérdidas  $I^2R$  de la armadura.
- Pérdidas  $I^2R$  del campo.
- Pérdidas en el núcleo.
- Pérdidas por corriente parasitas.
- Pérdidas por fricción y roce.
- Pérdidas en la excitatriz.

Para las pérdidas  $I^2R$  las resistencias de los bobinados deberán ser corregidas a las siguientes temperaturas.

<b>Clases de aislamientos</b>	<b>Temp. En °C</b>
A	75
B	95
F	115
H	130

Tabla 4.3. Temperatura correspondiente a los aislamientos.

Si el incremento de la temperatura nominal es de una clase de aislamiento mas baja, se debe corregir la resistencia a la de menor clase de aislamiento.

Cualquier variación en partes mecánicas que afecte la fricción y el roce para una instalación en particular debe ser calculada u obtenida por experiencias o pruebas en fábrica.

#### 4.2.6. Puesta a tierra:

En condiciones de emergencia que se deban suplir cargas monofásicas de línea-neutro, es requerido que el neutro del generador este sólidamente puesto a tierra. En sistemas de 600 y 480 V los generadores pueden estar puestos a tierra con un valor bajo o alto de impedancia para limitar la corriente de cortocircuito o si no mantenerlos aislados cuando no se tiene un conductor de tierra para suplir cargas monofásicas de línea-neutro.[3]

Los sistemas de puesta a tierra de alta impedancia o aislados son más confiables ante la continuidad del servicio que los solidamente puestos a tierra, aunque puede dañar los devanados del generador por operar en condiciones anormales.

Por lo general los neutros del generador conectados en estrella deben estar puestos a tierra por medio de un elemento inductivo.

#### 4.2.7. Protecciones:

Los sistemas de emergencia dependen de la confiabilidad de los sistemas de protecciones del sistema eléctrico principal, puesto que la activación innecesaria de una protección aguas arriba del circuito puede activar el sistema de emergencia.

Los sistemas de emergencia deben ser protegidos según el Código Eléctrico Nacional u otros estándares y normas si es requerido.

Los sistemas de emergencia a la hora de una falla deben tratar de mantener las cargas vitales y críticas en funcionamiento (selectividad), por lo tanto se debe dar prioridad a la continuidad del suministro eléctrico antes que la protección de los equipos, si la activación de la protección resulta en el corte de suministro a las cargas críticas para la seguridad de la vida. Se pueden instalar señales de alarma para avisar cualquier tipo de falla y sea atendida por un electricista en sitio.[3]

De acuerdo a esto se debe hacer la coordinación selectiva de todas las protecciones (Falla a tierra, Sobre-corriente, Sobre-voltaje, internas del generador y otras) para el uso correcto de estos sistemas.[3]

Los Interruptores de transferencia automática deben ser instalados después de las protecciones del lado de la carga, para evitar que se active el sistema de transferencia de una carga que esté falla.[3]

#### 4.2.8. Interruptores de transferencia.

Los interruptores de transferencia para sistemas de emergencia deben estar en concordancia con el Código Eléctrico Nacional u otro estándar y norma requerida. Según estos, los interruptores deben ser automáticos e identificados como equipos de emergencia, y servirán cargas críticas y vitales. En caso de tener cargas opcionales de respaldo se deben tener

interruptores separados de los de emergencia. En hospitales, clínicas o cualquier facilidad de salud se deben tener distintos interruptores para los distintos tipos de cargas.

En caso de tener sistemas de reserva opcionales y de emergencia se pueden tener interruptores manuales para servir las cargas opcionales una vez que el sistema de emergencia ha sido transferido.

#### 4.2.9. Circuitos:

Los circuitos de emergencia con todos sus equipos deben estar señalizados como de emergencia, y deben ser canalizados por distintas vías que las del sistema primario. Se permiten dos circuitos por una misma canalización.[1]

Los circuitos deben estar protegidos por sistemas contra-incendios.

#### 4.2.10. Capacidad del generador

Para la selección de la capacidad del generador (kVA) no sólo se deben cuantificar las cargas que van a ser suplidas, sino que también se debe hacer un estudio para verificar que el generador se mantenga en los límites permisibles de voltaje de operación durante el arranque de motores.

A continuación se señalan detalladamente los pasos para seleccionar la capacidad del generador realizando todos los estudios necesarios.

4.2.10.1. Se deben determinar todas las cargas que en caso de que falle la alimentación principal de energía eléctrica deban ser encendidas o arrancadas para evitar riesgos de pérdidas de vida humana, daños ambientales, pérdidas económicas o para evitar todas las anteriores.

4.2.10.2. Se deben agrupar las cargas según el tipo. Estas se agrupan de la siguiente manera: Motores, cargas de iluminación y otras cargas.

4.2.10.3. Se suman todas las potencias nominales de las cargas agrupadas, resultando en una potencia total a suplir.

4.2.10.4. Se selecciona un generador de potencia nominal tal que suministre la potencia requerida.

Por lo general la potencia calculada no corresponde con la de un generador comercial, entonces, se debe escoger el generador comercial con la potencia estándar inmediatamente mayor.

Si es requerido o necesario se puede escoger un generador con un margen de reserva para prever la instalación de nuevas cargas en el futuro.

4.2.10.5. Se debe establecer un límite de caída de tensión. Por lo general se utiliza entre 15 o un 20 % dependiendo del cliente.

4.2.10.6. Se debe revisar con los fabricantes de generadores las hojas de especificaciones para obtener la capacidad de arranque por motores.

La capacidad de arranque por motores esta expresada en SkVA (starting kilo-volts-ampers) y tiene un valor reflejado en por ciento de la caída de tensión instantánea en el generador. Este dato puede ser suministrado de varias formas: Por curvas que reflejan una caída de tensión por cada SkVA; o por un solo punto de SkVA donde especifican la caída de tensión para ese punto (normalmente un 35%); o por una serie de puntos (dos o tres) de SkVA con su correspondiente caída de tensión.

Si estos datos no se encuentran en las hojas de especificaciones de los generadores, se deben suministrar los parámetros de la máquina para poder hacer una simulación de los generadores con programas comerciales o con el modelo equivalente simple del generador sincrónico. En caso de que ninguno de estos aparezcan, se le deben solicitar a los fabricantes o a los distribuidores.

4.2.10.7. Se debe verificar la capacidad que tiene el generador para aguantar la caída de tensión ante el arranque simultáneo de los motores instalados.

Esta se hace sumando las potencias de arranque (SkVA) de todos los motores. Con el valor resultante se revisa en los datos de la máquina que se mencionan en el paso anterior el valor porcentual de caída de tensión que corresponde a ese punto de potencia de arranque. Si este valor porcentual es menor o igual al máximo especificado o requerido (generalmente se permite un porcentaje máximo de caída de tensión de hasta un 20%, en algunos caso puede permitirse

más o menos) se debe seleccionar el generador que cumpla con esa capacidad y esos parámetros; De ser mayor, se le debe descartar y luego hacer la misma verificación con otro generador de distintos parámetros o con uno de mayor capacidad. Otra solución para evitar sobredimensionar el generador es: realizar la verificación de caída de tensión por el arranque de los motores a tensión reducida (limita esta potencia a un porcentaje significativamente menor), o por el arranque en etapas de los motores según su tamaño y prioridad cada cierto intervalo de tiempo.

Las soluciones dependen del requerimiento o las especificaciones que se hagan.

La potencia de arranque de los motores (SkVA) si no aparece en sus datos de placa se puede hallar de la siguiente manera:

- Se toma la potencia mecánica del motor en caballos de fuerza (HP).
- Se revisa el factor de multiplicación de potencia de arranque (SkVA) por cada caballo de fuerza (HP) que corresponde con el código NEMA de diseño (desde la A hasta la V) del motor; por lo general, los motores son de tipo F y G, y en caso de que no aparezca ningún código de diseño en sus datos de placa se debe tomar un factor de multiplicación de seis (6). Si el motor es arrancado por métodos a tensión reducida se debe revisar otro factor de multiplicación que depende del tipo de método.
- Una vez que se tienen los factores de multiplicación por código de diseño y por arranque a tensión reducida se multiplican ambos por la potencia mecánica en caballos de fuerza (HP) que resulta la potencia de arranque en kilo-volt-amperes (SkVA). Ver ecuación 3.2.

4.2.10.8. Si la caída de tensión en el generador es mayor a la permisible cuando los motores son arrancados simultáneamente, se puede verificar la factibilidad técnica y económica de arrancar los motores por métodos de tensión reducida, para limitar significativamente la potencia en el arranque a valores que pueden permitir que el generador con la capacidad no admisible pueda ser seleccionado.

Para hacer la factibilidad económica se debe tomar en cuenta el costo de un generador de mayor capacidad que aguante el arranque simultáneo (si este se requiere) y el costo de adaptar los motores para ser arrancados a tensión reducida (a aquellos que no tengan esta propiedad). Para realizar la factibilidad técnica se debe analizar si los motores según la función que cumplan pueden ser arrancados de esta manera.

4.2.10.9. Si no se requiere o no es factible el arranque de los motores simultáneamente, se realiza la siguiente verificación:

Se agrupan las cargas en orden de mayor a menor capacidad y según su prioridad, luego se asume que cada grupo es arrancado cada cierto intervalo de tiempo (por lo general es de 10 segundos pero puede ser menor si es requerido, en caso de ser requerido este debe ser mayor que el tiempo de recuperación del voltaje que depende del regulador) que permita la recuperación del voltaje. La potencia de arranque por cada etapa es menor a la potencia total del conjunto, por lo que la caída de tensión debe estar en los límites permisibles.

Con las cargas agrupadas se calcula la potencia de arranque de cada etapa, y se verifica la caída de tensión por cada una. Si todas las caídas de tensiones están dentro de lo permisible

entonces la capacidad del generador es la seleccionada, en caso de que alguna etapa no este dentro del límite, se debe considerar el arranque a tensión reducida, la reestructuración de las etapas o redimensionar el generador.

Cuando se hace la verificación del arranque por etapas se debe tomar en cuenta que en la etapa anterior hay cargas operando y que están consumiendo una potencia que aumenta la de arranque de los motores de esa etapa, para resolver este problema se plantean las siguientes soluciones:

- Es posible que se especifiquen en las curvas de potencia de arranque los kVA del generador vs. La caída de tensión del generador para un porcentaje de carga, ejemplo: 0%, 25%, 50%, 75% y 100%. Con estas curvas se puede ir analizando etapa por etapa, por ejemplo: si se está en la primera etapa donde aún no han arrancado cargas se suman los SkVA de esta y se busca la caída de tensión en la curva de 0% de carga (generador en vacío); si se está en la segunda etapa y la primera está en operación normal ocupando un 25% de la capacidad nominal del generador, el punto correspondiente de caída de tensión para los SkVA de arranque de esa etapa se encuentra en la curva de 25%; y así se hace sucesivamente con todas las etapas.

- Si no se especifican esas curvas sino sólo una para 0% de carga, se hace según NEMA una aproximación de SkVA para contrarrestar el efecto de las cargas en operación de las etapas anteriores. Para hacer esta aproximación se divide la potencia en kilovatios (kW) de todas las cargas de las etapas que están en operación entre la potencia en kilovatios (kW) de todas las cargas que están en operación y la que esta arrancando; luego se multiplica por cien (100) para obtener un porcentaje, este porcentaje tiene en la gráfica de MOTOR LOAD PREMULTIPLIER

un valor que corresponde a un factor de multiplicación. El factor correspondiente se multiplica por los SkVA de la etapa en cuestión y resulta un aproximado de SkVA, que es el que se utiliza para revisar la caída de tensión. Ver anexo D.

### 4.3. OTRAS CONSIDERACIONES

En los sistemas de emergencia se deben tomar en cuenta otras consideraciones que rigen la selección de los equipos.

#### 4.3.1. Ubicación:

La ubicación del generador puede ser en interiores o exteriores de un establecimiento. Esta puede influir en el costo y facilidad de instalación de los equipos que integran el sistema.

Para determinar la ubicación de estos se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones:[5]

- Instalación del generador.
- Ubicación del tablero de distribución e interruptores de transferencia.
- Circuitos auxiliares
- Protección ante incendios, inundaciones y otras.
- Acceso para servicio de mantenimiento, inspección y reparación.
- Acceso para pruebas con cargas.

#### 4.3.1.1. Exteriores:

Si la ubicación de estos equipos es en exteriores se debe verificar lo siguiente:

- El ruido que se permite por ley en exteriores, si este se viola se pueden requerir casetas de aislamiento de ruidos.
- Se podrían requerir casetas para evitar daños al equipo por el medio ambiente, brindar seguridad y estética.
- La temperatura del ambiente. Si esta es muy baja puede que los sistemas no arranquen en el tiempo requerido y estipulado, por lo tanto se pueden necesitar casetas que puedan aislar el frío o tener la opción de calefacción. También se pueden tener calentadores de combustibles, refrigerantes y otros para la operación óptima de los equipos.
- Si se encuentra en zonas costeras donde la salinidad del aire puede corroer casetas, tanques de combustibles u otros equipos, se deben tomar las medidas necesarias tales como casetas especiales, o pinturas que ayuden a evitar la corrosión.
- Se debe contar con acceso para mantenimiento, reparaciones y pruebas.
- Se debe contar con medidas de seguridad para impedir el paso de personas no autorizadas.
- Distancia con otros límites de propiedad.
- El escape de las emisiones del motor deben estar dirigidas a zonas abiertas sin riesgos de contacto con vida humana. Se debe revisar las normativas del país para las emisiones.
- Protección contra rayos.

- Puesta a Tierra de las carcasas de los equipos para evitar descargas eléctricas a personas.

#### 4.3.1.2. Interiores:

Si la ubicación de estos equipos es en interiores, se debe verificar lo siguiente:

- Un cuarto especial para el generador y sus equipos, o solo para el generador. Este cuarto se especifica según ley y en muchos casos debe ser a prueba de fuego durante un tiempo requerido por esta.
- Se debe contar con acceso para la instalación, el mantenimiento, el servicio, las reparaciones y pruebas de todos los equipos.
- Sistemas de ventilación.
- El escape de las emisiones del motor debe ser hacia los exteriores. Se debe revisar las normativas para las cantidades de emisiones que pueden ser desechadas hacia el medio ambiente.
- El almacenaje del combustible y los sistemas de alimentación de este hacia el motor, deben estar regidos por el Código Eléctrico Nacional u otros estándares y normativas.
- Las estructuras de la ubicación interior deben resistir las vibraciones.

#### 4.3.2. Ambientales:

En cuanto a las consideraciones ambientales se deben verificar con los reglamentos, estatutos y las normas que existen para el ruido, las emisiones, y la protección de incendios que deben tener estos sistemas.

##### 4.3.2.1. Ruido

La norma COVENIN 1565:1995 en sitios ocupacionales establece un límite de exposición de 85 dBA para una jornada de trabajo de 8 Horas. Otro criterio que se puede tomar en cuenta es el de la normativa OSHA que establece un límite de 90 dB.

Para el grupo moto-generador se debe especificar un nivel de ruido continuo de 85 dBA a un (1) metro de distancia o tres (3) pies.

Si no se cumple lo anterior se deben tomar medidas de precaución como cabinas de insonorización y/o implementos reductores de audición para el personal expuesto.

Las cabinas de insonorización deben ser de un tamaño tal que permita el acceso al grupo moto-generador para la realización de pruebas, mantenimiento o reparaciones. Estas cabinas deben permitir el flujo de aire de refrigeración pero sin permitir la salida del ruido hacia el exterior.

En caso de exposición del grupo moto-generador en zonas externas donde afecten otros establecimientos se debe cumplir con lo contenido en el DECRETO N° 2217 de 23 de ABRIL de 1992 “Normas sobre el control de contaminación generada por ruido”.

#### 4.3.2.2. Emisiones y Escape.

Según el DECRETO N° 638 del 26 de ABRIL de 1995 “Normas sobre calidad del aire y control de la contaminación atmosférica” se decreta la concentración máxima de emisión permisible de un contaminante del aire, descargado a la atmósfera a través de una chimenea o ducto, establecida para proteger la salud y el ambiente.

## **CAPÍTULO 5**

### **HERRAMIENTA COMPUTACIONAL DESARROLLADA**

#### **5.1. INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de la hoja de cálculo representa una herramienta importante para el Departamento de Ingeniería Eléctrica de INELECTRA, siendo la misma una opción práctica al momento de determinar la capacidad del generador de emergencia.

El programa se desarrolló en Microsoft Excel, siendo esta una herramienta de fácil acceso y de simple uso.

Esta herramienta tiene como objetivo calcular la caída de tensión en los bornes del generador conociendo las cargas a ser alimentadas en el estado de emergencia, las potencias de arranque de estas cargas y los parámetros del generador a comprobar.

#### **5.2. HOJA DE CÁLCULO**

Esta Herramienta consta de tres páginas principales, en la primera se introducen el TAG o identificación del equipo, el tipo de carga, la potencia, el factor de potencia y la eficiencia. Con los datos introducidos la herramienta arroja la potencia en kilovatios y en kilo-voltio-ampere que demandan las cargas en el estado de emergencia, además, se proporciona esta potencia con un 20 % de reserva para poder evaluar dos generadores a la vez. Ver figura 5.1.

		TITULO:											
		PROYECTO:											
		ELABORADO POR:											
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA		REVISADO POR:											
N° equipo	Descripción	T I P O	Equipos			Cargas			Factor de Potencia	Eficiencia	Potencias		
			Iluminación	Motores	Otras	KW = HP(motor) * 0.746/eficiencia(motor) kVAr = √(kVA² - kW²) kVA = kW / factor de potencia							
						kVA	HP	kVA			kW	kVAr	kVA
1							1	1	0.00	0.00	0.00		
2							1	1	0.00	0.00	0.00		
3							1	1	0.00	0.00	0.00		
4							1	1	0.00	0.00	0.00		
5							1	1	0.00	0.00	0.00		
6							1	1	0.00	0.00	0.00		
7							1	1	0.00	0.00	0.00		
8							1	1	0.00	0.00	0.00		
9							1	1	0.00	0.00	0.00		
10							1	1	0.00	0.00	0.00		
11							1	1	0.00	0.00	0.00		
12							1	1	0.00	0.00	0.00		
13							1	1	0.00	0.00	0.00		
14							1	1	0.00	0.00	0.00		
15							1	1	0.00	0.00	0.00		
									Total	0.00	0.00	0.00	
Capacidad del generador sin reserva		0.00										kVA	
Capacidad del generador con 20% de reserva		0.00										kW	
Capacidad del generador con 20% de reserva		0.00										kVA	
Capacidad del generador con 20% de reserva		0.00										kW	

Figura 5.1. Hoja para el cálculo de la potencia demandada en estado de emergencia.

En la segunda hoja se introducen todos los motores arrancando simultáneamente con su identificación y su potencia, luego se introduce la letra por código de diseño NEMA o el factor de multiplicación que indica cuantas veces es mayor la potencia de arranque vs. La potencia nominal. Luego, se introduce el método de arranque del motor o el factor de multiplicación que reduce la potencia de arranque del motor, con todos los datos introducidos la herramienta arroja la potencia de arranque total que producen los motores si arrancan simultáneamente. Ver figura 5.2.

	TÍTULO:								
	PROYECTO:								
	ELABORADO POR:								
	DEPARTAMENTO DE INGENIERIA ELECTRICA		REVISADO POR:						
Cálculo de SkVA Totales (todos los motores prendidos simultaneamente)									
Motores				Código de diseño NEMA	Factor de Multiplicación específico en caso de no haber código	Potencia de arranque sin arrancador skVA	Método de Arranque de Motores	Otro método de Arranque 0/1kVA@V	Potencia de arranque skVA
Nº de Equipo	Descripción	Potencia hp							
8						0			0
9						0			0
10						0			0
11						0			0
12						0			0
13						0			0
14						0			0
15						0			0
								Total SKVA	0

Figura 5.2. Hoja para el cálculo de la potencia de arranque de todos los motores arrancando simultáneamente.

En la tercera hoja, se introducen los motores organizados en etapas de mayor a menor, luego se introducen todos los datos de la segunda hoja y la eficiencia de cada motor. Entonces, la herramienta arroja como resultados la potencia de arranque de cada conjunto de motores. En esta hoja se pueden variar las etapas para reducir la potencia de entrada. Ver figura 5.3.

		TITULO:									
		PROYECTO:									
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA		ELABORADO POR:									
		REVISADO POR:									
Cálculo de SkVA Totales (todos los motores prendidos)					Cálculo de SkVA (Arranque por etapas)						
Retardo en Segundos	Grupos de Arranque	N° de Equipo	Motores Descripción	Potencia	Eficiencia	Potencia Activa	Motores en funcionamiento	Motores en funcionamiento y motor sieado arrancado	Porcentaje de carga de motores	Compensación por motores encendidos	Potencia efectiva de arranque
				hp		kW					kW/etapa-1
0	1	1					0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	0
		2									
		3									
		4									
		5									
10	2	6					0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		7									
		8									
		9									
		10									
20	3	11					0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		12									
		13									
		14									
		15									
30	4	16					0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		17									
		18									
		19									
		20									
40	5	21					0	0	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
		22									
		23									
		24									
		25									

Figura 5.3. Hoja para el cálculo de la potencia de arranque por etapas.

Además, la herramienta cuenta con dos hojas para determinar la curva de caída de tensión en bornes del generador respecto a la potencia de arranque. Esto, introduciendo los parámetros del generador seleccionado y el rango de posibles potencias de arranque que se deben soportar. Ver figura 5.4 y 5.5.

Xd' (pu)	kVA nom gen	SkVA	%SkVA/kVAgen	Voltage dip (%)
1			#DIV/0!	#DIV/0!
2			#DIV/0!	#DIV/0!
3			#DIV/0!	#DIV/0!
4			#DIV/0!	#DIV/0!
5			#DIV/0!	#DIV/0!
6			#DIV/0!	#DIV/0!
7			#DIV/0!	#DIV/0!
8			#DIV/0!	#DIV/0!
9			#DIV/0!	#DIV/0!
10			#DIV/0!	#DIV/0!
11			#DIV/0!	#DIV/0!
12			#DIV/0!	#DIV/0!
13			#DIV/0!	#DIV/0!
14			#DIV/0!	#DIV/0!
15			#DIV/0!	#DIV/0!

Figura 5.4. Hoja para introducir los parámetros del generador y rango de potencias de arranque.

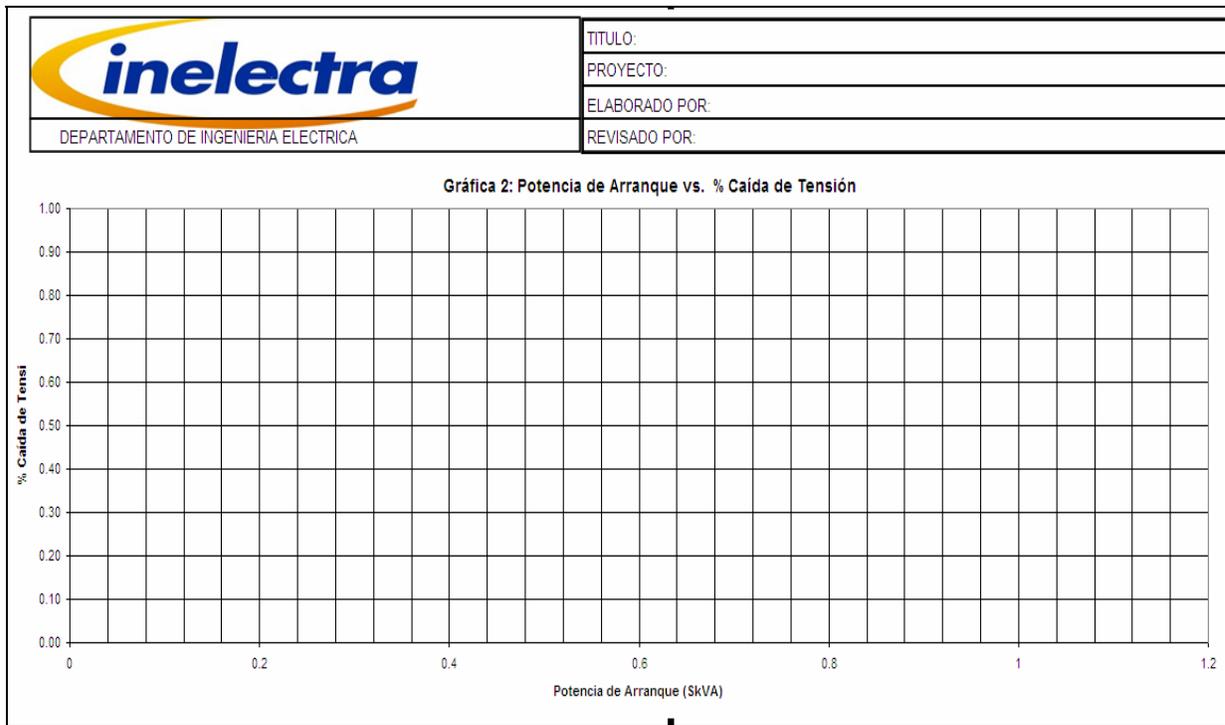


Figura 5.5. Hoja que muestra la gráfica de caída de tensión vs. La potencia de arranque.

La importancia de esta herramienta aparte de las mencionadas anteriormente es que se pueden variar los parámetros de la máquina, los grupos de arranque de los motores y los métodos de arranque.

## CAPÍTULO 6

### COMPARACIÓN DE METODOLOGÍAS EN EL CÁLCULO DE CAPACIDADES PARA GENERADORES

En este capítulo se compara la metodología desarrollada para el cálculo de la capacidad del generador. Se comparó la curva de caída de tensión en bornes del generador por la potencia de arranque con la metodología propuesta por la IEEE y NEMA con la curva de un fabricante. Además, se comparó los resultados obtenidos por la herramienta computacional con un proyecto real calculado con el programa ETAP.

#### 6.1. RESULTADOS

Se comparó los resultados del modelo planteado por la IEEE y NEMA con el generador ofertado por la empresa VENEQUIP para un proyecto realizado por la empresa. Ver Anexo E.

Datos del Generador:

V de línea: 480	Potencia (kVA): 1700
V de fase: 277	Fp: 0.8
Potencia (kW): 1360	Xd' (pu): 0.288

Tabla 6.1. Datos del generador ofertado por VENEQUIP.

Las curvas de capacidad por arranque de motores que proporcionó VENEQUIP (caterpillar) se hallaron de la siguiente manera:

- Se usó varios motores de inducción de código F de diseño NEMA que se arrancaron en los terminales del generador sin carga
- Se recaudó en un osciloscopio las caídas de tensión.
- Se utilizó los valores nominales.

A continuación se muestran los datos recaudados por VENEQUIP y por el modelo simple equivalente:

<b>SkVA</b>	<b>Porcentaje de Caída de Tensión</b>
160	2.5
328	5
505	7.5
692	10
890	12.5
1100	15
1322	17.5
1558	20
1809	22.5
2077	25
2364	27.5
2670	30
3000	32.5
3355	35
3739	37.5
4154	40

Tabla 6.2. Tabla de caída de tensión y de potencia de arranque por VENEQUIP.

<b>SkVA</b>	<b>Porcentaje de Caída de Tensión</b>
168	2.77
224	3.66
280	4.53
336	5.39
392	6.23
448	7.05
504	7.87
672	10.22
1120	15.95
1680	22.16
2240	27.51
3360	36.27
4200	41.57

Tabla 6.3. Tabla de caída tensión y potencia arranque por el modelo planteado.

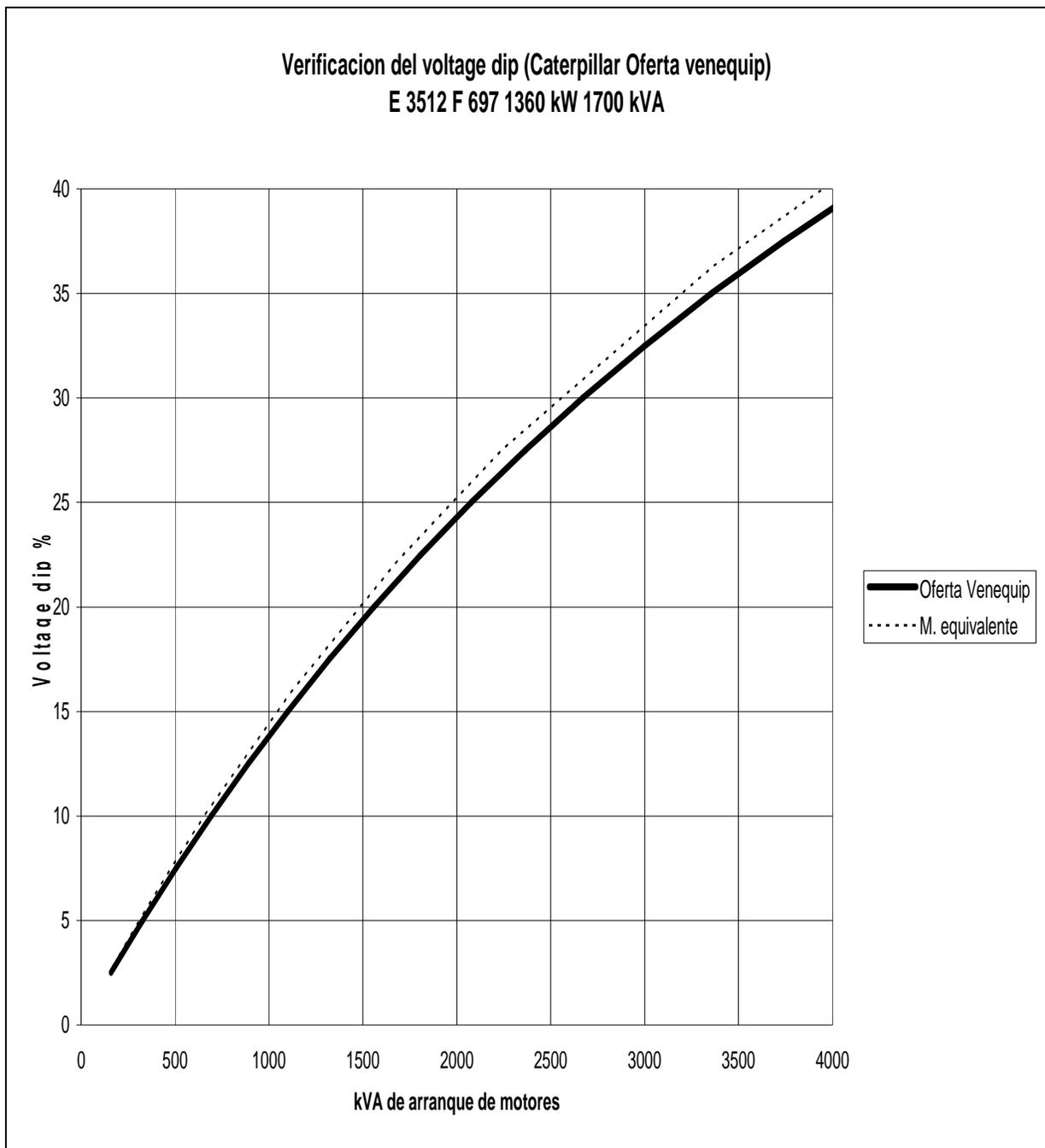


Figura 6.1. Caída de tensión por VENEQUIP y por el modelo Equivalente.

También, se comparó los resultados de la herramienta desarrollada con los datos de un proyecto realizado por la empresa. A continuación se muestran los resultados.

Equipos			Cargas				
N° equipo	Descripción	T I P O	Iluminación	Motores	Otras	Factor de Potencia	Eficiencia
DTR-330-13	Space Heater Transformer (480/208V)	CE			13.5	0.8	0.94
K-133033	Flare Blower included un PK-133012	CE		80		0.85	0.9
K-133004	Boiler air blower included in PK-133015	CE		60		0.85	0.9
K-133007A	SBR blower incl PK -133009	CE		32		0.85	0.9
P-131015A	Close drain pump	CE		16.1		0.85	0.9
P-133006A	KOD pump	CE		4		0.85	0.9
P-133008A	Boiler feed water pump	CE		80		0.85	0.9
P-133010A	Flushing oil pump	CE		80		0.85	0.9
P-133013A	Deminirilizad water pump	CE		12		0.85	0.9
P-133015A	LP condensate water pump	CE		6		0.85	0.9
P-133027A	Wastewater transfer pump	CE		6		0.85	0.9
P-133042A	LP flare pump incl. In PK-133019	CE		1.6		0.85	0.9
PK-133001-1	Breaker compressor air package PK-133001	CE		123.6		0.85	0.9
RU-330-01A	D/C charger (rectifier)	CE			16.875	0.8	0.94
UPS- 330-01-1	UPS control room	CE			65	0.8	0.95

Tabla 6.4. Lista de Cargas de Emergencia utilizadas en el proyecto.

Potencia demandada por las cargas de emergencia	
Programa Comercial	Herramienta Computacional
496.11 kW	496.11 kW

Tabla 6.5. Potencias demandadas por las cargas de emergencia.

Se asumió que todos los motores de la lista son de código de diseño NEMA tipo F y arrancados a plena tensión. En la siguiente tabla se muestran las potencias de arranque.

Motores			Potencia de arranque
N° de Equipo	Descripción	Potencia	
		hp	SkVA
K-133033	Flare Blower included un PK-133012	80	424
K-133004	Boiler air blower included in PK-133015	60	318
K-133007A	SBR blower incl PK -133009	32	169.6
P-131015A	Close drain pump	16.1	85.33
P-133006A	KOD pump	4	21.2
P-133008A	Boiler feed water pump	80	424
P-133010A	Flushing oil pump	80	424
P-133013A	Deminirilizad water pump	12	63.6
P-133015A	LP condensate water pump	6	31.8
P-133027A	Wastewater transfer pump	6	31.8
P-133042A	LP flare pump incl. In PK-133019	1.6	8.48
PK-133001-1	Breaker compressor air package PK-133001	123.6	655.08
		Total SkVA	2657

Tabla 6.6. Potencia de Arranque de las cargas de emergencia.

En la siguiente tabla se tienen las cargas agrupadas en orden de mayor a menor para mantener niveles de potencia de arranque bajos para que el generador soporte esa magnitud cuando arranque.

Retardo en Segundos	Grupos de Arranque		Motores			Potencia efectiva de arranque
			N° de Equipo	Descripción	Potencia	
					hp	SkVA
0	1	1	PK-133001-1	Breaker compressor air package PK-133001	123.6	655
		2				
		3				
		4				
		5				
10	2	6				645
		7	K-133004	Boiler air blower included in PK-133015	60	
		8	K-133007A	SBR blower incl PK -133009	32	
		9	P-131015A	Close drain pump	16.1	
20	3	10	P-133006A	KOD pump	4	621
		11				
		12	P-133010A	Flushing oil pump	80	
		13	P-133013A	Deminirilizad water pump	12	
		14	P-133015A	LP condensate water pump	6	
30	4	15				579
		16	P-133027A	Wastewater transfer pump	6	
		17	P-133042A	LP flare pump incl. In PK-133019	1.6	
		18	K-133033	Flare Blower included un PK-133012	80	
		19				
40	5	20				541
		21	P-133008A	Boiler feed water pump	80	
		22				
		23				
		24				
		25				

Tabla 6.7. Potencia de arranque de los motores agrupados en etapas.

En la siguiente tabla se muestran los datos del generador que fue solicitado por la empresa para el proyecto y que se utilizó para comparar los resultados. En el Anexo E se encuentra la hoja de datos de este generador.

Xd' (pu)	0.2244
kW nom gen	500
kVA nom gen	625
VL-L nom gen (pu)	1

Tabla 6.8. Datos del generador utilizado.

SkVA	%SkVA/kVAgen	Voltage dip (pu)	Voltage dip (%)
100	16.00	0.03	3.47
200	32.00	0.07	6.70
300	48.00	0.10	9.72
400	64.00	0.13	12.56
450	72.00	0.14	13.91
500	80.00	0.15	15.22
600	96.00	0.18	17.72
700	112.00	0.20	20.08
800	128.00	0.22	22.31
900	144.00	0.24	24.42
1000	160.00	0.26	26.42
1100	176.00	0.28	28.31
1200	192.00	0.30	30.11
1428	228.48	0.34	33.89
2657	425.12	0.49	48.82

Tabla 6.9. Caída de Tensión por potencia de arranque para el generador utilizado.

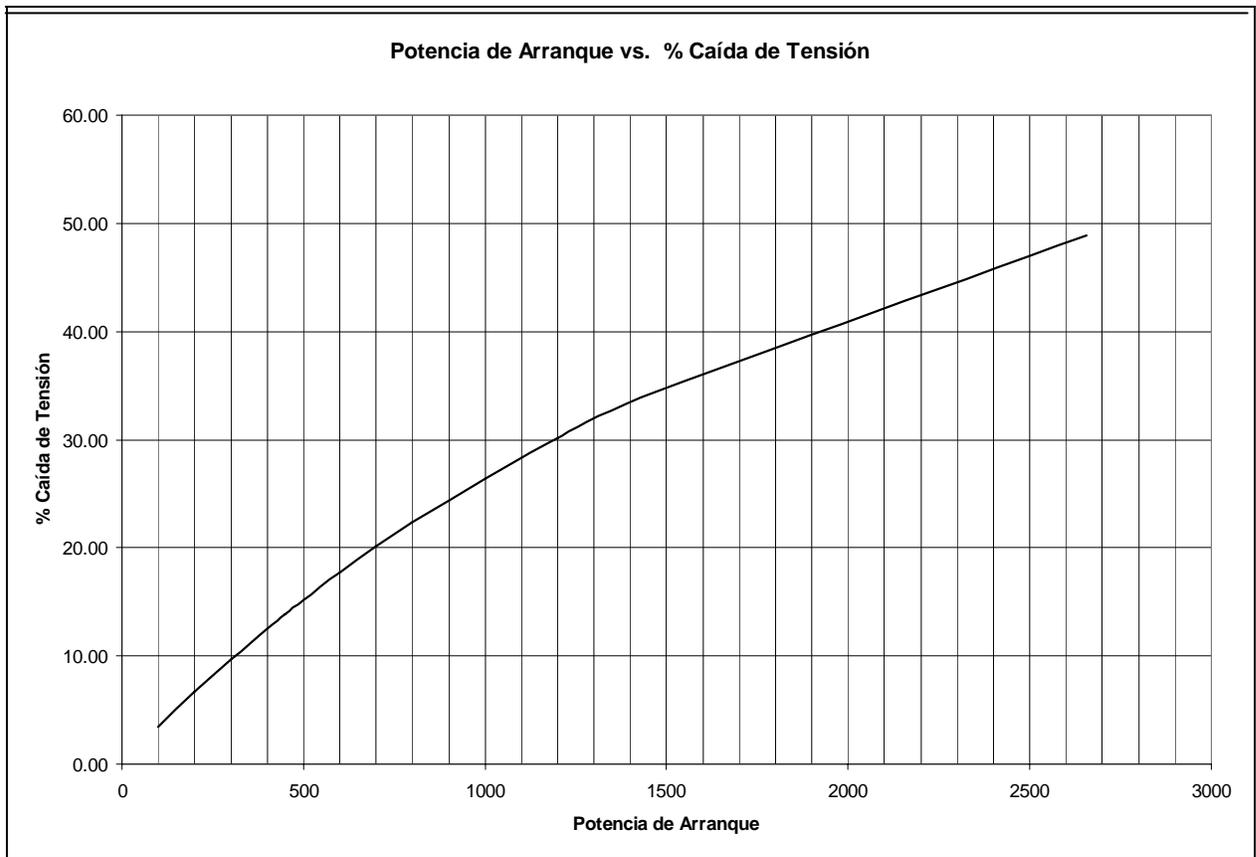


Figura 6.2. Curva de caída de tensión por potencia de arranque del generador utilizado (metodología desarrollada).

En el Anexo F se encuentra la hoja de especificación de un generador CATERPILLAR que cumple la potencia demandada. Además, se tiene que como capacidad ante el arranque de motores tiene 1428 SkVA a 30 % de caída de tensión.

## 6.2. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A partir de los resultados, se deduce que la metodología planteada por la IEEE y NEMA es confiable ya que los valores se asemejan a los valores suministrados por los fabricantes, aunque esto es así, es recomendable que se utilice sólo para el pre-dimensionamiento del generador y no para el proyecto real.

En cuanto a la Herramienta, se deduce que los valores de potencia son confiables puesto que resultan iguales que los valores obtenidos para el proyecto (496.11 kW). No se comprobó las potencias de arranque puesto que los programas comerciales no trabajan bajo estas premisas y requieren de más datos.

También se puede concluir que para el proyecto el generador no puede con todas las cargas arrancadas al mismo tiempo, puesto que se genera una caída de tensión de aproximadamente un 50 % a 2657 SkVA (ver tabla 6.4), razón por la cual se establecen grupos de motores para ser arrancados por etapas (ver tabla 6.5) y en cada una de estas no se pase de 700 SkVA que es el valor correspondiente para generar el límite normalmente permitido de caída de tensión de un 20% (ver tabla 6.7).

## CAPÍTULO 7

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 7.1. CONCLUSIONES

Los sistemas de generación de emergencia son importantes en el diseño eléctrico puesto que deben operar correctamente sin previo aviso, por lo tanto deben estar correctamente dimensionados, probados y mantenidos.

- Se concluyó que el modelo equivalente simple de la máquina sincrónica y la modelación de la carga en el arranque como constante son una buena aproximación para realizar el cálculo de la caída de tensión en bornes del generador por el arranque de motores u otras cargas. También, esta condición es la que principalmente determina la capacidad del generador, puesto que este no sólo debe soportar la potencia nominal de todas las cargas que deben arrancar en el estado de emergencia sino soportar la potencia de arranque de las mismas.

- Se desarrolló una guía que simplifica el dimensionamiento y la especificación de los sistemas de generación de emergencia contemplando las normas y condiciones que se deben tomar en cuenta para la determinación de estos.

- En el ejemplo de cálculo que se realizó con la herramienta computacional se obtuvieron resultados aproximados a los obtenidos por las curvas de los fabricantes y a los del proyecto.

- La herramienta computacional que se realizó, ayuda en los procesos de oferta de los proyectos para pre-dimensionar los sistemas de generación de emergencia en un menor tiempo.

Es importante conocer todos los aspectos del grupo moto-generador para poder especificar y seleccionar el mismo. Este depende de una gran cantidad de normas y de diferentes equipos.

## 7.2. RECOMENDACIONES

Para continuar con el trabajo desarrollado, se recomienda lo siguiente:

- Validar la metodología con distintos programas que calculen la caída de tensión por el arranque de motores.
- Realizar una metodología para el análisis de estabilidad de frecuencia.
- Desarrollar un modelo equivalente y una metodología para un generador de cualquier uso, partiendo de sus necesidades.
- Mejorar el modelo equivalente de la máquina sincrónica para el cálculo de la caída de tensión por el arranque de motores.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Código Eléctrico Nacional”.  
FONDONORMA 200:2004
- [2] ALLER, José.  
“Máquinas Eléctricas Rotativas. Introducción a la teoría general”  
Universidad Simón Bolívar, Sartenejas, 2006
- [3] IEEE Standard 446. The Orange Book.  
“Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for  
Industrial And Commercial Applications”, 1995
- [4] NEMA Standards Publications No. MG 1  
“Motors and Generators”, 2003
- [5] CUMMINS POWER GENERATION. Manual de Aplicaciones  
“Generadores Enfriados por Líquido”, 2004
- [6] HICKEY, Robert B.  
“Electrical Engineer’s Portable Handbook”  
McGraw-Hill, 2da Edición, 2004
- [7] VIVAS, Domingo  
“Selección y Diseño de Sistemas de Emergencia para un complejo Industrial”  
Universidad Simón Bolívar, Sartenejal, 1997

- [8] SIEMENS. Generator Sizing Guide  
“On Site Estimating Sheet”
- [9] NORTHER LIGHTS, Diesel Electric & Power Systems.  
“Generator Set Application Guide for Prime and Stand-By Power Generator Sets”
- [10] PDVSA. Manual de Ingeniería de Diseño  
“GENERADORES DE EMERGENCIA”
- [11] PDVSA. Manual de Inspección  
“GENERADORES ELECTRICOS”

## ANEXOS

### A-. ESQUEMAS DE EXCITACION

Figura A.1 Generador Auto – excitado.

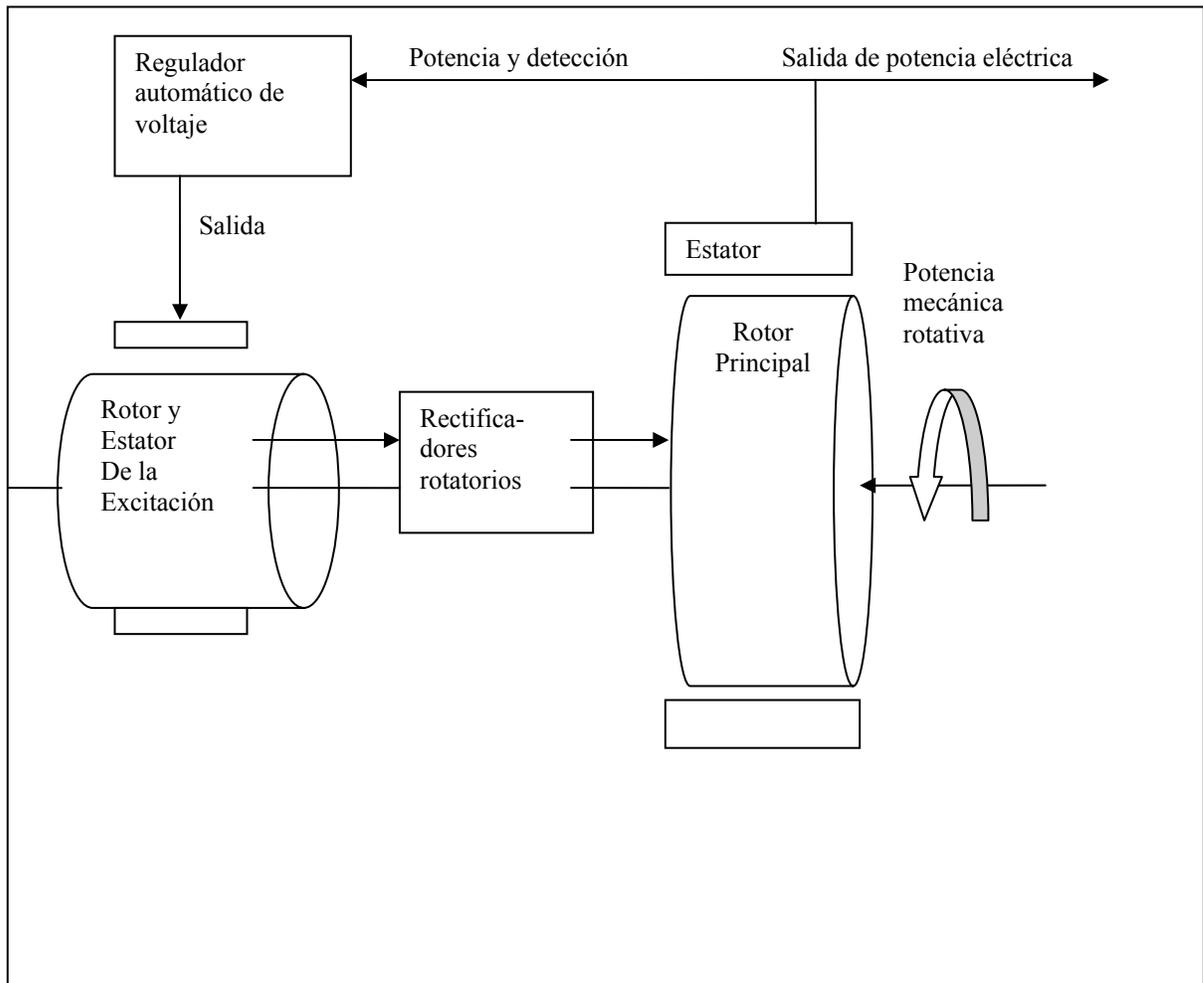
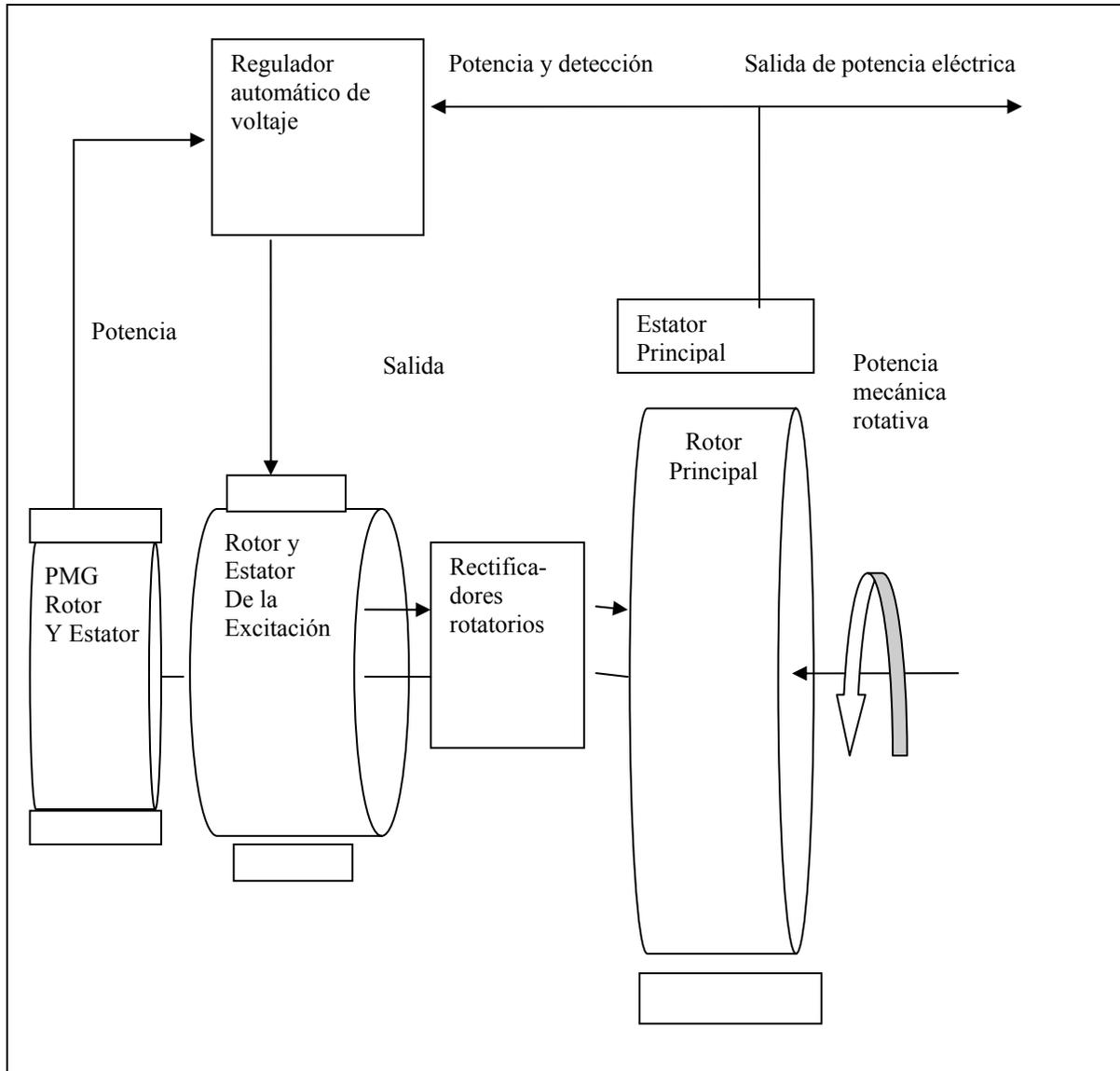


Figura A.2 Generador Excitado Separadamente o por Imán Permanente.



B-. METODOS DE ARRANQUE DEL MOTOR DIESEL.

Figura B.1. Arranque por aire comprimido.

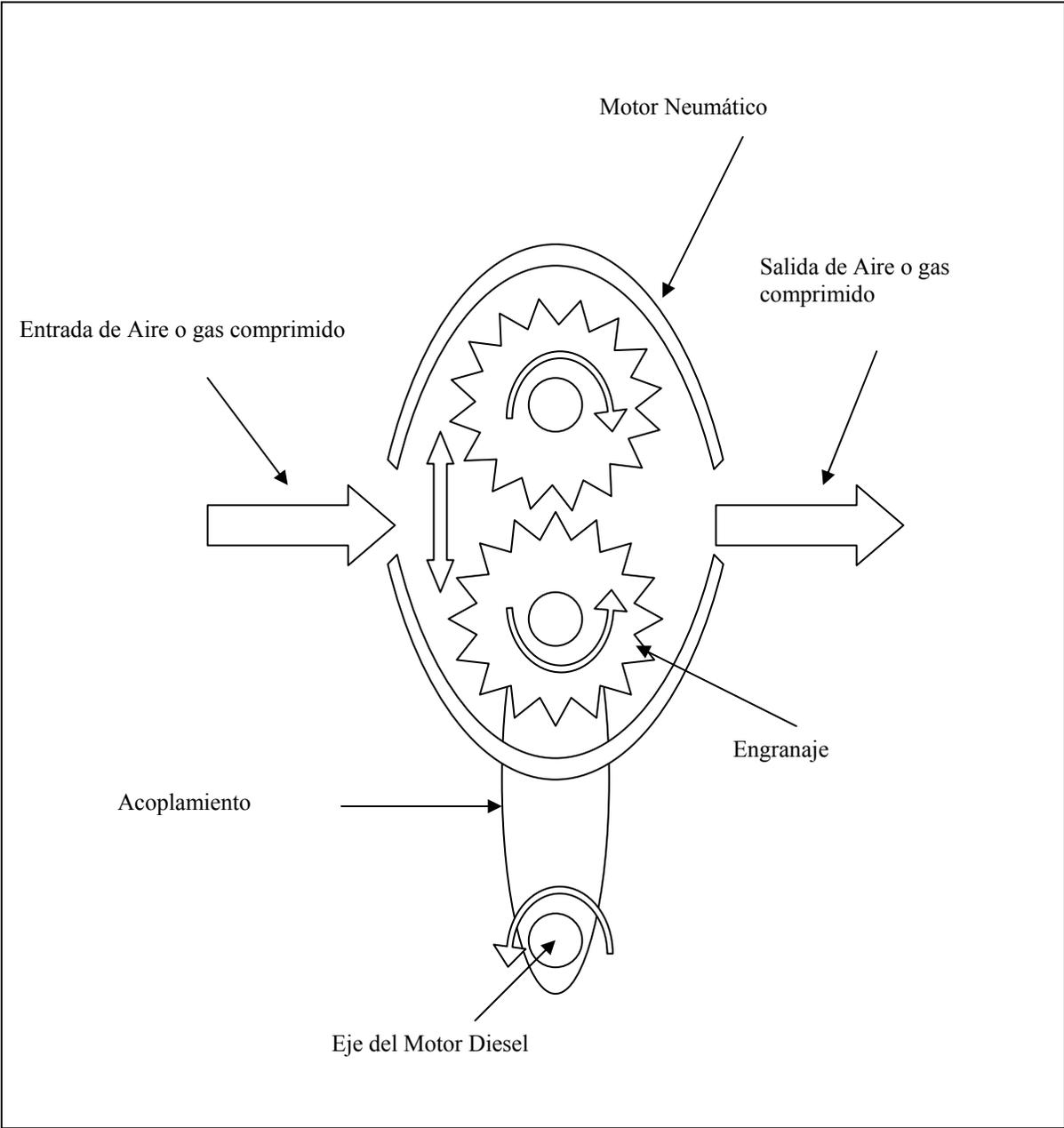
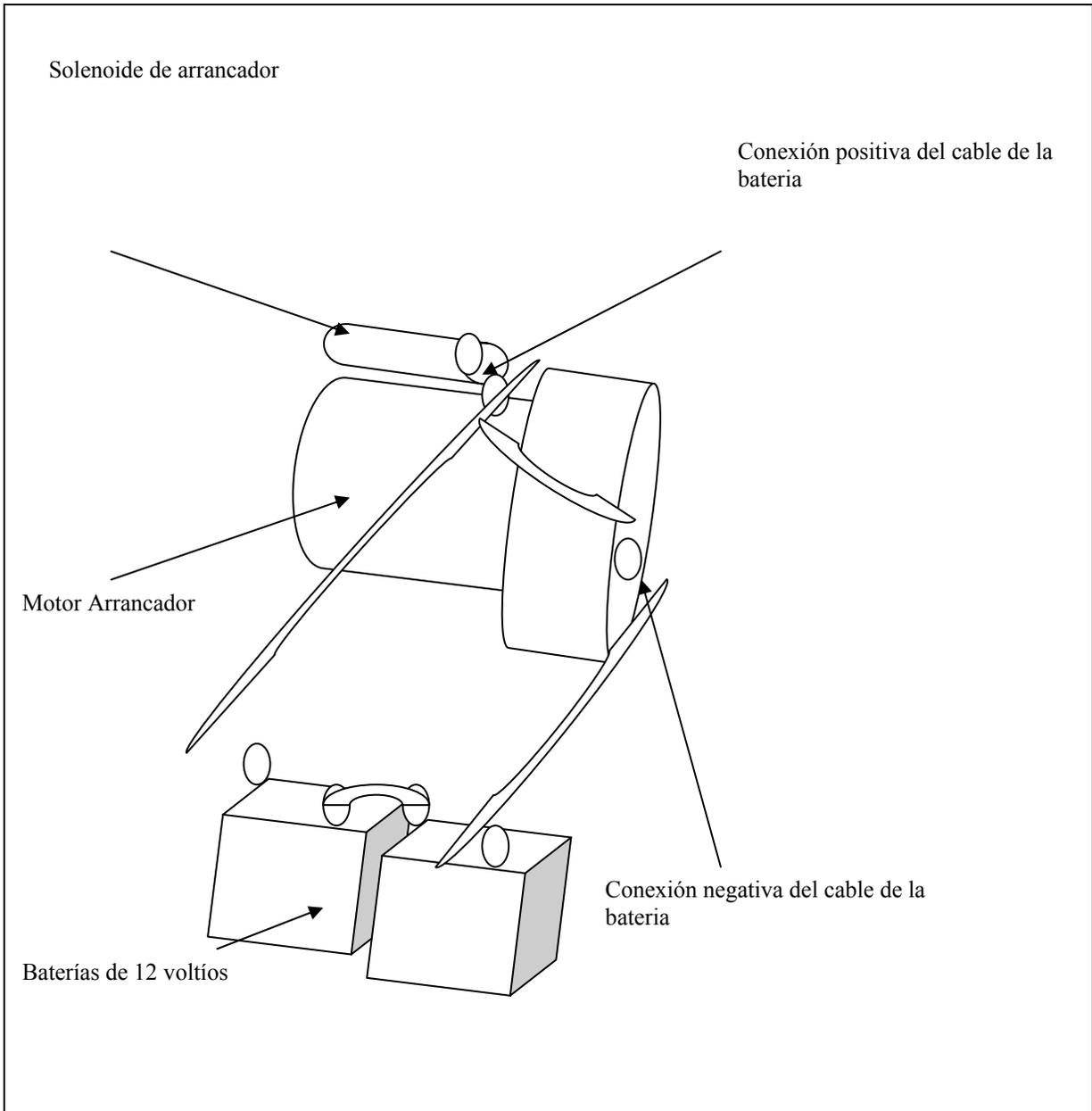


Figura B.2. Arranque por baterías.



## C-. TABLAS UTILIZADAS

A continuación se muestran algunas tablas que pueden ser utilizadas en caso de que no se tenga suficiente información sobre motores para introducirlos en la herramienta computacional.

Tabla C.1. Potencia a Rotor Bloqueado.

<b>Letra de código (Locked - Rotor kVA)</b>			
<b>Letra</b>	<b>kVA/Hp</b>	<b>Letra</b>	<b>kVA/Hp</b>
<b>A</b>	0 - 3.15	<b>K</b>	8.0 - 9.0
<b>B</b>	3.15 - 3.55	<b>L</b>	9.0 - 10.0
<b>C</b>	3.55 - 4.0	<b>M</b>	10.0 - 11.2
<b>D</b>	4.0 - 4.5	<b>N</b>	11.2 - 12.5
<b>E</b>	4.5 - 5.0	<b>P</b>	12.5 - 14.0
<b>F</b>	5.0 - 5.6	<b>R</b>	14.0 - 16.0
<b>G</b>	5.6 - 6.3	<b>S</b>	16.0 - 18.0
<b>H</b>	6.3 - 7.1	<b>T</b>	18.0 - 20.0
<b>J</b>	7.1 - 8.0	<b>U</b>	20.0 - 22.4
		<b>V</b>	>22.4

Fuente: NEMA MG 1-2003

Tabla C.2. Eficiencia nominal a plena carga, para motores de 600v y menores.

Hp	Motores abiertos			Motores encapsulados		
	2	4	6	2	4	6
1.0	77	85.5	82.5	77	85.5	82.5
1.5	84.0	86.5	86.5	84.0	86.5	87.5
2.0	85.5	86.5	87.5	85.5	86.5	88.5
3.0	85.5	89.5	88.5	86.5	89.5	89.5
5.0	86.5	89.5	89.5	88.5	89.5	89.5
7.5	88.5	91.0	90.2	89.5	91.7	91.0
10.0	89.5	91.7	91.7	90.2	91.7	91.0
15.0	90.2	93.0	91.7	91.0	92.4	91.7
20.0	91.0	93.0	92.4	91.0	93.0	91.7
25.0	91.7	93.6	93.0	91.7	93.6	93.0
30.0	91.7	94.1	93.6	91.7	93.6	93.0
40.0	92.4	94.1	94.1	92.4	94.1	94.1
50.0	93.0	94.5	94.1	93.0	94.5	94.1
60.0	93.6	95.0	94.5	93.6	95.0	94.5
75.0	93.6	95.0	94.5	93.6	95.4	94.5
100.0	93.6	95.4	95.0	94.1	95.4	95.0
125.0	94.1	95.4	95.0	95.0	95.4	95.0
150.0	94.1	95.8	95.4	95.0	95.8	95.8
200.0	95.0	95.8	95.4	95.4	96.2	95.8
250.0	95.0	95.8	95.4	95.8	96.2	95.8
300.0	95.4	95.8	95.4	95.8	96.2	95.8
350.0	95.4	95.8	95.4	95.8	96.2	95.8
400.0	95.8	95.8	95.8	95.8	96.2	95.8
450.0	95.8	96.2	96.2	95.8	96.2	95.8
500.0	95.8	96.2	96.2	95.8	96.2	95.8

Fuente: NEMA MG 1-2003

Tabla C.3. Métodos y características del arranque de voltaje reducido.

METODO DE ARRANQUE	% TOTAL DE VOLTAJE APLICADO (TAP)	% TOTAL VOLTAJE KVA	% TOTAL VOLTAJE TORQUE	SKVA FACTOR DE MULTIPLICACION	SPF
Voltaje total	100	100	100	1.0	-
Autotransformador de Voltaje reducido	80	64	64	0.64	-
	65	42	42	0.42	-
	50	25	25	0.25	-
Reactor en Serie	80	80	64	0.80	-
	65	65	42	0.65	-
	50	50	25	0.50	-
Resistencia en Serie	80	80	64	0.80	0.60
	65	65	42	0.65	0.70
	50	50	25	0.50	0.80
Estrella Delta	100	33	33	0.33	-
Devanado de Parte (Típico)	100	60	48	0.6	-
Motor de Rotor Embobinado	100	160 <sup>*</sup>	100 <sup>*</sup>	1.6 <sup>*</sup>	-

<sup>\*</sup> – Estos son porcentajes de factores de corriente de funcionamiento, los cuales dependen del valor de las resistencias en serie sumadas al devanado del motor.

Fuente: CUMMINS Manual de aplicaciones “Generadores enfriados por líquido”

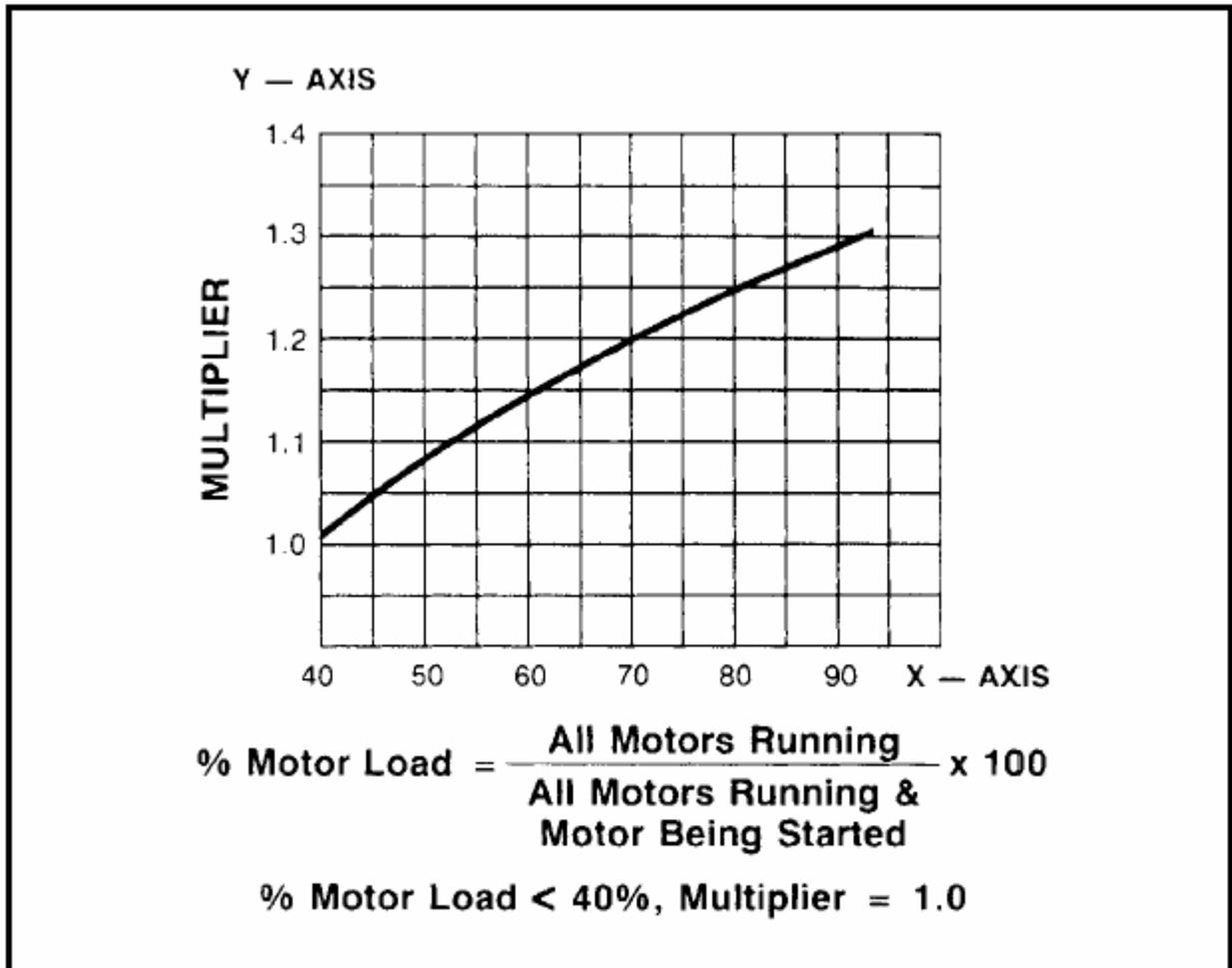
Tabla C.4. Tolerancias típicas de voltaje y frecuencia.

EQUIPO	VOLTAJE	FRECUENCIA	COMENTARIOS
Motores de Inducción	+/- 10%	+/-5%	El bajo voltaje resulta en bajo torque y alta temperatura El alto voltaje resulta en torque y amperes de arranque incrementados.
Bobinas, Arrancadores de Motor %	+/-10%	N/A	La fuerza de contención de una bobina y su constante en el tiempo de decaimiento son proporcionales a las vueltas-ampere de la bobina. Las bobinas más pequeñas, pueden salir dentro de estas tolerancias para la caída de transición. Una caída de voltaje retransición de 30 a 40% durante más de dos ciclos puede causar la salida de la bobina.
Iluminación Incandescente	+10%, -25%	N/A	El bajo voltaje resulta en 65% de luz. El alto voltaje resulta en 50% de vida. La baja frecuencia hace que la luz parpadee.
Iluminación Fluorescente	+/-10%	N/A	El alto voltaje resulta en sobrecalentamiento.
Iluminación HID	+10%, -20%	N/A	El bajo voltaje resulta en apagados. El alto voltaje resulta en sobrecalentamiento.
UPS estático	+10%, -15%	+/-5%	No se descarga la batería hasta el-20% del voltaje. Los UPSs son sensibles a un rango de cambio de frecuencia (slew rate) de más de 0.5Hz/seg. Podría ser necesario sobredimensionar el generador para limitar la distorsión armónica del voltaje.
VFDs	+10%, -15%	+/-5%	Los VFDs son sensibles a los rangos de cambio de frecuencia de más de 1 HZ/seg. Podría ser necesario sobredimensionar el generador para limitar la distorsión armónica del voltaje.
Si el voltaje no se recupera al 90% los dispositivos protectores de bajovoltaje se dispararán, los dispositivos de sobrecorriente podrían interrumpir, los arrancadores de voltaje reducido se bloquearán o brincarán y los motores podrían detenerse o no tener la aceleración aceptable			

Fuente: CUMMINS Manual de aplicaciones “Generadores enfriados por líquido”

## D-. GRAFICA DE APROXIMACION DE POTENCIA POR ARRANQUE EN ETAPAS

Figura D.1. Gráfica de compensación por el arranque en etapas de motores.



Fuente: Electrical Engineer's Portable Handbook

# E-. OFERTA DE UN GENERADOR CATERPILLAR POR VENEQUIP

## GENERATOR DATA

**JULY 06, 2005**

Can't find what you're looking for? [Click here](#)

### Selected Model

**Engine:** 3512    **Generator Frame:** 697    **Genset Rating (kW):** 1360.0    **Line Voltage:** 480  
**Fuel:** Diesel    **Generator Arrangement:** 1441706    **Genset Rating (kVA):** 1700.0    **Phase Voltage:** 277  
**Frequency:** 60    **Excitation Type:** Permanent Magnet    **Pwr. Factor:** 0.8    **Rated Current:** 2044.8  
**Duty:** PRIME    **Connection:** SER STAR    **Application:** EPG    **Status:** Current

Version: 38504 /38433 /38180 /1078

### Spec Information

Generator Specification			Generator Efficiency		
<b>Frame:</b> 697	<b>Type:</b> SR4B	<b>No. of Bearings:</b> 1	<b>Per Unit Load</b>	<b>kW</b>	<b>Efficiency %</b>
<b>Winding Type:</b> RANDOM WOUND		<b>Flywheel:</b> 21.0	0.25	340.0	96.3
<b>Connection:</b> SER STAR		<b>Housing:</b> 00	0.5	680.0	95.5
<b>Phases:</b> 3		<b>No. of Leads:</b> 6	0.75	1020.0	95.9
<b>Poles:</b> 4		<b>Wires per Lead:</b> 8	1.0	1360.0	95.9
<b>Sync Speed:</b> 1800		<b>Generator Pitch:</b> 0.7333	1.1	1496.0	95.8

Reactances	Per Unit	Ohms
SUBTRANSIENT - DIRECT AXIS $X''_d$	0.1990	0.0270
SUBTRANSIENT - QUADRATURE AXIS $X''_q$	0.4280	0.0580
TRANSIENT - SATURATED $X'_d$	0.2880	0.0390
SYNCHRONOUS - DIRECT AXIS $X_d$	3.9180	0.5310
SYNCHRONOUS - QUADRATURE AXIS $X_q$	1.9480	0.2640
NEGATIVE SEQUENCE $X_2$	0.3100	0.0420
ZERO SEQUENCE $X_0$	0.1110	0.0150

Time Constants	Seconds
OPEN CIRCUIT TRANSIENT - DIRECT AXIS $T'_{d0}$	3.9660
SHORT CIRCUIT TRANSIENT - DIRECT AXIS $T''_d$	0.2874
OPEN CIRCUIT SUBTRANSIENT - DIRECT AXIS $T''_{d0}$	0.0064
SHORT CIRCUIT SUBTRANSIENT - DIRECT AXIS $T'''_d$	0.0056
OPEN CIRCUIT SUBTRANSIENT - QUADRATURE AXIS $T''_{q0}$	0.0127
SHORT CIRCUIT SUBTRANSIENT - QUADRATURE AXIS $T'''_q$	0.0113
EXCITER TIME CONSTANT $T_e$	0.2225
ARMATURE SHORT CIRCUIT $T_a$	0.0722

Short Circuit Ratio: 0.28    Stator Resistance = 0.0029 Ohms    Field Resistance = 1.666 Ohms

Voltage Regulation		Generator Excitation		
<b>Voltage level adustment:</b> +/-	5.0%	<b>No Load</b>	<b>Full Load, (rated) p</b>	
<b>Voltage regulation, steady state:</b> +/-	0.5%		<b>Series</b>	<b>Paralle</b>
<b>Voltage regulation with 3% speed change:</b> +/-	0.5%	<b>Excitation voltage:</b>	5.4 Volts	26.18 Volts    Volts
<b>Waveform deviation line - line, no load:</b> less than	3.0%	<b>Excitation current</b>	1.42 Amps	6.89 Amps    Amps
<b>Telephone influence factor:</b> less than	50			

**Selected Model**

**Engine:** 3512    **Generator Frame:** 697    **Genset Rating (kW):** 1360.0    **Line Voltage:** 480  
**Fuel:** Diesel    **Generator Arrangement:** 1441706    **Genset Rating (kVA):** 1700.0    **Phase Voltage:** 277  
**Frequency:** 60    **Excitation Type:** Permanent Magnet    **Pwr. Factor:** 0.8    **Rated Current:** 2044.8  
**Duty:** PRIME    **Connection:** SER STAR    **Application:** EPG    **Status:** Current

Version: 38504 /38433 /38180 /1078

**Generator Mechanical Information**

**Center of Gravity**

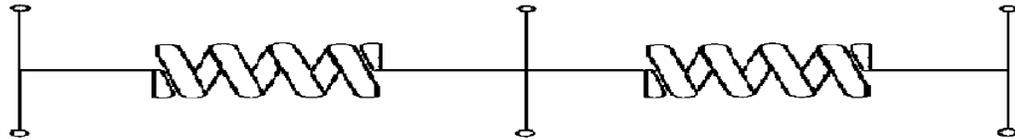
Dimension X	-883.4 mm	-34.8 IN.
Dimension Y	0.0 mm	0.0 IN.
Dimension Z	0.0 mm	0.0 IN.

- If an "X" is shown, that is the rear face of block. Forward (towards the fan) is positive.
- If a "Y" is shown, it is the crank centerline. Positive is up.
- If a "Z" dimension is shown, it is also the crank centerline, but viewed from above. Distances from the crank center line and to the right of the package are positive.

Generator WT = 3581 kg    \* Rotor WT = 1233 kg    \* Stator WT = 2347 kg  
 7,895 LB    2,718 LB    5,174 LB

Rotor Balance = 0.0508 mm deflection PTP  
 Overspeed Capacity = 150% of synchronous speed

**Generator Torsional Data**



**J1 = Coupling and Fan**

**J2 = Rotor**  
**TOTAL J = J1 + J2 + J3**

**J3 = Exciter End**

**K1 = Shaft Stiffness between J1 + J2 (Diameter 1)**

**K2 = Shaft Stiffness between J2 + J3 (Diameter 2)**

J1	K1	Min Shaft Dia 1	J2	K2	Min Shaft Dia 2	J3
23.3 LB IN. s <sup>2</sup>	207.1 MLB IN./rad	6.2 IN.	253.7 LB IN. s <sup>2</sup>	31.9 MLB IN./rad	3.8 IN.	1.6 LB IN. s <sup>2</sup>
2.634 N m s <sup>2</sup>	23.4 MN m/rad	157.5 mm	28.66 N m s <sup>2</sup>	3.6 MN m/rad	96.5 mm	0.186 N m s <sup>2</sup>
			<b>Total J</b>			
			278.6 LB IN. s <sup>2</sup>			
			31.48 N m s <sup>2</sup>			

---

**Selected Model**

**Engine:** 3512   **Generator Frame:** 697   **Genset Rating (kW):** 1360.0   **Line Voltage:** 480  
**Fuel:** Diesel   **Generator Arrangement:** 1441706   **Genset Rating (kVA):** 1700.0   **Phase Voltage:** 277  
**Frequency:** 60   **Excitation Type:** Permanent Magnet   **Pwr. Factor:** 0.8   **Rated Current:** 2044.8  
**Duty:** PRIME   **Connection:** SER STAR   **Application:** EPG   **Status:** Current  
**Version:** 38504 /38433 /38180 /1078

---

**Generator Cooling Requirements -  
Temperature - Insulation Data**

<b>Cooling Requirements:</b>		<b>Temperature Data: (Ambient 40 °C)</b>	
<b>Heat Dissipated:</b> 58.1 kW		<b>Stator Rise:</b>	105.0 °C
<b>Air Flow:</b> 0.0 m <sup>3</sup> /min		<b>Rotor Rise:</b>	105.0 °C
<b>Insulation Class:</b> H			
<b>Insulation Reg. as shipped:</b> 100.0 MΩ minimum at 40 °C			

**Thermal Limits of Generator**

<b>Frequency:</b>	60 Hz
<b>Line to Line Voltage:</b>	480 Volts
<b>B BR 80/40</b>	1411.0 kVA
<b>F BR -105/40</b>	1700.0 kVA
<b>H BR - 125/40</b>	1875.0 kVA
<b>F PR - 130/40</b>	1875.0 kVA

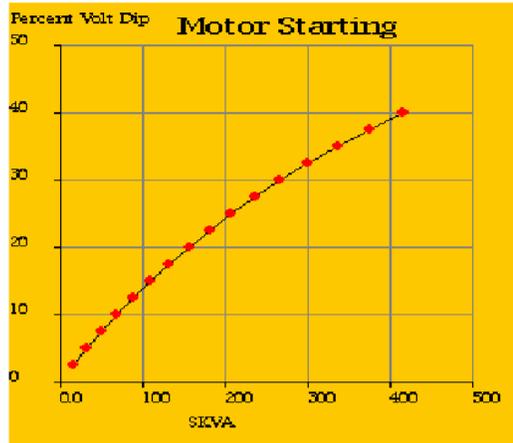
**Selected Model**

**Engine:** 3512    **Generator Frame:** 697    **Genset Rating (kW):** 1360.0    **Line Voltage:** 480  
**Fuel:** Diesel    **Generator Arrangement:** 1441706    **Genset Rating (kVA):** 1700.0    **Phase Voltage:** 277  
**Frequency:** 60    **Excitation Type:** Permanent Magnet    **Pwr. Factor:** 0.8    **Rated Current:** 2044.8  
**Duty:** PRIME    **Connection:** SER STAR    **Application:** EPG    **Status:** Current  
**Version:** 38504 /38433 /38180 /1078

**Starting Capability & Current Decrement**

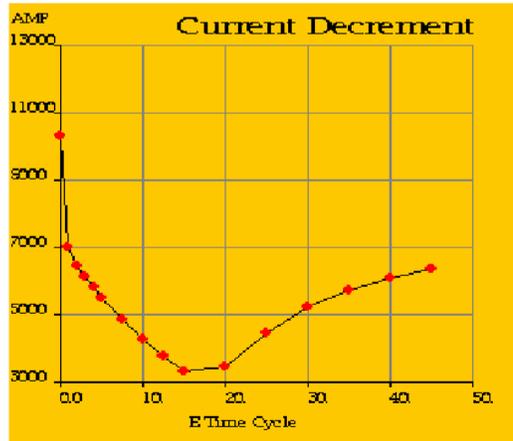
**Motor Starting Capability (0.4 pf)**

SKVA	Percent Volt Dip
160	2.5
328	5.0
505	7.5
692	10.0
890	12.5
1,100	15.0
1,322	17.5
1,558	20.0
1,809	22.5
2,077	25.0
2,364	27.5
2,670	30.0
3,000	32.5
3,355	35.0
3,739	37.5
4,154	40.0



**Current Decrement Data**

E Time Cycle	AMP
0.0	10,305
1.0	6,982
2.0	6,472
3.0	6,129
4.0	5,813
5.0	5,515
7.5	4,841
10.0	4,258
12.5	3,754
15.0	3,318
20.0	3,472
25.0	4,470
30.0	5,214
35.0	5,730
40.0	6,098
45.0	6,369



**Instantaneous 3 Phase Fault Current:** 10305 Amps    **Instantaneous Line - Line Fault Current:** 6879 Amps  
**Instantaneous Line - Neutral Fault Current:** 9777 Amps

**Selected Model**

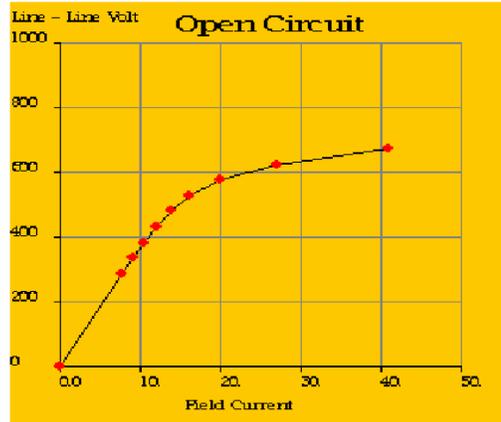
**Engine:** 3512    **Generator Frame:** 697    **Genset Rating (kW):** 1360.0    **Line Voltage:** 480  
**Fuel:** Diesel    **Generator Arrangement:** 1441706    **Genset Rating (kVA):** 1700.0    **Phase Voltage:** 277  
**Frequency:** 60    **Excitation Type:** Permanent Magnet    **Pwr. Factor:** 0.8    **Rated Current:** 2044.8  
**Duty:** PRIME    **Connection:** SER STAR    **Application:** EPG    **Status:** Current

Version: 38504 /38433 /38180 /1078

**Generator Output Characteristic Curves**

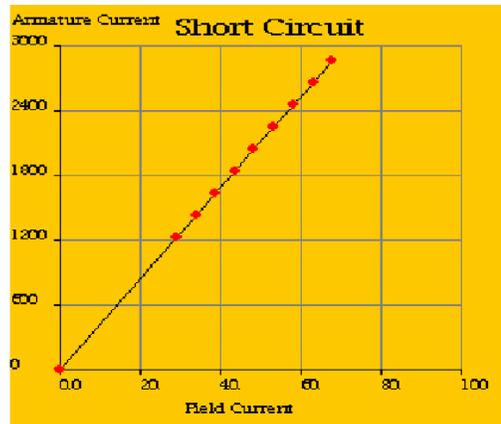
**Open Circuit Curve**

Field Current	Line - Line Volt
0.0	0
7.7	288
9.1	336
10.5	384
12.0	432
13.8	480
16.2	528
20.0	576
27.0	624
40.8	672



**Short Circuit Curve**

Field Current	Armature Current
0.0	0
29.1	1,227
33.9	1,431
38.8	1,636
43.6	1,840
48.4	2,045
53.3	2,249
58.1	2,454
63.0	2,658
67.8	2,863



**Selected Model**

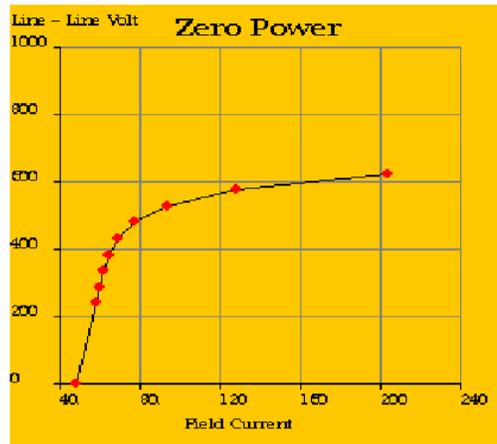
**Engine:** 3512    **Generator Frame:** 697    **Genset Rating (kW):** 1360.0    **Line Voltage:** 480  
**Fuel:** Diesel    **Generator Arrangement:** 1441706    **Genset Rating (kVA):** 1700.0    **Phase Voltage:** 277  
**Frequency:** 60    **Excitation Type:** Permanent Magnet    **Pwr. Factor:** 0.8    **Rated Current:** 2044.8  
**Duty:** PRIME    **Connection:** SER STAR    **Application:** EPG    **Status:** Current

Version: 38504 /38433 /38180 /1078

**Generator Output Characteristic Curves**

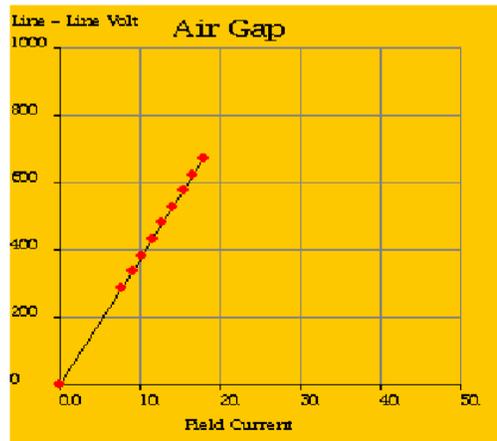
**Zero Power Factor Curve**

Field Current	Line - Line Volt
48.4	0
58.6	240
60.3	288
62.2	336
64.9	384
69.2	432
77.3	480
93.6	528
128.3	576
203.9	624



**Air Gap Curve**

Field Current	Line - Line Volt
0.0	0
7.7	288
9.0	336
10.3	384
11.5	432
12.8	480
14.1	528
15.4	576
16.7	624
18.0	672



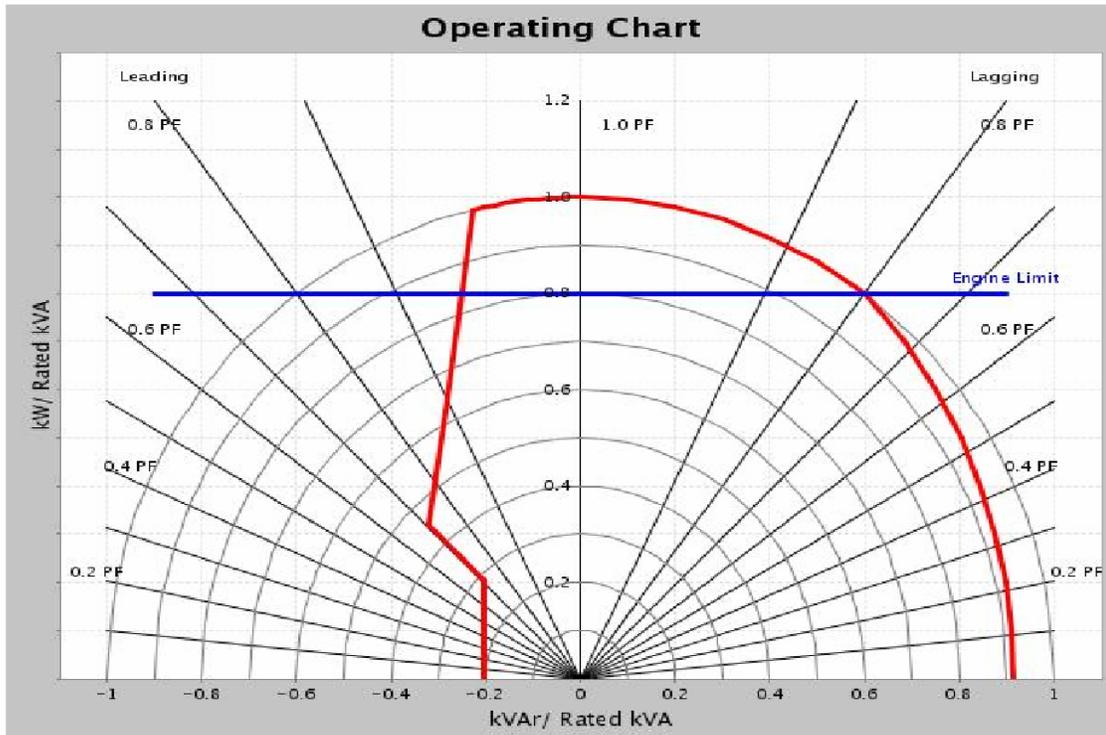
**Selected Model**

<b>Engine:</b> 3512	<b>Generator Frame:</b> 697	<b>Genset Rating (kW):</b> 1360.0	<b>Line Voltage:</b> 480
<b>Fuel:</b> Diesel	<b>Generator Arrangement:</b> 1441706	<b>Genset Rating (kVA):</b> 1700.0	<b>Phase Voltage:</b> 277
<b>Frequency:</b> 60	<b>Excitation Type:</b> Permanent Magnet	<b>Pwr. Factor:</b> 0.8	<b>Rated Current:</b> 2044.8
<b>Duty:</b> PRIME	<b>Connection:</b> SER STAR	<b>Application:</b> EPG	<b>Status:</b> Current

Version: 38504 /38433 /38180 /1078

**Reactive Capability Curve**

**Operating Chart**



---

**Selected Model**

**Engine:** 3512    **Generator Frame:** 697    **Genset Rating (kW):** 1360.0    **Line Voltage:** 480  
**Fuel:** Diesel    **Generator Arrangement:** 1441706    **Genset Rating (kVA):** 1700.0    **Phase Voltage:** 277  
**Frequency:** 60    **Excitation Type:** Permanent Magnet    **Pwr. Factor:** 0.8    **Rated Current:** 2044.8  
**Duty:** PRIME    **Connection:** SER STAR    **Application:** EPG    **Status:** Current  
**Version:** 38504 /38433 /38180 /1078

---

**General Information**

DM7802  
GENERATOR GENERAL INFORMATION

## I. GENERATOR MOTOR STARTING CAPABILITY CURVES

A. The MOTOR STARTING CURVES ARE REPRESENTATIVE OF THE DATA OBTAINED BY THE FOLLOWING PROCEDURE:

1. THE CATERPILLAR GENERATOR IS DRIVEN BY A SYNCHRONOUS DRIVER.
2. VARIOUS SIZE THREE PHASE INDUCTION MOTORS (NEMA CODE F) ARE STARTED ACROSS THE LINE LEADS OF THE UNLOADED GENERATOR.
3. THE RESULTING VOLTAGE DIPS ARE RECORDED WITH AN OSCILLOSCOPE.
4. MOTOR HORSEPOWER HAS BEEN CONVERTED TO STARTING KILOVOLT AMPERES (SKVA).
5. RECORDED VOLTAGE DIPS HAVE BEEN EXPRESSED AS A OF GENERATOR RATED VOLTAGE.

## II. USE OF THE MOTOR STARTING CAPABILITY CURVES.

A. CALCULATE THE SKVA REQUIRED BY THE MOTOR FOR FULL VOLTAGE STARTING ACROSS THE LINE IF THE VALUE IS NOT LISTED ON THE MOTOR DATA PLATE.

1. MOTORS CONFORMING TO NEMA STANDARDS  
MULTIPLY THE MOTOR HORSEPOWER BY THE NEMA SKVA/HP FIGURE. FOR NEMA CODE F, USE 5.3 SKVA/HP; FOR NEMA CODE G, USE 6.0 SKVA/HP.
2. ALL OTHER MOTORS:  
MULTIPLY THE RATED VOLTAGE BY THE LOCKED ROTOR AMPERE AND BY 0.001732. (IF THE LOCKED ROTOR AMPERES ARE NOT LISTED, MULTIPLY THE FULL LOAD (RUNNING) AMPERES BY

B. USE THE ABOVE SKVA WITH THE MOTOR STARTING TABLE.  
1. ACROSS LINE STARTING:  
READ ACROSS THE ROW OF "ACROSS THE LINE STARTING SKVA IF THE DESIRED VALUE OF SKVA IS NOT GIVEN, CALCULATE THE DIP BY FINDING THE PROPER SKVA INTERVAL AND INTERPOLATING AS FOLLOWS:

SKVA1 IS THE SKVA TABLE ENTRY JUST SMALLER THAN THE DESIRED SKVA, DIP1 IS THE DIP FOR SKVA2, AND SKVA2 IS THE SKVA TABLE ENTRY JUST GREATER THAN THE DESIRED SKVA. THE DIP (IN PERCENT) AT THE DESIRED SKVA IS:

$$\text{DIP} = \text{DIP1} + (\text{SKVA} - \text{SKVA1}) * 2.5 / (\text{SKVA2} - \text{SKVA1})$$

NOTE: VOLTAGE DIPS GREATER THAN 35% MAY CAUSE MAGNETIC CONTACTORS TO DROP OUT.

## 2. REDUCED VOLTAGE STARTING:

REFER TO THE FOLLOWING TABLE. MULTIPLY THE CALCULATE ACROSS LINE SKVA BY THE MULTIPLIER LISTED FOR THE SPECIFIC STARTING METHOD. APPLY THE RESULT TO THE STARTING TABLE AS IN II A, TO CALCULATE THE EXPECTED VOLTAGE DIP:

TYPE OF REDUCED VOLTAGE STARTING	MULTIPLY LINE SKVA BY
80% TAP	.80
65% TAP	.65

50% TAP .50  
 45% TAP .45  
 WYe start,delta run .33

## AUTOTRANSFORMER

80% TAP .68  
 65% TAP .46  
 50% TAP .29

NOTE: REDUCE VOLTAGE STARTING LOWERS THE MAXIMUM  
 REQUIRED MOTOR skVA.

## 3. Part winding starting:

Most common is half-winding start, full-winding run.  
 Multiply the full motor, across line starting skVA  
 by 0.6. Apply the result to the selected curve as  
 in ii. A above. Read the expected voltage dip, for  
 the required skVA.

## III. DEFINITION:

## A. GENERATOR TERMS

MODEL: Engine Sales model  
 ENG TYPE: DI = Direct Injection,  
 NA = Naturally aspirated, etc  
 HZ: Running frequency, hertz  
 RATING TYPE: PP, SB (prime power or standby)  
 KW: Base rating electrical kilowatts (ekW)  
 VOLTS: Rating terminal, line to line  
 GEN ARR: Cat generator arrangement part number  
 GEN FRAME: Generator frame size designation  
 CONN: Generator output connection  
 (star, wye, delta, ect.)  
 POLES: Number of pole pieces on rotor.  
 (eg. A 4 pole generator run at 1800)  
 RPM will produce 60 Hz alternating current. A 6 pole  
 generator run at 1200 RPM will produce 60 Hz alternating  
 current.)

## B. GENERATOR TEMPERATURE RISE:

The indicated temperature rise indicated the NEMA limits  
 for standby or prime power applications. These rises are  
 used for calculating the losses and efficiencies and are  
 not necessarily indicative of the actual temperature rise  
 of a given machine.

## C. CENTER OF GRAVITY

The specified center of gravity is for the generator only.  
 It is measured from the generator/engine flywheel housing  
 interface and from the centerline of the rotor shaft.

## D. GENERATOR DECREMENT CURRENT CURVES

The generator decrement current curve gives the  
 symmetrical current supplied by the generator for a three  
 phase bolted fault at the generator terminals. Generators  
 equipped with the series boost attachment or generators  
 with PM excitation system will supply 300% of rated current  
 for at least 10 seconds.

## E. GENERATOR EFFICIENCY CURVES

The efficiency curve is representative of the overall  
 generator efficiency over the normal range of the  
 electrical load and at the specified parameters. This is  
 not the overall engine generator set efficiency curve.



Caterpillar Confidential: Green

Content Owner: Alan Scott

Current Date: Wed Jul 06 09:56:40 2005

**Web Master:** e-business Solutions  
Copyright 2004 Caterpillar Inc., All Rights Reserved.

## F-. HOJA DE ESPECIFICACIONES DEL GENERADOR UTILIZADO.

<b>DIESEL GENERATOR SET</b>	
 <p>Image shown may not reflect actual package.</p>	<b>STANDBY</b> <b>500 kW 625 kVA</b> <b>60 Hz 1800 rpm 480 Volts</b> Caterpillar is leading the power generation marketplace with Power Solutions engineered to deliver unmatched flexibility, expandability, reliability, and cost-effectiveness.
<b>FEATURES</b>	
<b>FUEL/EMISSIONS STRATEGY</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• EPA Tier 2 and Low Emissions</li></ul>	<b>CAT® C15 ATAAC DIESEL ENGINE</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Utilizes ACERT™ Technology</li><li>• Reliable, rugged, durable design</li><li>• Field-proven in thousands of applications worldwide</li></ul>
<b>DESIGN CRITERIA</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• The generator set accepts 100% rated load in one step per NFPA 110 and meets ISO 8528-5 transient response.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Four-stroke diesel engine combines consistent performance and excellent fuel economy with minimum weight</li><li>• Electronic engine control</li></ul>
<b>UL 2200</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• UL 2200 listed packages available. Certain restrictions may apply. Consult with your Caterpillar Dealer.</li></ul>	<b>CAT GENERATOR</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Matched to the performance and output characteristics of Caterpillar engines</li><li>• 2/3 pitch minimizes harmonic distortion and facilitates parallel operation</li><li>• Low adjustment module provides engine relief upon load impact and improves load acceptance and recovery time</li><li>• UL 1446 Recognized Class H insulation</li></ul>
<b>FULL RANGE OF ATTACHMENTS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Wide range of bolt-on system expansion attachments, factory designed and tested</li></ul>	<b>CAT EMCP 3 SERIES CONTROL PANELS</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Controls designed to meet individual customer needs.</li><li>• EMCP 3 provides the option for full-featured power metering and protective relaying</li><li>• Segregated low voltage, AC/DC accessory box provides single point access to accessory connections</li><li>• Options to meet UL/CSA/NFPA</li><li>• Power Center provides convenient location for control panel, optional power terminal strips and optional circuit breakers</li></ul>
<b>SINGLE-SOURCE SUPPLIER</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Fully prototype tested with certified torsional vibration analysis available</li></ul>	
<b>WORLDWIDE PRODUCT SUPPORT</b> <ul style="list-style-type: none"><li>• Caterpillar® dealers provide extensive post sale support including maintenance and repair agreements</li><li>• Caterpillar dealers fill 99.7% of parts orders within 24 hours</li><li>• Caterpillar dealers have over 1,600 dealer branch stores operating in 200 countries</li><li>• The Cat® S•O•S<sup>SM</sup> program cost effectively detects internal engine component condition, even the presence of unwanted fluids and combustion by-products</li></ul>	

# STANDBY 500 ekW 625 kVA

60 Hz 1800 rpm 480 Volts



## FACTORY INSTALLED STANDARD & OPTIONAL EQUIPMENT

System	Standard	Optional
Air Inlet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Light Duty Air filter</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Canister Style Air Cleaners</li> <li>• Air Cleaner - single stage</li> <li>• Dual element</li> <li>• Heavy duty</li> </ul>
Cooling	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiator package mounted(50°C)</li> <li>• Coolant drain line with valve terminated at edge of base</li> <li>• Fan and belt guards</li> <li>• Coolant level sight gauge</li> <li>• Caterpillar Extended Life Coolant</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Radiator removal</li> <li>• Radiator duct flange &amp; guard</li> </ul>
Exhaust	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dry exhaust manifold</li> <li>• Flanged faced outlets</li> <li>• Stainless Steel Flex with split-cuff connection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mufflers</li> <li>• Manifold &amp; Turbocharger guards</li> <li>• Elbows</li> </ul>
Fuel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Primary fuel filter with integral water separator</li> <li>• Secondary fuel filters</li> <li>• Fuel priming pump</li> <li>• Engine fuel transfer pump</li> <li>• Flex fuel lines</li> <li>• Engine fuel transfer pump</li> <li>• Fuel cooler*</li> <li>*Not included with packages without radiators</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Integral UL listed fuel tank base</li> <li>• Manual transfer pump</li> <li>• Fuel level switch</li> </ul>
Generator	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Self excited</li> <li>• Class H insulation</li> <li>• Random Wound</li> <li>• 2/3 pitch</li> <li>• R448 voltage regulator with load adjustment module</li> <li>• IP23 Protection</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permanent magnet excitation</li> <li>• CDVR with KVAR/PF control</li> <li>• Internal Excitation</li> <li>• Oversize and premium generators</li> <li>• Bearing/Stator temperature detection (premium generator)</li> <li>• 3 phase sensing</li> <li>• Anti-condensation space heaters</li> <li>• Cable access box</li> <li>• Reactive droop</li> </ul>
Power Termination	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Power Terminator Strips Mounted inside Power Center</li> <li>• Segregated low voltage wiring panel</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Circuit breakers, UL listed, 3 pole</li> <li>• Circuit breakers, IEC compliant, 3 pole</li> <li>• Circuit breaker Shunt trip</li> <li>• Circuit breaker Auxillary contact</li> <li>• Top &amp; bottom power cable entry</li> <li>• Floor standing UL breakers</li> </ul>
Governor	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ADEM™A4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Load share module</li> </ul>
Control Panels	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EMCP 3.1 (rear mounted)</li> <li>• Speed adjust</li> <li>• Emergency stop pushbutton</li> <li>• Voltage adjust</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EMCP 3.2 &amp; EMCP 3.3 (can be RH mounted)</li> <li>• Local annunciator modules (NFPA 99/110)</li> <li>• Remote annunciator modules (NFPA 99/110)</li> <li>• Discrete I/O module</li> </ul>
Lube	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lubricating oil and filter</li> <li>• Oil drain line with valves</li> <li>• Fumes disposal</li> <li>• Gear type lube oil pump</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual sump pump</li> </ul>
Mounting	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formed steel wide base frame</li> <li>• Linear vibration isolation-seismic zone 4</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Formed steel wide base frame</li> </ul>
Starting/Charging	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 24 volt starting motor</li> <li>• Battery with rack and cables</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Jacket water heater with shut off valves</li> <li>• Block heater</li> <li>• Ether starting aids</li> <li>• Battery disconnect switch</li> <li>• Battery charger(5A,10A)</li> <li>• Oversize batteries</li> <li>• 45 amp charging alternator</li> </ul>
General	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Paint - Caterpillar yellow except rails and radiators gloss black</li> <li>• Flywheel and flywheel housing - SAE No.1</li> </ul>	

**STANDBY 500 ekW 625 kVA**  
60 Hz 1800 rpm 480 Volts



**SPECIFICATIONS**

**CAT GENERATOR**

Frame size..... LC6114F  
Excitation..... Self Excitation  
Pitch..... 0.6667  
Number of poles..... 4  
Number of bearings..... Single Bearing  
Number of Leads..... 12  
Insulation..... UL 1446 Recognized Class H with tropicalization and antiabrasion  
- Consult your Caterpillar dealer for available voltages  
IP Rating..... IP23  
Alignment..... Pilot Shaft  
Overspeed capability..... 125% of rated  
Wave form Deviation (Line to Line)..... 2%  
Voltage regulator..... 3 Phase sensing with selectable volts/Hz  
Voltage regulation..... Less than +/- 1/2% (steady state)  
Less than +/- 1/2% (w/ 3% speed change)  
Telephone influence factor..... Less than 50  
Harmonic Distortion..... Less than 5%

**CAT DIESEL ENGINE**

C15 ATTAC, L-6, 4-stroke water-cooled diesel  
Bore..... 137.20 mm (5.4 in)  
Stroke..... 171.40 mm (6.75 in)  
Displacement..... 15.20 L (927.56 in<sup>3</sup>)  
Compression Ratio..... 16.1:1  
Aspiration..... ATAAC  
Fuel System..... MEUI  
Governor Type..... Caterpillar ADEM control system

**CAT EMCP 3 CONTROL PANELS**

- EMCP 3.1 (Standard)
- UL/CSA/CE
- NEMA 1, IP22 enclosure
- Run/Auto/Stop control
- True RMS metering, 3-phase
- Speed Adjust
- Vandal cover (option)
- Voltage adjust
- Digital Indication for:
  - RPM
  - Operating hours
  - Oil Pressure
  - Coolant temperature
  - System DC volts
  - L-L volts, L-N volts, phase amps, Hz
  - ekW, kVA, kVAR, kW-hr, %kW, PF, (EMCP3.2/3.3)
- Shutdowns with common indicating light for:
  - Low oil pressure
  - High coolant temperature
  - Low coolant level
  - Overspeed
  - Emergency stop
  - Failure to start (overcrank)
- Programmable protective relaying functions: (EMCP 3.2 & 3.3)
  - Under and over voltage
  - Under and over frequency
  - Reverse power
  - Overcurrent
- MODBUS isolated data link (RS-485 half-duplex EMCP 3.2 & 3.3)

**STANDBY 500 kW 625 kVA**  
60 Hz 1800 rpm 480 Volts



**TECHNICAL DATA**

Open Generator Set - - 1800 rpm/60 Hz/480 Volts	DM8155	
<b>Tier 2 and Low Emissions</b>		
<b>Generator Set Package Performance</b>		
Genset Power rating @ 0.8 pf	625 kVA	
Genset Power rating with fan	500 kW	
<b>Fuel Consumption</b>		
100% load with fan	141.6 L/hr	37.4 Gal/hr
75% load with fan	107.9 L/hr	28.5 Gal/hr
50% load with fan	89.9 L/hr	23.7 Gal/hr
<b>Cooling System<sup>1</sup></b>		
Ambient air temperature	51 ° C	124 ° F
Air flow restriction (system)	0.12 kPa	0.48 in. water
Air flow (max @ rated speed for radiator arrangement)	822 m <sup>3</sup> /min	29029 cfm
Engine Coolant capacity with radiator/exp. tank	57.8 L	15.3 gal
Engine coolant capacity	20.8 L	5.5 gal
Radiator coolant capacity	37.0 L	9.8 gal
<b>Inlet Air</b>		
Combustion air inlet flow rate	40.2 m <sup>3</sup> /min	1419.7 cfm
<b>Exhaust System</b>		
Exhaust stack gas temperature	509.1 ° C	948.4 ° F
Exhaust gas flow rate	111.2 m <sup>3</sup> /min	3927.0 cfm
Exhaust flange size (internal diameter)	152.4 mm	6.0 in
Exhaust system backpressure (maximum allowable)	6.8 kPa	27.3 in. water
<b>Heat Rejection</b>		
Heat rejection to coolant (total)	192 kW	10919 Btu/min
Heat rejection to exhaust (total)	497 kW	28264 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from engine	120 kW	6824 Btu/min
Heat rejection to atmosphere from generator	29.1 kW	1654.9 Btu/min
<b>Alternator<sup>2</sup></b>		
Motor starting capability @ 30% voltage dip	1428 skVA	
Frame	LC6114F	
Temperature Rise	130 ° C	234 ° F
<b>Emissions (Nominal)<sup>3</sup></b>		
NOx g/hp-hr	5.78 g/hp-hr	
CO g/hp-hr	.39 g/hp-hr	
HC g/hp-hr	.01 g/hp-hr	
PM g/hp-hr	.017 g/hp-hr	

<sup>1</sup> Ambient capability at 300m (984 ft) above sea level. For ambient capability at other altitudes, consult your Caterpillar dealer. Air flow restriction (system) is added to existing restriction from factory. Generator temperature rise is based on a 40 C (104 F) ambient per NEMA MG1-32

<sup>2</sup> Generator temperature rise is based on a 40° C (104° F) ambient per NEMA MG1-32.

<sup>3</sup> Emissions data measurement procedures are consistent with those described in EPA CFR 40 Part 89, Subpart D & E and ISO8178-1 for measuring HC, CO, PM, NOx. Data shown is based on steady state operating conditions of 77°F, 28.42 in HG and number 2 diesel fuel with 35° API and LHV of 18,390 btu/lb. The nominal emissions data shown is subject to instrumentation, measurement, facility and engine to engine variations. Emissions data is based on 100% load and thus cannot be used to compare to EPA regulations which use values based on a weighted cycle.

## STANDBY 500 eKW 625 kVA

60 Hz 1800 rpm 480 Volts



### RATING DEFINITIONS AND CONDITIONS

---

**Meets or Exceeds International Specifications:** AS1359, AS2789, CSA, EGSA101P, IEC60034, ISO3046, ISO8528, NEMA MG 1-32, UL508, 72/23/EEC, 89/336/EEC, 98/37/EEC.

**Standby** - Output available with varying load for the duration of the interruption of the normal source power. Standby power in accordance with ISO8528. Fuel stop power in accordance with ISO3046, AS2789, and BS5514. Standby ambient temperatures shown indicate a coolant top tank temperature just below shutdown at 100 percent load.

**Prime** - Output available with varying load for an unlimited time. Prime power in accordance with ISO8528. 10% overload power in accordance with ISO3046, AS2789, and BS5514. Prime ambient temperatures shown indicate a coolant top tank temperature just below shutdown at 100 percent load.

**Ratings** are based on SAE J1995 standard conditions. These ratings also apply at ISO3046 standard conditions. **Fuel rates** are based on fuel oil of 35° API [16° C (60° F)] gravity having an LHV of 42 780 kJ/kg (18,390 Btu/lb) when used at 29° C (85° F) and weighing 838.9 g/liter (7.001 lbs/U.S. gal.). Additional ratings may be available for specific customer requirements. Consult your Caterpillar representative for details.

# STANDBY 500 ekW 625 kVA

60 Hz 1800 rpm 480 Volts



## DIMENSIONS

---

Package Dimensions		
Length	3775.1 mm	148.63 in
Width	1110.0 mm	43.7 in
Height	2091.0 mm	82.32 in
Weight	3881 kg	8,556 lb

Note: Do not use for installation design.  
See general dimension drawings for detail (Drawing #2781049).

Performance No.: DM8155

Feature Code:: C15DE6Y

Source:: U.S. Sourced

18 October 2006

8222669

[www.CAT-ElectricPower.com](http://www.CAT-ElectricPower.com)

© 2006 Caterpillar  
All rights reserved.

Materials and specifications are subject to change without notice.  
The International System of Units (SI) is used in this publication.

CAT, CATERPILLAR, their respective logos, "Caterpillar Yellow," and the POWER EDGE™ trade dress, as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.

## G-. EJEMPLO DE CÁLCULO

En una empresa se tienen las siguientes cargas que deben estar en funcionamiento si la alimentación principal de energía eléctrica falla:

Tipo		Potencia	
		kW	HP
Iluminación		75	
Motor 1			200
Eficiencia	0.92		
Código de diseño NEMA	F		
Método de arranque	resistivo 65%		
Motor 2			75
Eficiencia	0.91		
Código de diseño NEMA	G		
Método de arranque	AUTO-TRX 80%		
Motor 3			60
Eficiencia	0.91		
Código de diseño NEMA	F		
Método de arranque			
Motor 4			60
Eficiencia	0.9		
Código de diseño NEMA	F		
Método de arranque			
Otras Cargas (no motores)		25	

Tabla G.1 Datos de Cargas.

Para obtener la potencia total que debe suministrar el generador debemos tener todas las cargas en las mismas unidades. Por ello se llevan los motores a kilovatios eléctricos

Para eso utilizamos la siguiente fórmula:

$$kW = \frac{BHP(motor) \times 0.746}{eficienciadelmotor}$$

Motor 1: 162 kW

Motor 2: 61 kW

Motor 3: 49 kW

Motor 4: 41 kW

La suma de todas las cargas resulta en 413 kW. Un generador comercial que suministre esa potencia puede ser un generador comercial de 450 kW /562 kVA, puesto que no hay ningún generador comercial que tenga 413 kW como potencia estándar.

Se establece además que no exista una caída de tensión mayor al 20 % en el arranque de los motores.

Asumiendo que el generador de 562 kVA tiene una reactancia transitoria de 0.2 p.u. y modelando el circuito equivalente de una máquina sincrónica, se determinó la gráfica de potencia de

arranque de los motores vs. Porcentaje de caída de tensión. Con lo asumido se tiene un error del tres por ciento comparado con el valor real de un equipo CATERPILLAR de esa capacidad.

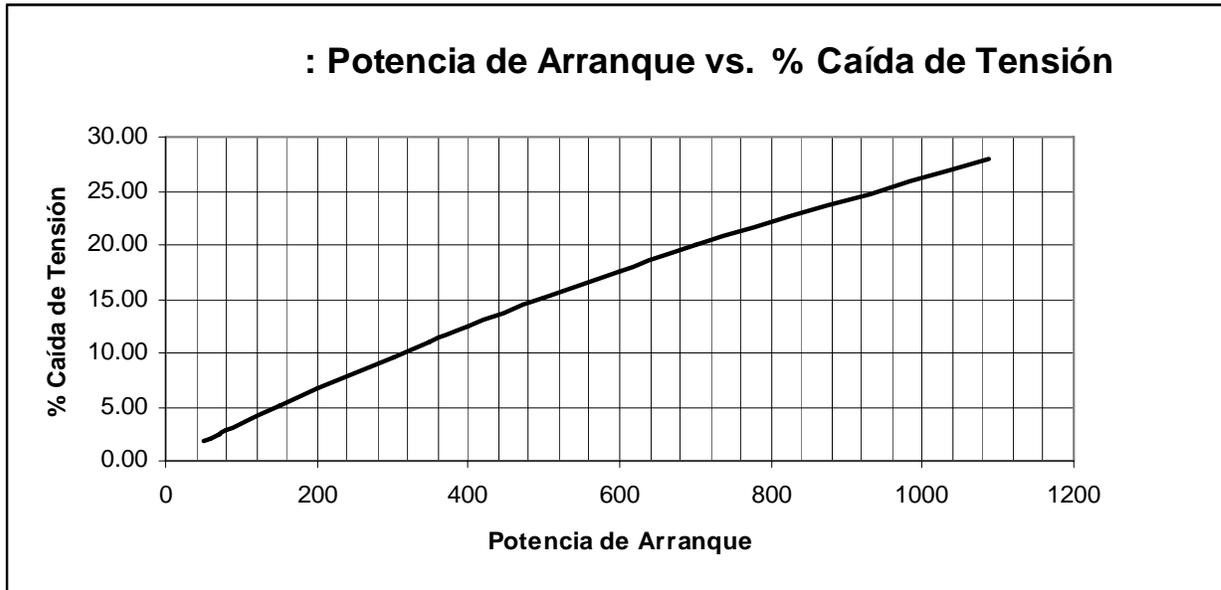


Figura G.1 Gráfica de caída de tensión del generador utilizado en el ejemplo de cálculo.

La potencia de arranque de todos los motores se calculó con la siguiente fórmula:

$$SkVA = BHP(motor) \times \frac{SkVA}{BHP} \times FMMA$$

SkVA = Potencia de arranque de los motores

BHP = Potencia mecánica de los motores

SkVA/BHP = Factor de multiplicación correspondiente al código de diseño NEMA

FMMA = Factor de multiplicación por método de arranque de los motores

La potencia de arranque de cada motor es la siguiente:

Motor 1 = 689 SkVA

Motor 2 = 288 SkVA

Motor 3 = 318 SkVA

Motor 4 = 265 SkVA

La potencia total de arranque que generan los motores simultáneamente es de 1560 SkVA, revisando en la gráfica 1 vemos que hay una caída de tensión mayor al 20 %; por lo tanto, el generador no está en condiciones para arrancar los motores simultáneamente. Entonces, se puede recurrir a arrancar los motores a tensión reducida pero algunos ya están en esta situación y los otros por su función tampoco pueden variar su método de arranque, también se puede ir a un generador de mayor potencia, pero en este caso un generador para que no tenga una caída mayor del 20 % en esa potencia de arranque es aproximadamente dos veces la potencia nominal del generador anterior. En caso de ser requerido el arranque simultáneo de los motores se debe hacer alguna de las anteriores, sino, se puede hacer un arranque de los motores en etapas como se procede a continuación.

En este caso vamos a tomar que cada motor arranca por separado y el generador sigue siendo el 562 kVA, también se debe tomar en cuenta que la etapa anterior a la que se esta arrancando esta en funcionamiento por lo que la potencia de arranque aumenta en esa etapa.

Para hacer el ajuste de la etapa anterior se utiliza la siguiente fórmula y gráfica:

$$\% \text{ Carga de motor} = [\text{Potencia (Motores en funcionamiento) } <\text{kW}> / \text{Potencia (Motores en funcionamiento + Motor arrancando) } <\text{kW}>] \times 100$$

% Carga de motor < 40 %, factor de Multiplicación de 1

$$\text{SkVA de ajuste} = \text{SkVA de la etapa} \times \text{factor de multiplicación}$$

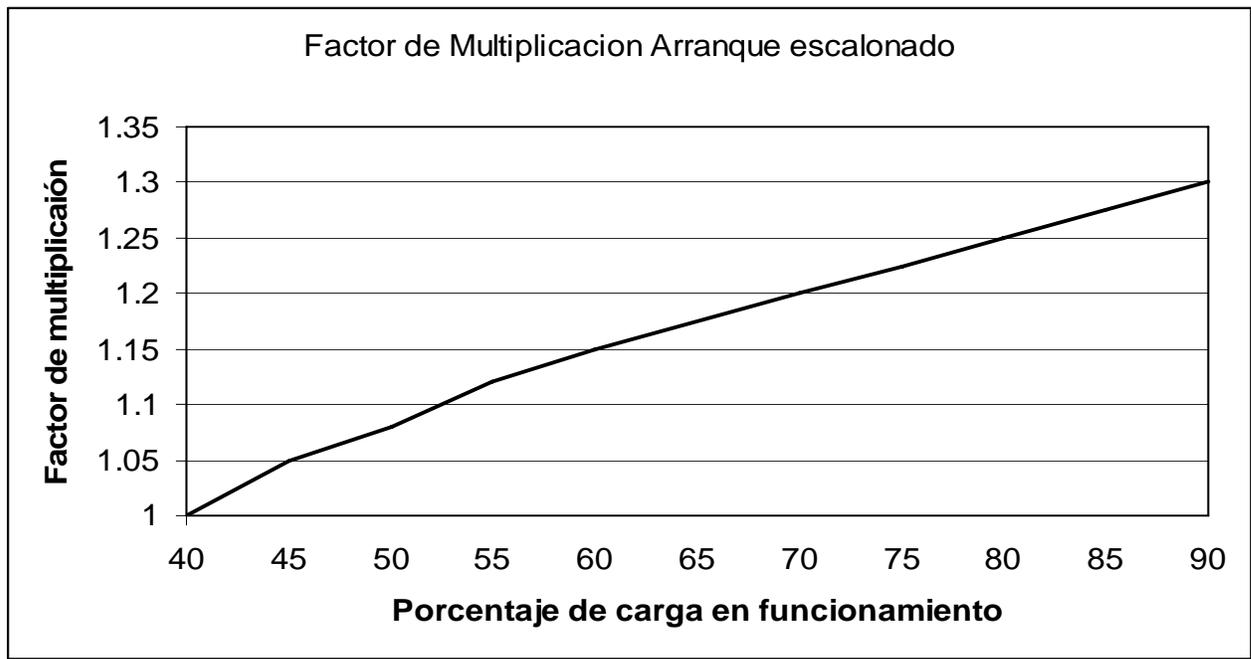


Figura G.2. Gráfica de compensación por arranque escalonado de las cargas.

El ajuste también se puede hacer mediante el modelo equivalente de la máquina sincrónica determinando las gráficas de potencia de arranque de los motores vs. Caída de tensión para una carga inicial, en este caso sería la potencia en estado estable de los motores de la etapa anterior.

Etapa 1:

El motor 1 se esta arrancando y consume una potencia de 689 SkVA, revisando en la gráfica 1 vemos que se crea una caída de tensión del 19%, por lo que es aceptable.

Etapa 2:

El motor 2 se arranca y consume una potencia de 288 SkVA, pero se le debe hacer un ajuste ya que el motor 1 esta consumiendo potencia, el ajuste se hace con la gráfica 2 tomando que el 73 % de la carga esta en funcionamiento y resulta que se debe multiplicar la potencia de arranque por 1.21, luego, revisando en la gráfica 1 los 349 SkVA totales de la etapa, resulta en un caída de tensión de aproximadamente un 10 % que esta dentro del límite.

Etapa 3:

El motor 3 se arranca y consume una potencia de 318 SkVA, se le hace el ajuste por el funcionamiento del motor 1 y 2, con la gráfica 2 tomando que el 82 % de la carga esta en funcionamiento, se determinó que el factor de multiplicación para la potencia de arranque es de

1.26, entonces revisando en la gráfica 1 los 400 SkVA resulta en una caída de tensión de aproximadamente 12.5 % que se encuentra en el rango permisible.

Etapa 4:

El motor 4 se arranca y consume una potencia de 265 SkVA, se le hace el ajuste por el funcionamiento de los motores 1, 2 y 3 con la gráfica 2 tomando que el 87 % de la carga esta en funcionamiento y resultó que el factor de multiplicación para la potencia de arranque es 1.28, revisando en la gráfica 1 los 339 SkVA resulta en una caída de tensión de aproximadamente el 10 % que se encuentra en el rango permisible.

Por los resultados podemos ver que en la industria se necesita un generador de emergencia de 450 kW con una reactancia en por unidad de 0,2, y que los motores sean arrancados por etapas.